Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sousse

Support de TP

Automatique linéaire

Niveau d'étude : 1ére Année informatique appliquée

Réalisé par l'enseignant

ABADI Amine

Table des Matières

TP1 : Prise en main du Matériel Arduino UNO, Logiciel Simulink

TP2 : Modélisation et Analyse du Processus Thermique

TP3 : Commande d'un système thermique

TP4 : Asservissement du processus thermique

TP1 : Prise en main du Matériel Arduino UNO, Logiciel Simulink

1 Objectifs

– Familiarisation avec la carte Arduino UNO.
– Réalisation de l'interfaçage avec Matlab/Simunlink.
– Acquisition des données via capteur de température.
– Commande PWM d'une résistance chauffante.

2 Présentation et programmation de la carte Arduino

Arduino est un projet créé par une équipe de développeurs composée de six individus : Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino, David Mellis et Nicholas Zambetti. Cette équipe a créé le "système Arduino". C'est un outil qui va permettre aux débutants, amateurs ou professionnels de créer des systèmes électroniques plus ou moins complexes

2.1 Le matériel : Arduino UNO

C'est un circuit imprimé comportant tous les composants électroniques nécessaires pour faire fonctionner un microcontrôleur (Atmega 328) associé à une interface USB lui permettant de communiquer avec un ordinateur.

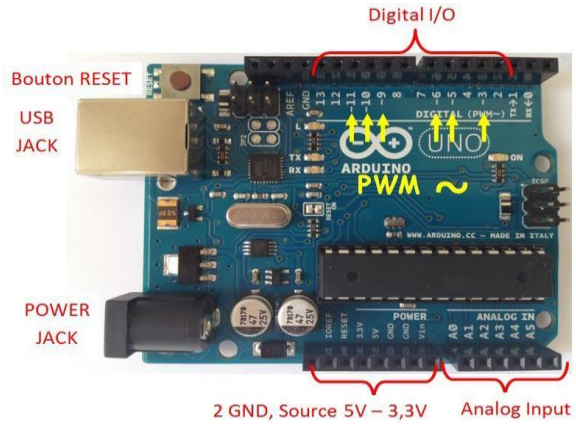


Figure 1 – Description de la Carte Arduino "Uno"

– Microcontroller : ATmega328
– Operating Voltage : 5v
– Input Voltage (recommended) : 7-12 v
– Input Voltage (limits) : 6-20 v
– DC Current per I/O Pin : 40mA
– DC Current for 3.3V Pin :50mA
– Flash Memory :32 KB
– Clock Speed : 16MHz
– Pins assignements :
– Analog read(A0-A5)
– Analog write[PWM] (3,5,6,9,10,11)
– Digital read (2-19)
– Digital write (2-19)

2.2 Le logiciel Arduino

Arduino IDE (Integrated Development Environment). Le logiciel est gratuit et open source dont la simplicité d'utilisation est remarquable. Ce logiciel va nous permettre de programmer la carte Arduino pour :

– Réaliser l'interfaçage avec Matlab/simulink

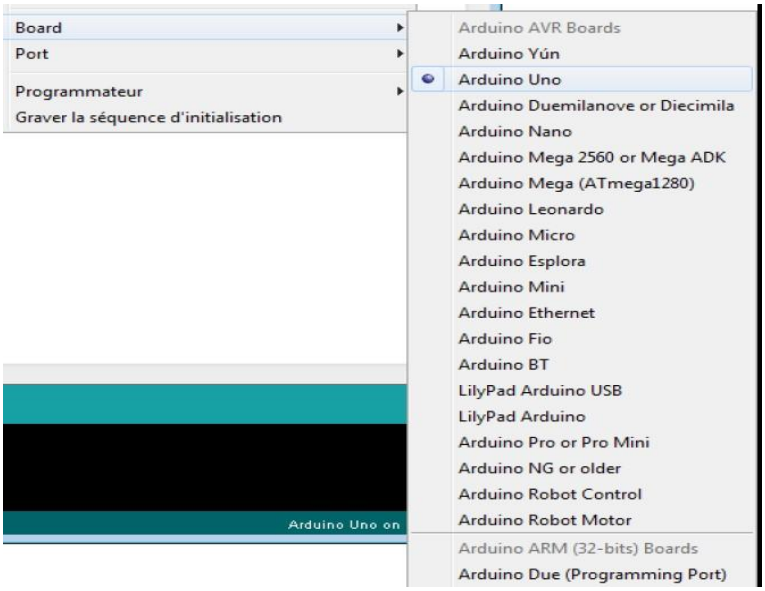
– Implémenter la commande directement sur la carte.

Lancer le logiciel Arduino

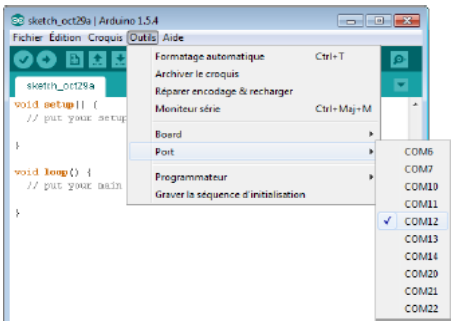
Figure 2 – L'interface du logiciel Arduino

Relier la carte Arduino UNO à votre ordinateur à l'aide du câble US

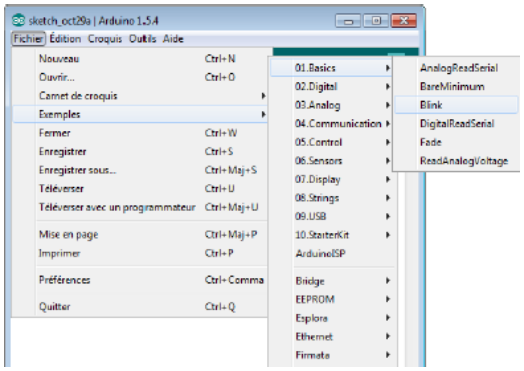
Sélectionner la carte Arduino UNO sur le logiciel Arduino



Sélectionner le port de communication utilisé par votre machine pour dialoguer avec la carte Arduino UNO



Editer le programme blink. (Fichier/Exemples/01 Basics/Blink). Ce programme fait clignoter la DEL **L**



Compiler le programme blink

Télécharger le programme blink dans la carte Arduino UNO

Analyse de programme

```
/*
  Blink
  Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.

  This example code is in the public domain.
*/
```

/* … */ : commentaires — présentation générale du programme

```
// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;
```

// commentaires

Déclaration de la variable **led** de type int. On donne la valeur **13** à la variable **led**. Ainsi le terme led est équivalent à la valeur 13
Rappelons que la led L est connectée à la broche 13 de la carte

```
// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}
```

// commentaires

Void setup() Configuration des entrées/sorties

//

pinMode(**led**, OUTPUT) = pinMode(**13**, OUTPUT) car la variableled=13.
La broche digitale 13 est paramétrée en sortie
http://arduino.cc/en/Reference/pinMode

```
// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {

  digitalWrite(led, HIGH);   // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);               // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW);    // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);               // wait for a second
}
```

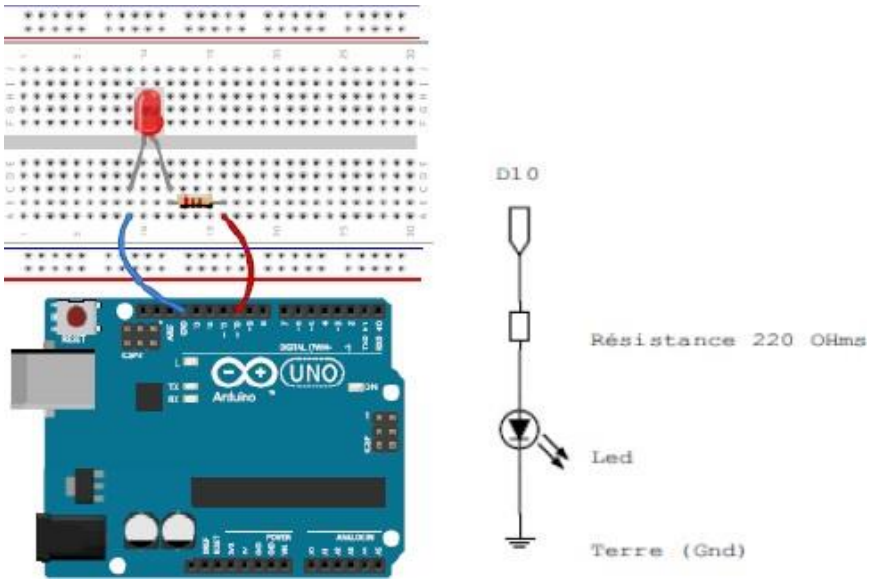
// commentaires

Void loop(), instructions exécutées en boucle

digitalWrite(**led**, HIGH)= digitalWrite(**13**, HIGH) car la variable led=13 après cette instruction la broche 13 est positionnée au niveau haut de tension la DEL s'allume
http://arduino.cc/en/Reference/DigitalWrite
delay(**1000**); faire une temporisation de **1000**ms la diode restera allumée 1s
http://arduino.cc/en/Reference/Delay
digitalWrite(led, LOW); la broche 13 est positionnée au niveau bas de tension la DEL s'éteint

delay(**1000**); faire une temporisation de 1s la diode s'éteint 1 s

Nous allons maintenant réaliser le schéma suivant :



Compiler le code suivant :

```
void setup() {
// Initialise la broche 10 comme sortie
pinMode(10, OUTPUT);
// Ouvre le port série à 9600 bauds
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
digitalWrite(10, HIGH); // allume la LED
delay(500); // attend 500ms
digitalWrite(10, LOW); // éteint la LED
delay(500); // attend 500ms
}
```

On ajoute une autre led connectée à la branche 12

-Modifier le code précédent pour faire clignoter les deux Leeds en même temps.

-Modifier le code pour faire clignoter les deux Leeds en alternance.

-Ecrire un programme qui permet de clignoter une LED 10 fois.

3 L'interfaçage Arduino ⟷ Matlab/Simulink

Il existe trois possibilités d'interfacer la carte Arduino avec Matlab/Simulink, à savoir :

1. Programmation de la carte Arduino Uno comme une carte d'interface.
2. Utilisation du package ArduinoIO.
3. Utilisation du package Arduino Target.

Dans la suite on va utiliser la deuxième méthode d'interfaçage.

3.1 ArduinoIO

Cette solution consiste à utiliser la carte arduino comme une interface d'entrées (Analog Input) /sorties (Analog/Digital Output). Ce package permet de communiquer Matlab ou Simulink avec la carte Arduino via un câble USB. Elle consiste à pré-charger un programme dans la carte Arduino afin que celle-ci fonctionne en serveur.

