

Régulation industrielle

Travaux Pratiques N°5

Régulation discrète PID de la température d'une pièce
par automate programmable Millenium 3

1 Généralités

1.1 Présentation de la maquette

La maquette que vous allez utiliser sert à une application de domotique. Elle contient deux boîtes, concernant l'éclairage et le chauffage. On s'intéresse, dans ce TP, au chauffage. La boîte (blanche) à laquelle nous nous intéressons contient une petite ampoule et un capteur de température. La Figure 1 représente le dispositif expérimental.