Ce programme consiste à "écouter" les requêtes envoyées via la liaison série (USB) et de répondre à ces requêtes en renvoyant l'état d'une entrée ou en modifiant l'état d'une sortie. Ces mêmes entrées/sortie sont vues dans Matlab comme des entrées logiques ou analogiques(utilisation du CAN) ou des sorties analogiques (mode PWM).

3.1.1 Pré-chargement du programme dans la carte Arduino

1. Télécharger le package ArduinoIO
2. Décompresser à la racine de votre disque dur, exemple E : \arduino
3. Ouvrir le dossier décompressé.
4. Aller vers : "ArduinoIO\pde\adiosrv" *
5. Charger le fichier *adiosrv.pde* vers le logiciel Arduino.
6. Televerser !

* adiosrv est l'abréviation de : Analog and Digital Input and Output Server for MATLAB.

La carte Arduino UNO est maintenant configurée pour être utilisé comme une carte d'interface Entrées/Sorties.

3.1.2 Installation du package ArduinoIO

1. Lancer Matlab2013 et placer vous dans le répertoire E : \arduino
2. Exécuter la commande : install_arduino
3. Fermer et relancer Matlab puis Simulink
4. Dans les bibliothèques se trouvent maintenant les blocs dans Arduino IO library.

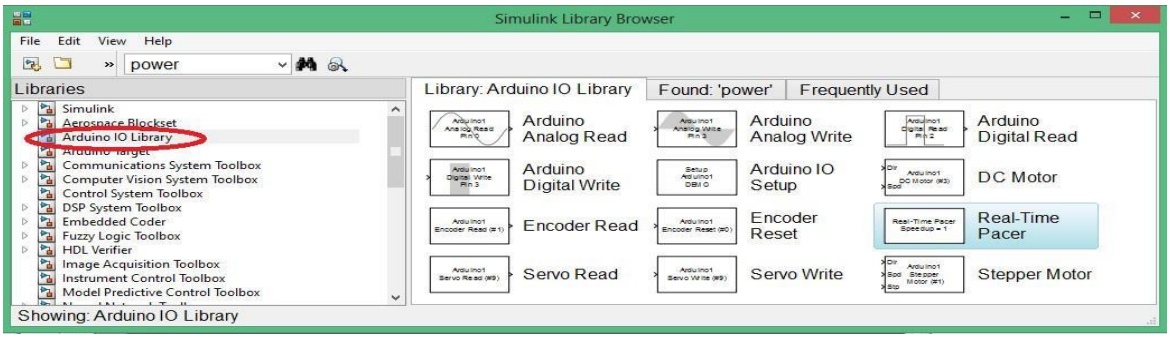


Figure 3 – ArduinoIO Library

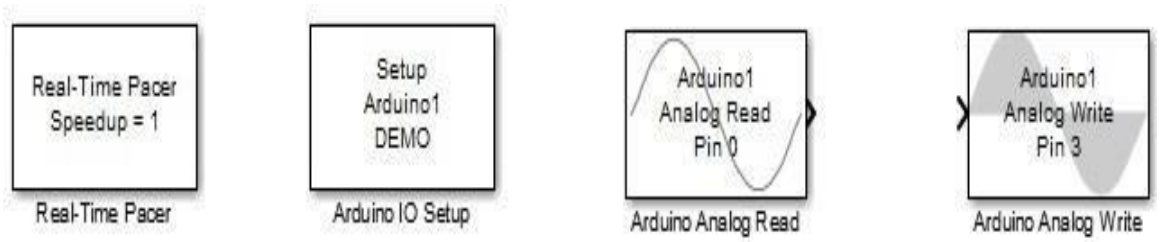


Figure 4 – Les Blocs d'ArduinoIO nécessaires pour la commande

3.1.3 Exploitation de la bibliothèque Arduino IO sous Simulink

Les blocs nécessaires pour notre objectif d'asservissement sont les suivants :

– **Real-Time Pacer** : Ce bloc permet de ralentir le temps de simulation de sorte qu'il synchronise avec le temps réel écoulé. Le coefficient de ralentissement est contrôlable par L'intermédiaire du paramètre *Speedup*.

– **Arduino IO Setup** : Pour configurer sur quel port la carte Arduino UNO est connectée. Pour cela il suffit de voir dans Gestionnaire des périphériques. Voir Figure 4.

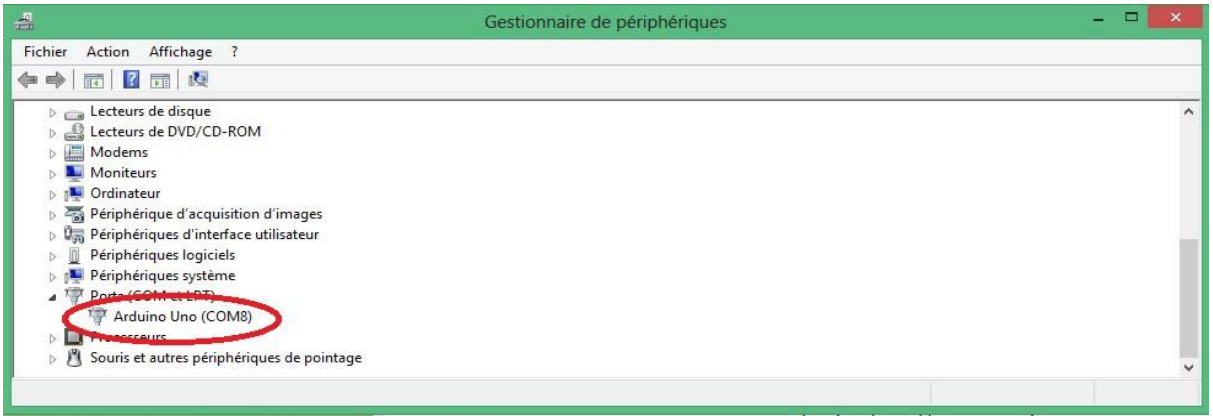


Figure 5 – Emplacement COM de la carte Arduino UNO

– **Arduino Analog Read** : Pour configurer à partir de quel pin [0,1,2,3,4,5] on va acquérir les données du capteur.

– **Arduino Analog Write** : Pour configurer à partir de quel pin [3,5,6,9,10,11] on va envoyer la commande en PWM vers l'actionneur.

4 Acquisition des données

4.1 Présentation du ADC

La carte Arduino Uno dispose de 6 entrées analogiques notées A0, A1,..A5 mais d'un seul convertisseur analogique/numérique, la durée d'une conversion est de l'ordre de 100µs.Il a une résolution de 10 bits. La donnée numérique qu'il fournit après conversion est donc comprise entre 0 et 1024

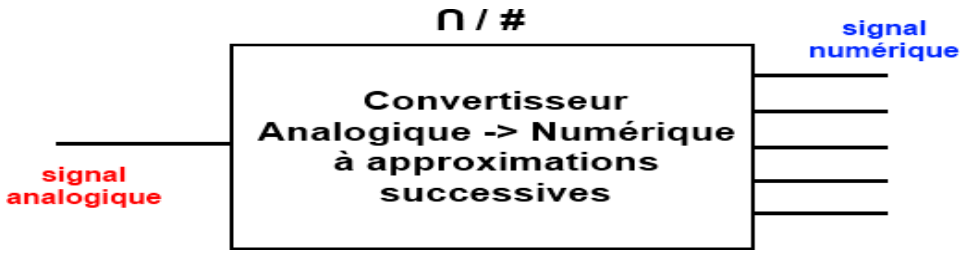


Figure 6 – Type du CAN de la carte Arduino UNO

4.2 Acquisition des données : Capteur de température LM35

4.2.1 Présentation du capteur

Le LM35 fait partie des capteurs de température électroniques de précision en structure intégrée.

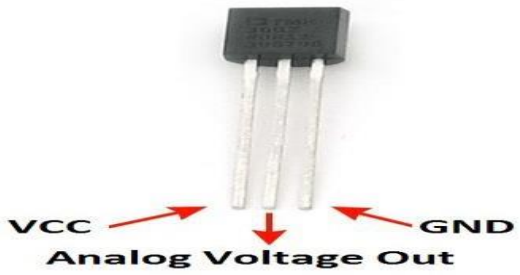


Figure 7 – Capteur de température LM35

D'après la fiche technique :

$$10mV \rightarrow C^o$$

Autrement un volt correspond à 100 degrés Celsius. La lecture analogique d'un signal de 0 à 5V étant codée de 0 à 1023, on a la formule :

$$Temp = Volt * (5/1023) * 100; \qquad Volt.entre.(0et1023)$$

4.2.2 Branchement avec la carte Arduino UNO

Pour exploiter le capteur LM35, il suffit :
– D'alimenter les pattes VCC et GND
– Débrancher la patte centrale à une entrée analogique d'Arduino (A0,...,A5).

4.2.3 Exploitation du package Arduino IO Library

1. Pré-chargement de adiosrv.pde sur la carte Arduino UNO
2. Développement du modèle Simulink

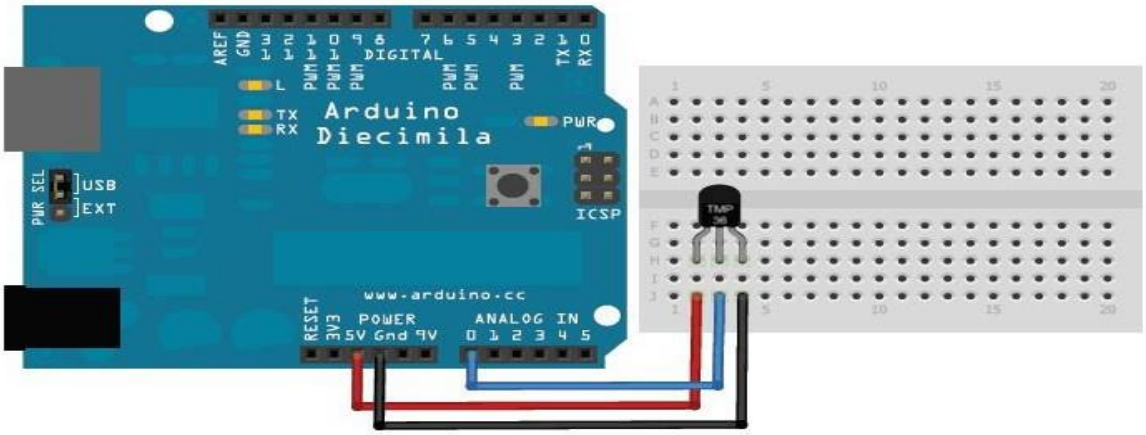


Figure 8 – Branchement du Capteur LM35 avec Arduino UNO

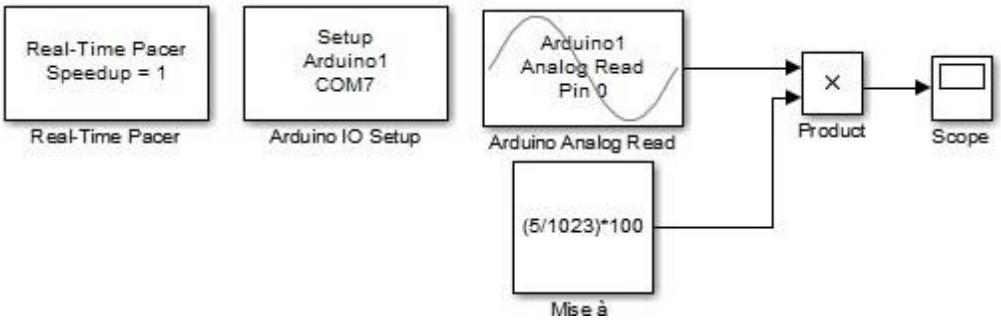


Figure 9 – Acquisition de la température sous Arduino IO Library

5 Envoi des données

5.1 Présentation des sorties analogiques (mode PWM)

La carte Arduino Uno dispose de 6 sorties (3,5,6,9,10 et 11) qui peuvent être utilisées en mode PWM, c'est-à-dire en modulation de largeur d'impulsion. Ce sont des signaux logiques binaires de fréquence constante (500Hz) mais de rapport cyclique variable.

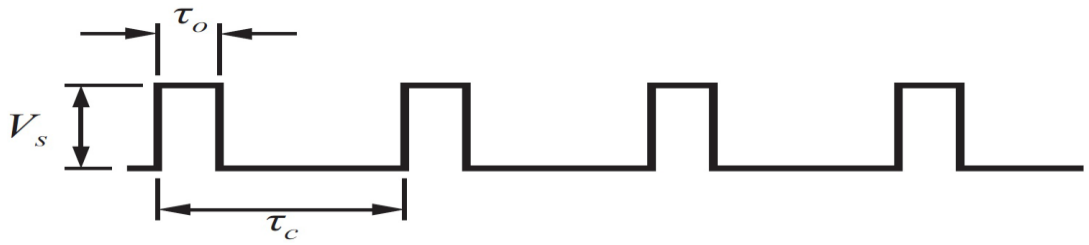


Figure 10 – Description du signal PWM

Lorsqu'un moteur ou une lampe est alimenté par ce type de tension, tout se passe comme s'il était alimenté par une tension continue ajustable entre 0V (rapport cyclique= 0) et 5V (rapport cyclique=255). Ces sorties doivent être initialisées comme des sorties digitales.

$$V_{out} = V_s \times \frac{\tau_o}{\tau_c}; \qquad avec: \quad \tau_c = 2ms$$

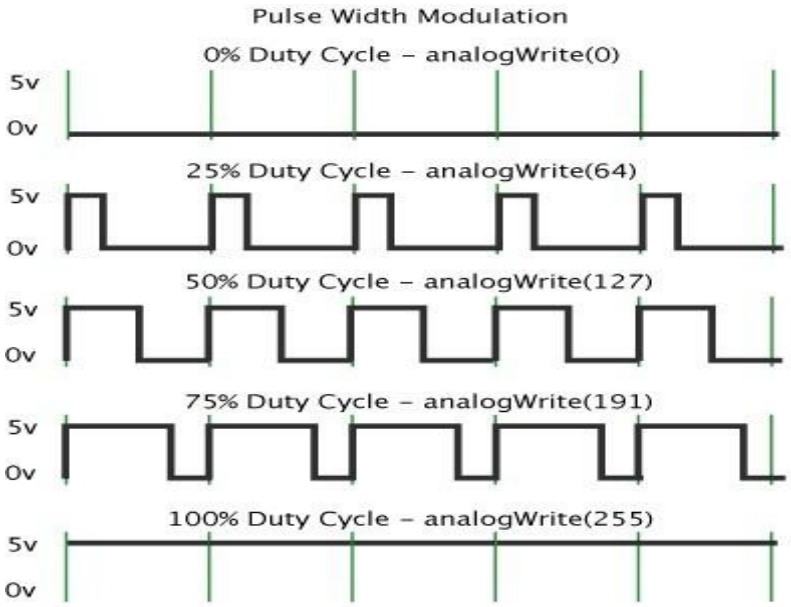


Figure 11 – Exemples de variation du rapport cyclique

Les composants utilisés sont les suivants :
– Le transistor TIP121 : C'est un transistor Darlington NPN qui d'après la fiche technique permet d'amplifier le courant jusqu'à 5A avec son gain d'amplification "au minimum" β= 1000 et supportant.
– La diode 1N4004 : Dans une charge inductive (bobines), le courant ne peut pas se stopper Instantanément. Cette diode joue le rôle d'une diode de roue libre qui permet au courant de s'arrêter progressivement.

5.2 Commande d'une résistance chauffante

5.2.1 Présentation du schéma électronique

Le circuit électronique comporte :
– Une lampe halogène 12V-35W
– Une résistance 1kΩ
– Un transistor TIP121

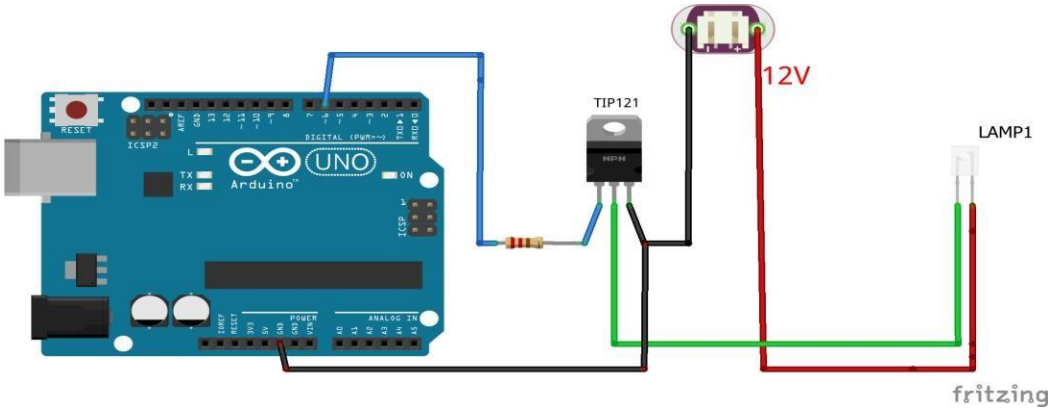


Figure 12 – Branchement de la carte Arduino UNO avec une lampe

L'utilisation de la commande PWM à partir de la carte Arduino permet de faire varier la tension appliquée aux bornes de la lampe autrement ceci permet de contrôler l'intensité lumineuse de la lampe.

5.2.2 Exploitation du package ArduinoIO Libraray

1. Pré-chargement de adiosrv.pde sur la carte Arduino UNO
2. Développement du modèle Simulink

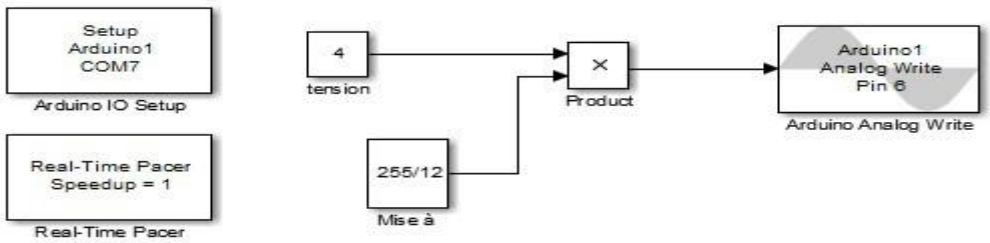


Figure 13 – Envoi de la commande PWM sous ArduinIO Library

TP2 : Modélisation et Analyse du Processus Thermique

Dans la conception d'un système d'exploitation industriel, on accorde une grande importance à l'identification des processus. En effet, pour procéder à la commande d'un système il est nécessaire de disposer d'un modèle mathématique caractérisant le système réel avec une bonne approximation mais suffisamment simple pour faciliter l'étude.

1 Objectifs

– Déterminer le modèle du processus thermique
– Déterminer les paramètres caractéristiques du processus.
– Analyser la stabilité du processus.
– Réaliser un bouclage simple avec une commande proportionnelle.

Remarque :
-Vous allez réaliser le TP en utilisant la polycopie intitulée" Notions Automatiques" donnée au début du TP
-Un compte rendu avec les résultats intermédiaires est à rendre à la fin de la séance par chaque groupe d'étudiants.

2 Présentation de la maquette

La maquette est constituée d'un capteur de température LM35 et une Lampe halogène 12V 35W qui joue le rôle d'un élément chauffant. Le capteur et la lampe sont installés dans une boite en bois avec un couvercle en plexiglas. Cette boite représente le système thermique à commander. La figure suivante schématise la connexion de la carte Arduino UNO avec l'entrée et la sortie du système thermique.

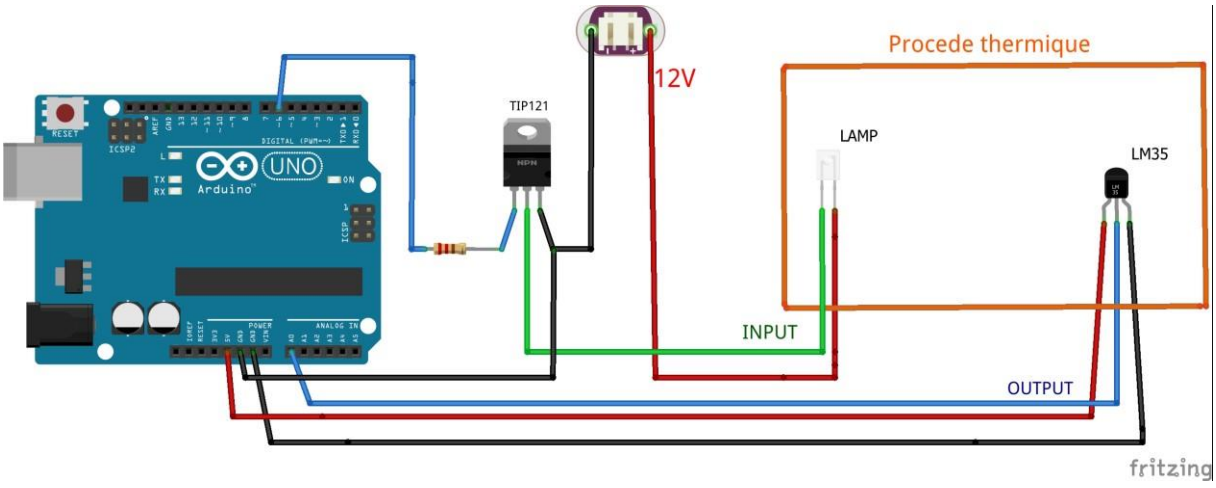


Figure 1 – Branchement du procédé avec la carte Arduino

La figure ci-dessous montre une vue réelle de la maquette utilisée.

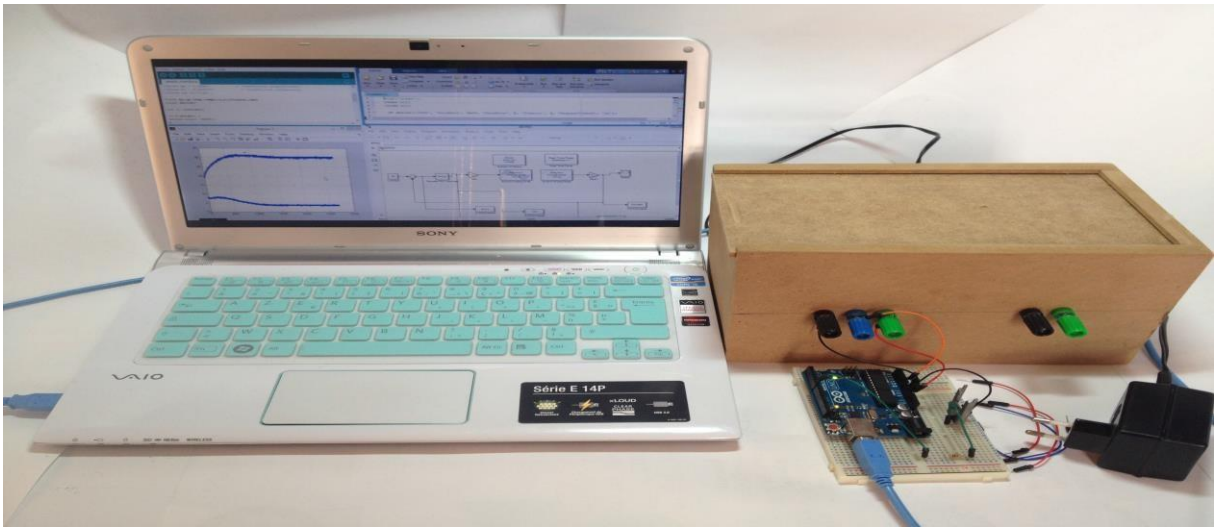


Figure 2 – Une vue de la maquette

3 Modélisation du procédé thermique

Le but de cette partie est de déterminer la fonction de transfert continu de notre procédé thermique en boucle ouverte notée $H(p)$. L'entrée du système est la tension $u(p)$ en *volts* et la sortie est la température $T(p)$ de *degré celsius*.

3.1 Présentation de l'étape d'identification avec Matlab

Cette étape est constituée de deux parties. La première est assurée par l'environnement Simulink et le package Arduino IO pour l'envoi et l'acquisition des données. La deuxième partie est assurée par l'outil *System identification* sous Matlab.

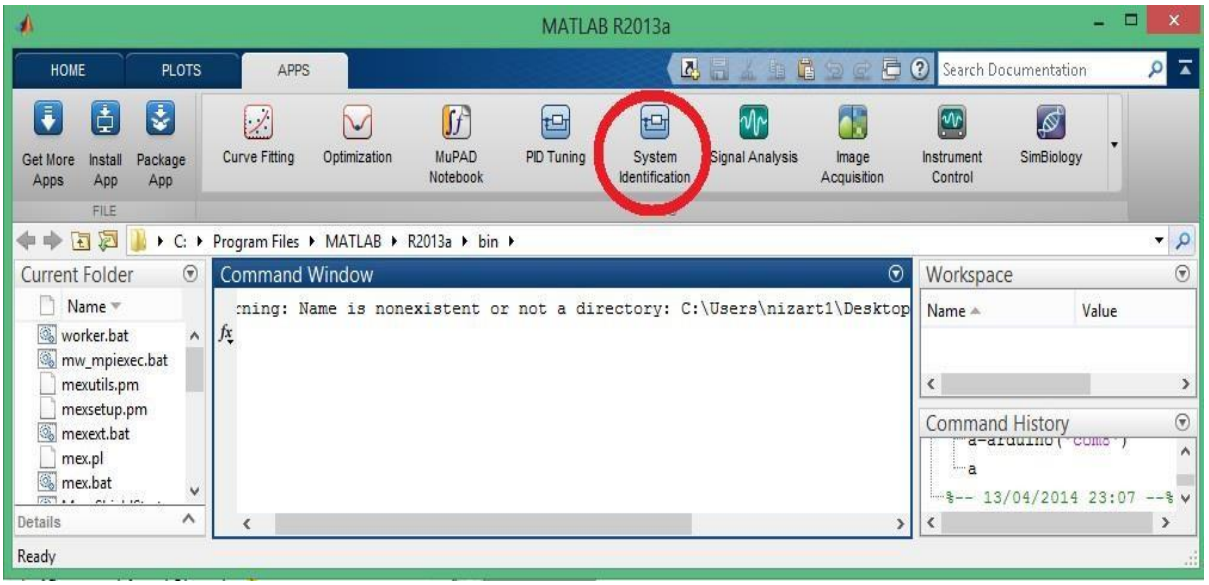


Figure 3 – L'utilisation de l'outil System Identification

3.2 Acquisition de la réponse indicielle du système

Plusieurs méthodes sont utilisées pour la modélisation d'un système comme la détermination des équations physiques du système, l'étude de la réponse d'un système à une entrée...etc. Dans notre cas on va identifier notre système en étudiant la réponse de notre système à échelon de tension.

Le modèle Simulink permettant de réaliser l'acquisition de la réponse du système à un échelon de tension est le suivant :

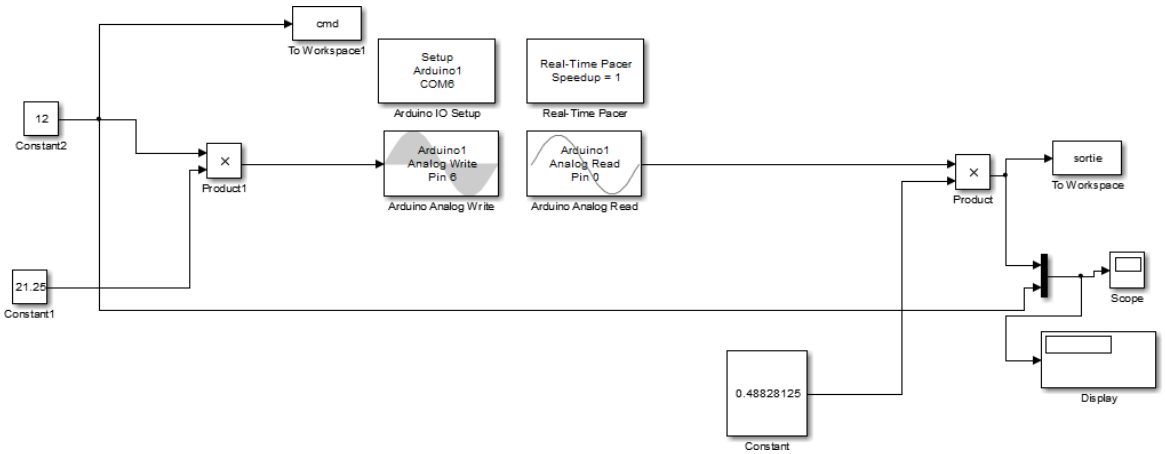


Figure 4 – Modèle Simulink pour la détermination de la réponse indicielle

3.3 Détermination de la fonction de transfert H(p)

Après avoir déterminé la réponse du système, on passe à la détermination de la fonction de transfer*t*

1. Ouvrir l'outil *System identification Tool*

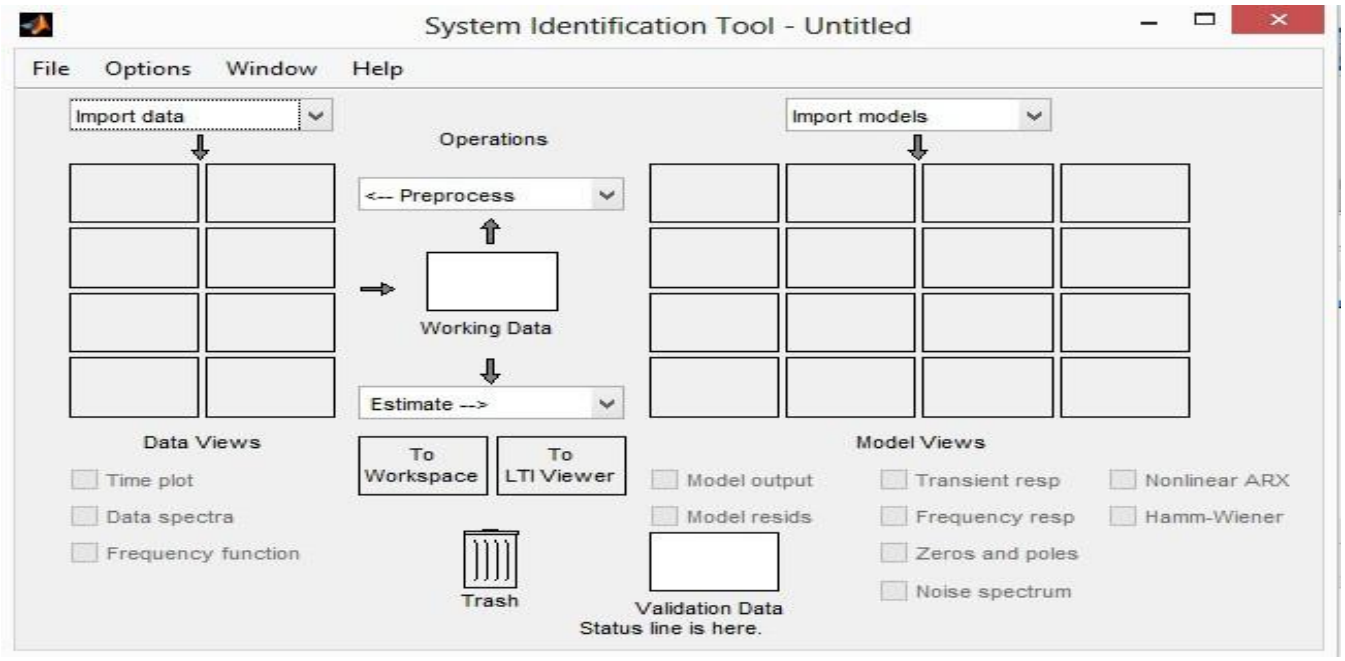


Figure 5 – L'interface de l'outil System identification

2. Cliquer sur *import* data et choisir *Time domain data*.

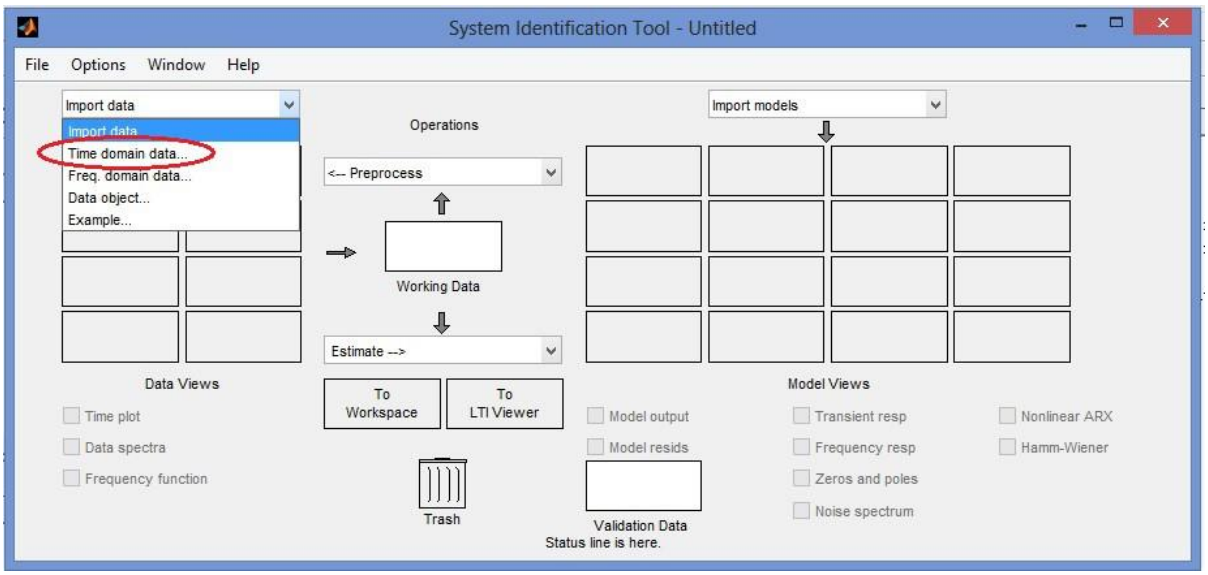


Figure 6 – Choix des types de données ”Time Domain Data”

3. Entrer le nom de la variable Input et la variable Output ainsi que le temps de starting time et sample time qu’on va utiliser lors de l’identification avec Simulink. Enfin cliquer sur Import.

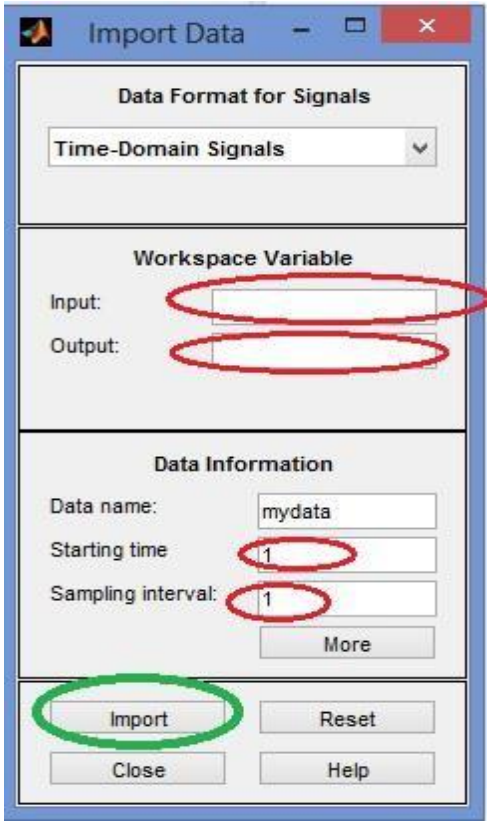


Figure 7 – Saisi des données relatives aux Input et Output du système

4. Cliquer sur *Estimate* et choisir *"Transfer Function Models"*

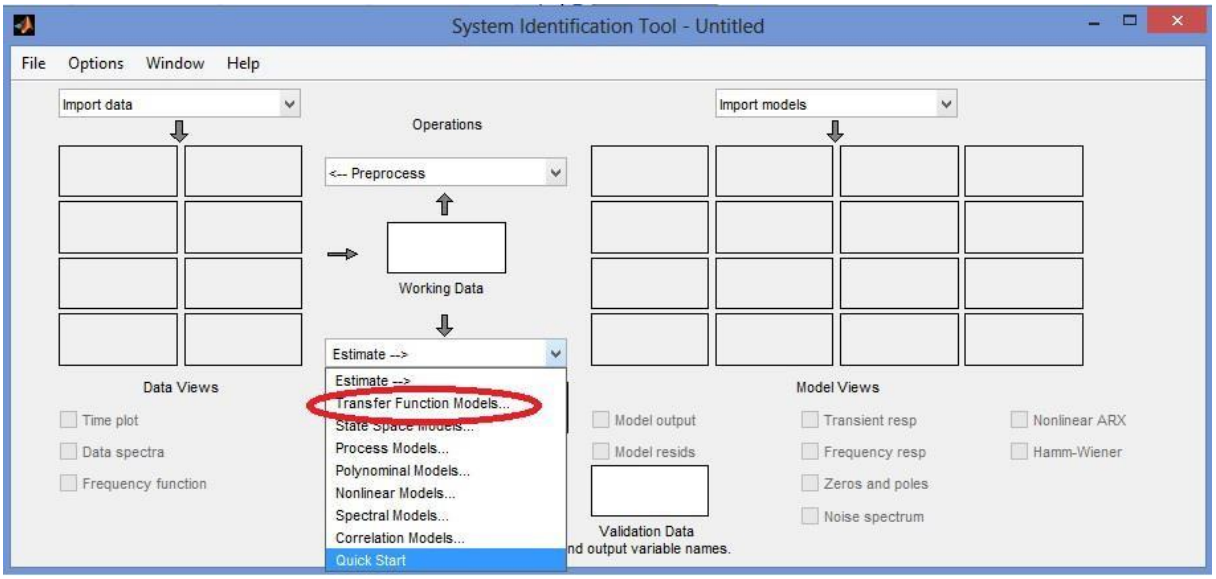


Figure 8 – Choix de la description du système à estimer"Tranfer Function"

5. Entrer le nombre de pôles et de zéros et cliquer sur Continuous-Time ensuite cliquer sur Estimate

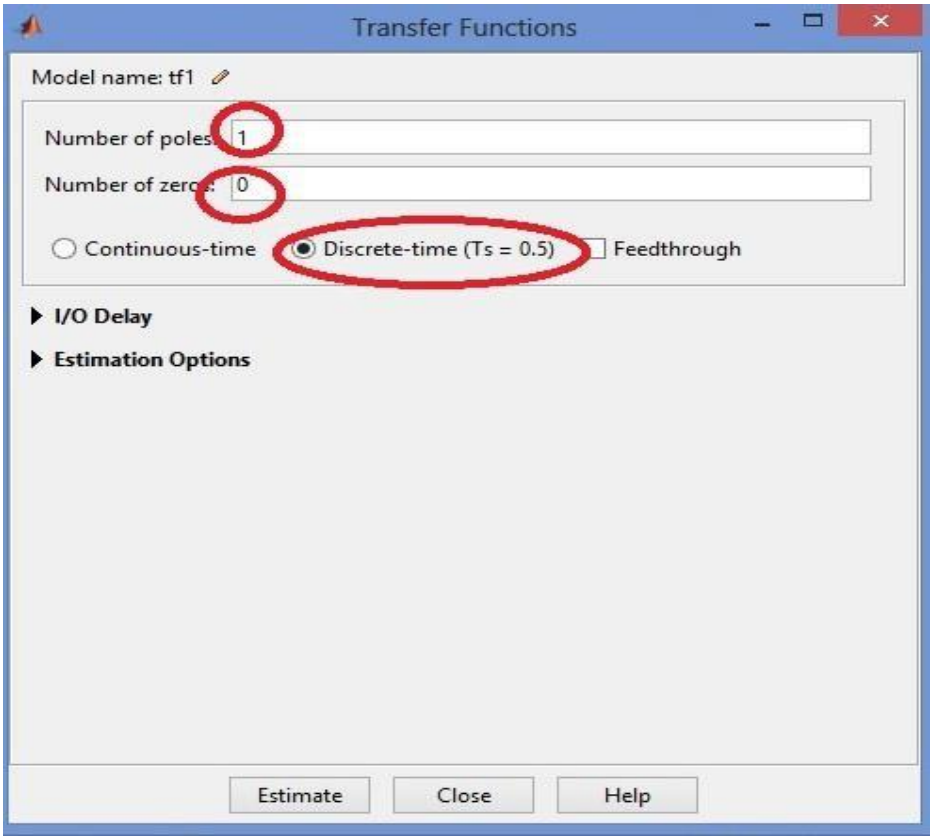


Figure 9 – Choix du nombre des pôles et des zéros de la fonction de transfert à estimer

6. Revenir à l'interface System Identification Tool et cliquer deux fois sur tf1

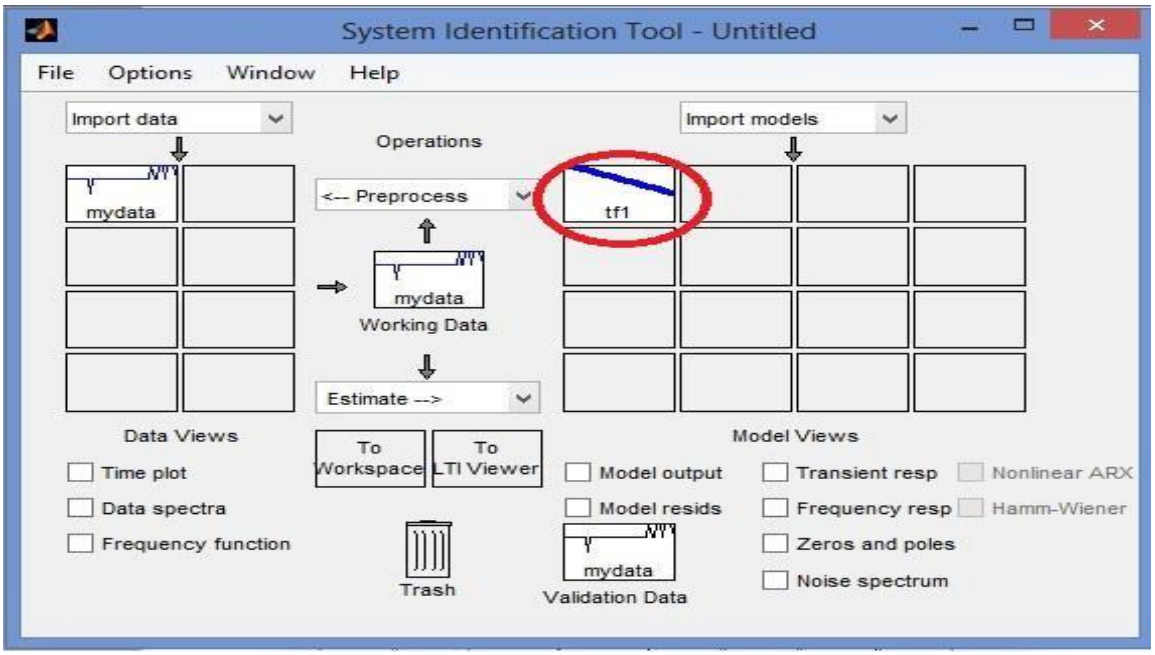


Figure 10 – Visualisation du résultat de l'estimation

7. Une fenêtre apparait dans laquelle vous trouvez *H(p).*

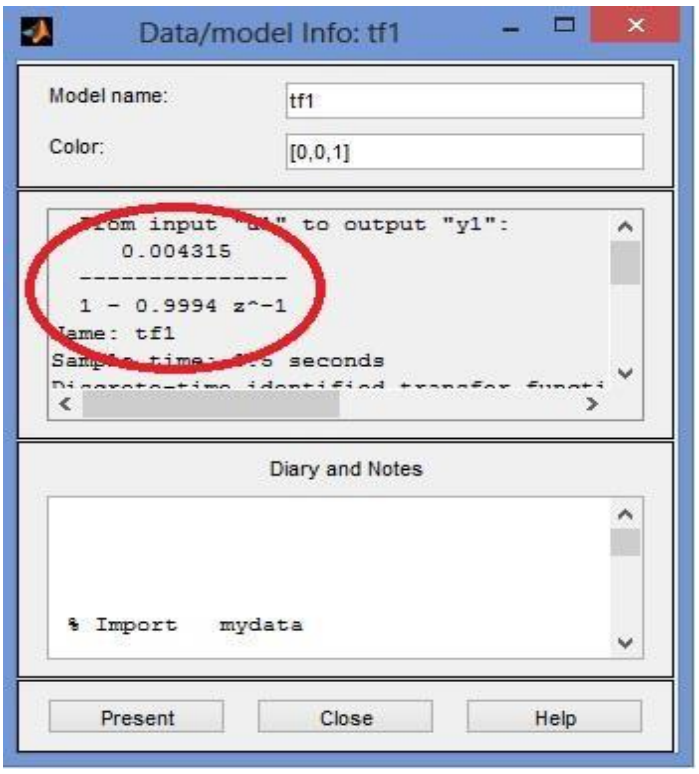


Figure 11 – Récupération de la fonction de transfert estimée

TP3 : Commande d'un système thermique

Pour améliorer la qualité de l'asservissement, on se propose de mettre en place une structure de commande plus évoluée que la correction proportionnelle pure.
L'objectif de ce TP est de réguler un système de premier ordre (un procédé thermique). Après l'identification du système en TP2, vous allez dans ce TP étudier les caractéristiques du système en boucle fermée en appliquant plusieurs correcteurs (P,I,PI,PD,PID).
MATLAB sera utilisé durant ce TP comme outil d'analyse des relevés expérimentaux mais permettra également d'accélérer la phase de synthèse du correcteur avec la toolbox PID TUNING.

1. Objectifs

– Familiariser avec l'outil PID TUNING.
–Etudier l'effet des régulateurs (P,I,PI,PD,PID) sur la réponse du système en utilisant le PID tunning

2. Présentation de la maquette

La maquette est constituée d'un capteur de température LM35 et une Lampe halogène 12V 35W qui joue le rôle d'un élément chauffant. Le capteur et la lampe sont installés dans une boite en bois avec un couvercle en plexiglas. Cette boite représente le système thermique à commander. La figure suivante schématise la connexion de la carte Arduino UNO avec l'entrée et la sortie du système thermique.

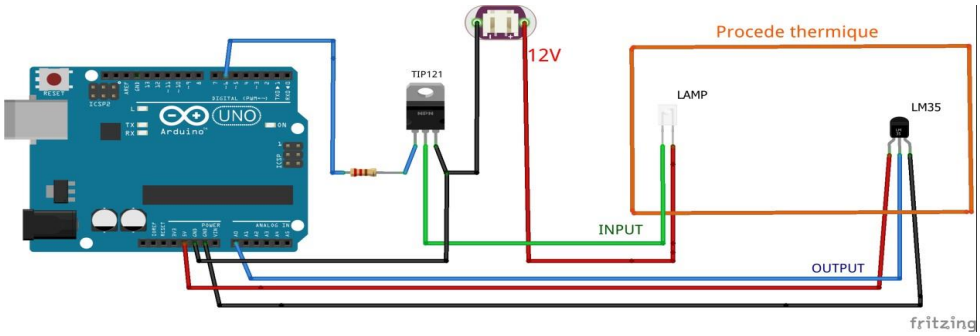


Figure 1 – Branchement du procédé avec la carte Arduino

3. Utilisation du PID TUNING pour la régulation du système

L'étape de la commande du procédé thermique avec le PID TUNING est constituée de deux parties.

1. La première partie consiste à utiliser l'outil Matlab *PID Tuning* pour déterminer les différents paramètres de notre régulateur PID à savoir *Kp,Ki* et *KD* en fonction de notre objectif de commande.
2. La deuxième partie consiste à implémenter les paramètres du régulateur sous Simulink. *PID(z)*.

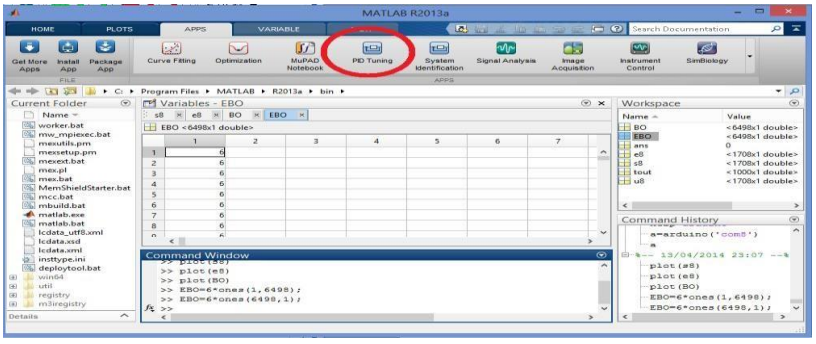


Figure 2 – Emplacement de l'outil PID tuning

3.1 Synthèse du régulateur numérique

1. Ouvrir l'outil *PID Tuner*

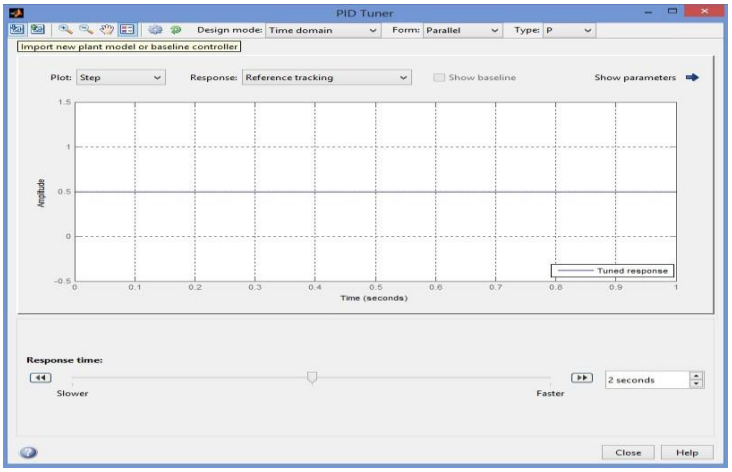


Figure 3 – Interface de l'outil "PID tuning"

2. Cliquer sur Import new plant, une nouvelle fenêtre apparait.

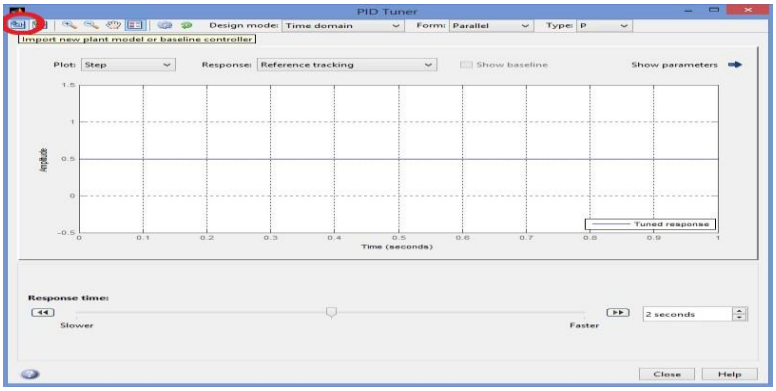


Figure 4 – Importation du modèle estimé

3. Une nouvelle fenêtre apparait dans laquelle vous allez sélectionner **tf1** ensuite cliquer sur *import* puis *close*.

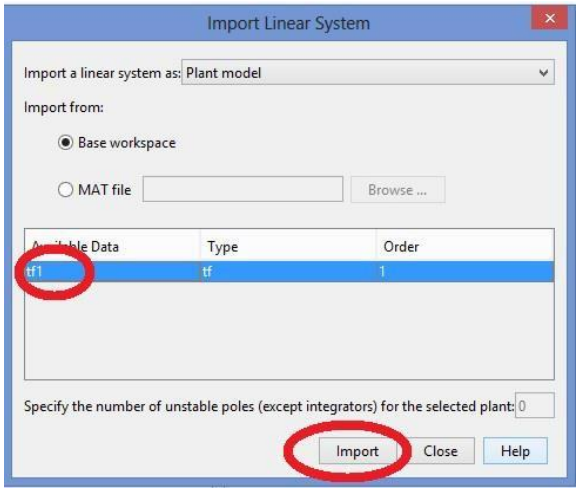


Figure 5 – Interface de l'outil "Import Linear System"

4. Revenir à la fenêtre PID Tuner, vous pouvez choisir le type de régulateur à implémenter et les objectifs de la commande en boucle fermée et voir la réponse de la sortie du système.

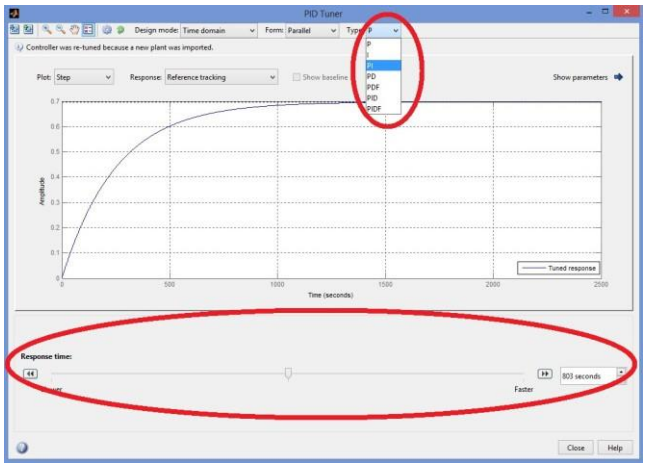


Figure 6 – Choix du régulateur à implémenter

5. Cliquer sur la flèche de show paramètre pour voir les paramètres utilisés de votre régulateur ainsi que les performances du système en boucle fermée.

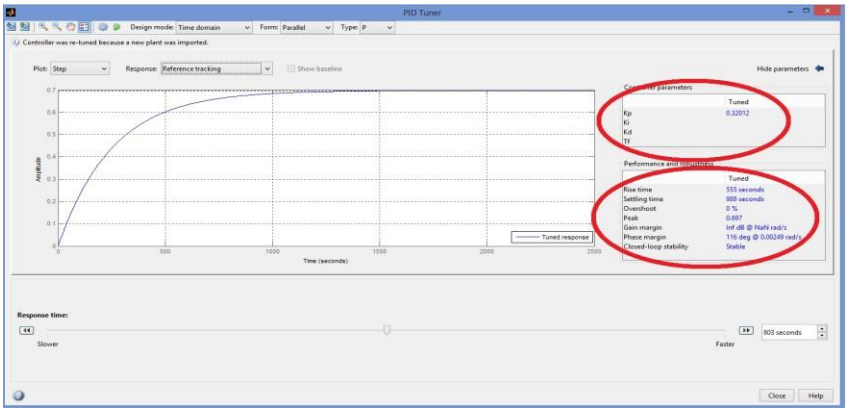


Figure 7 – Récupération des paramètres du régulateur

3.2 Implémentation de la commande sous Simulink

La boucle d'asservissement à implémenter sur Simulink se traduit par le schéma suivant :

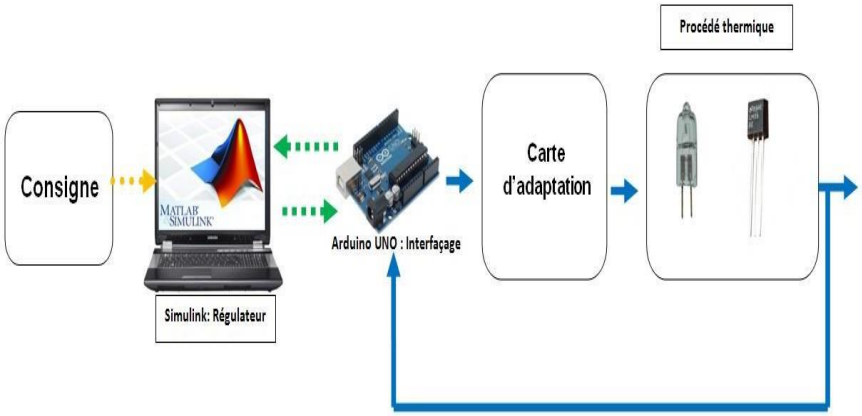


Figure 8– Synoptique de la boucle d'asservissement à implémenter

L'asservissement de notre procédé est assuré par le schéma Simulink ci-dessous qui regroupe la consigne, le comparateur, le correcteur *PID(z)*, le traitement de la température issue du capteur et l'envoi de la commande PWM.

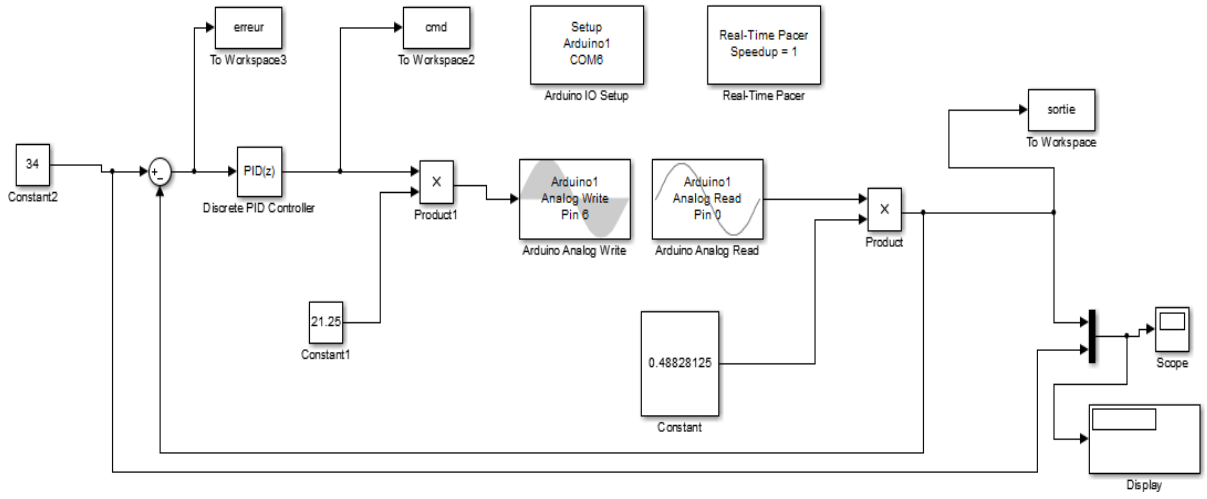


Figure 9 – Modèle Simulink d'asservissement de température

L'appui deux fois sur le bloc *PID(z)* permet d'introduire les paramètres *Kp Ki Kd* et de configurer le régulateur selon notre objectif de commande.

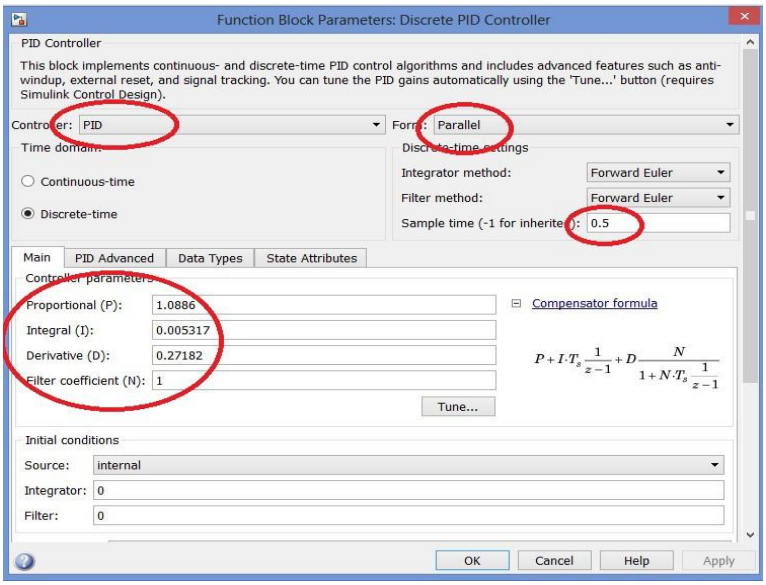


Figure 10 – Saisi des paramètres du régulateur

4. Travail à faire

1. Réaliser le montage de la figure 1
2. Réaliser la structure Simulink figure 9.
3. Faire la simulation pour un correcteur proportionnel $K_p = 40$ et $K_p = 0.4$, que constatez-vous

4. Pour chacun des régulateurs (proportionnel, intégral, proportionnel intégral, *proportionnel dérivé-*Proportionnel Intégrateur Dérivateur), faire le travail suivant :

-Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée (retour unitaire)

-Tracer la courbe de la réponse indicielle et de bode

-Déterminer les paramètres suivants : Marge de phase-marge de gain-temps de montée

5. Déduire à partir des courbes précédentes une étude comparative entre les correcteurs

TP4 : Asservissement du processus thermique

1. Objectifs

–Déterminer le modèle du processus thermique
–Implémenter un régulateur numérique dans la carte arduino

2. Présentation de la maquette

La maquette est constituée d'un capteur de température LM35 et une Lampe halogène 12V 35W qui joue le rôle d'un élément chauffant. Le capteur et la lampe sont installés dans une boite en bois avec un couvercle en plexiglas. Cette boite représente le système thermique à commander. La figure suivante schématise la connexion de la carte Arduino UNO avec l'entrée et la sortie du système thermique.

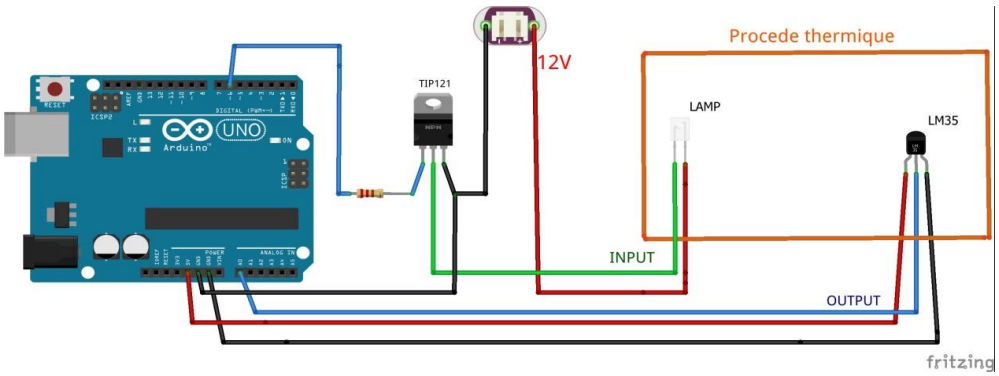


Figure 1 – Branchement du procédé avec la carte Arduino

3. Modélisation du procédé thermique

Le but de cette partie est de déterminer la fonction de transfert continu de notre procédé thermique en boucle ouverte notée H(p).L'entrée du système est la tension u(p) en volts et la sortie est la température T(p) de degré Celsius. Cette étape est constituée de deux parties. La première est assurée par l'environnement Simulink et le package ArduinoIO pour l'envoi et l'acquisition des données. La deuxième partie est assurée par l'outil System identification sous Matlab(voir tp2).

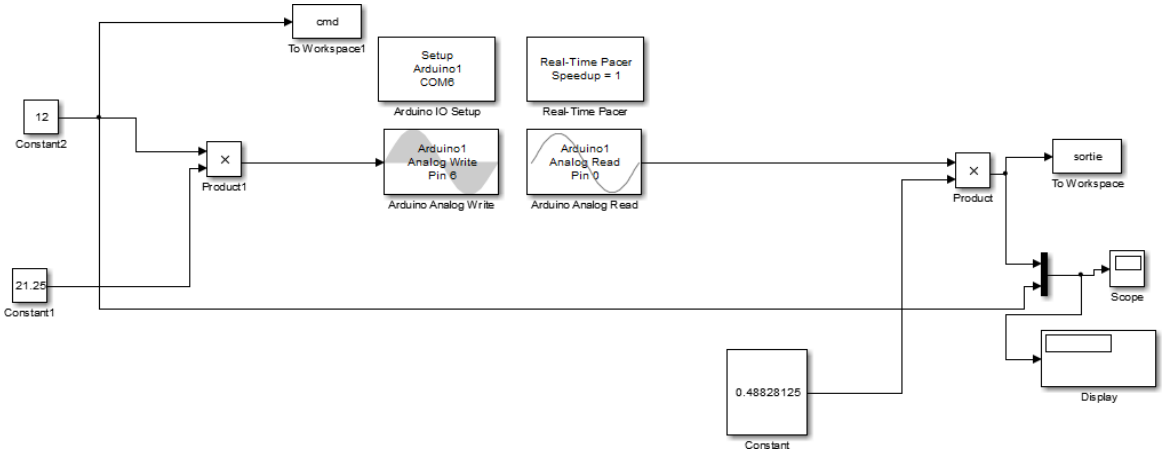


Figure 2 Modèle Simulink pour la détermination de la réponse indicielle

Configurer le bloc to workspace de la manière suivante (figure 3)

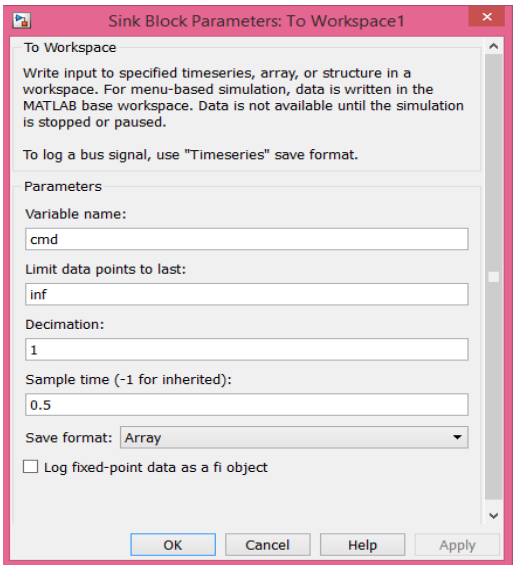


Figure 3 Configurations de bloc to workspace

4. Implémentation de la commande sur la carte arduino

Dans cette partie on va utiliser les fonctions offertes par Arduino pour envoyer (la commande) et acquérir (la température instantanée). L'implémentation du régulateur se fera directement sur la carteArduino.

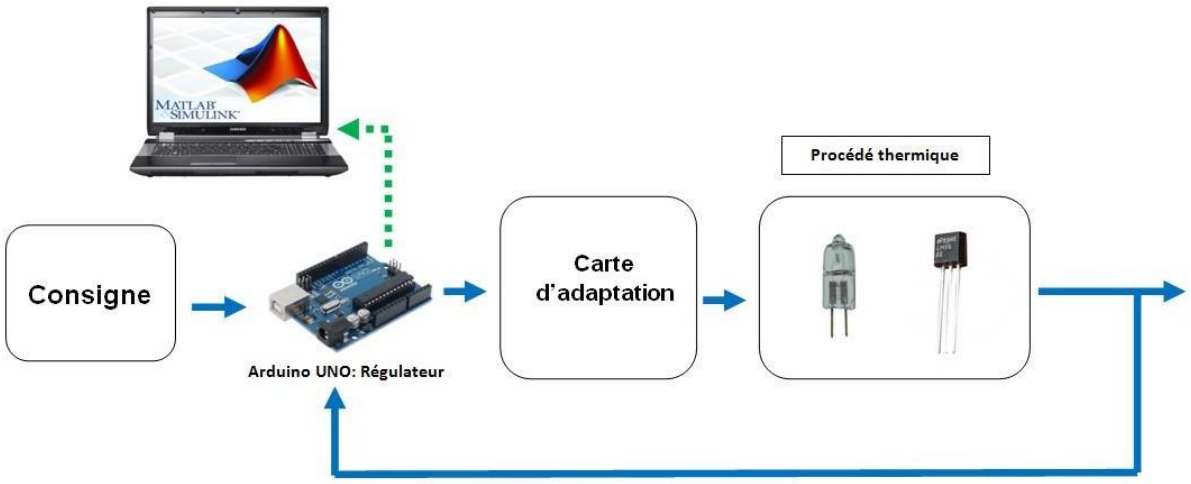


Figure 4 Schéma synoptique de l'asservissement à l'implémenter

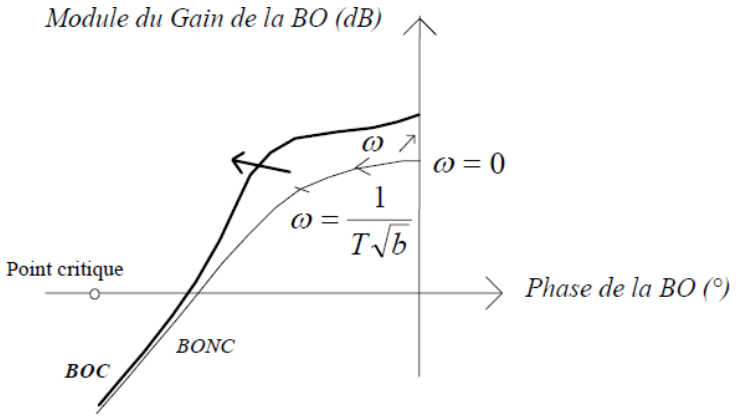
4.1 Le correcteur à retard de phase

Le correcteur à retard de phase est une forme approchée du correcteur PI. Il réalise une action intégrale (augmentation du gain en basses fréquences) sans introduire d'intégrateur.
Il est défini par la fonction de transfert suivante

$$FT = K\,\frac{1+Tp}{1+bTp} \quad b>1$$

Le retard de phase maxi $\Delta\phi$ se produit à $\omega = \omega_a = \frac{1}{T\sqrt{b}}$.

Retard de phase nul pour $\omega > \omega_b = \frac{10}{T\sqrt{b}}$, ω_b est choisi égal à 10 ω_a



Algorithme de réglage

1. On détermine d'abord *b* :
Soit *H*0 le gain statique de la BONC.
Soit *KH*0 le gain statique de la BOC (gain statique désiré correspondant à une précision statique requise)
On a

$$20\log(b) = |KH_0|_{db} - |H_0|_{db} = 20\log(K) \rightarrow b = K$$

Le gain *K* du correcteur est choisi égal à *b* afin que les fréquences $> \omega_b = \frac{10}{T\sqrt{b}}$ ne soient pas affectées.

2. On détermine *T* tel que à $\omega_b = \frac{10}{T\sqrt{b}}$ ne se produit plus de retard de phase

4.2 Implémentation de régulateur L'implémentation du régulateur retard de phase sur la carte

Le code suivant permet d'implémenter le régulateur de retard de phase sur la carte Arduino.

```
float delta_erreur=0;
float delta_commande=0;

float somme_erreur=0;
float ep,up,temp,u,e,cmd;
int consigne=35;
void setup() {
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
temp=analogRead(A0);
temp=(temp*500)/1023;

e=consigne-temp;
delta_commande= u-up/0.5
delta_erreur=(e-ep)/0.5;
somme_erreur=somme_erreur+e*0.5;
cmd=K*e+K*T*somme_erreur+Kd*delta_erreur-b*T* delta_commande
analogWrite(6,cmd*(255/12));
ep=e;
up=u;
```

delay(500);//période d'échantillonnage
Serial.write(analogRead(0));//envoi de la donnée sur le port série}
Il suffit d'exploiter la bibliothèque Instrument Control Toolbox pour la lecture de la température instantanée.

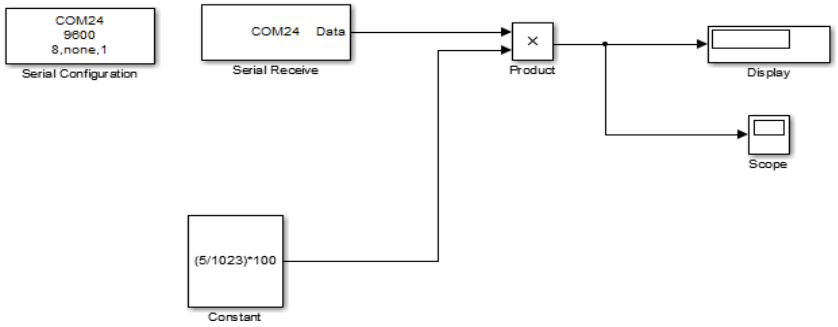


Figure 5 Acquisition de la température sous instrument Control Toolbox

5. Travail à faire

1. Réaliser le montage de la figure 1
2. Réaliser la structure Simulink figure 2.
3. Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte
4. Tracer la réponse indicielle et le diagramme de bode
5. En utilisant PID tuning tracer la réponse indicielle et déterminer le temp de montée pour un correcteur proportionnelle dérivé
6. On considère un correcteur à retard de phase

-Déterminer les valeurs de b et T afin d'avoir une erreur statique de 2% et une marge de phase 60° (échelon est unitaire)

- Implémenter le régulateur dans la carte arduino pour les valeurs trouvées et réaliser la structure Simulink figure 5(déduire le code de régulateur à retard de phase à partir de code du régulateur pid donné)

-Vérifier les performances désirées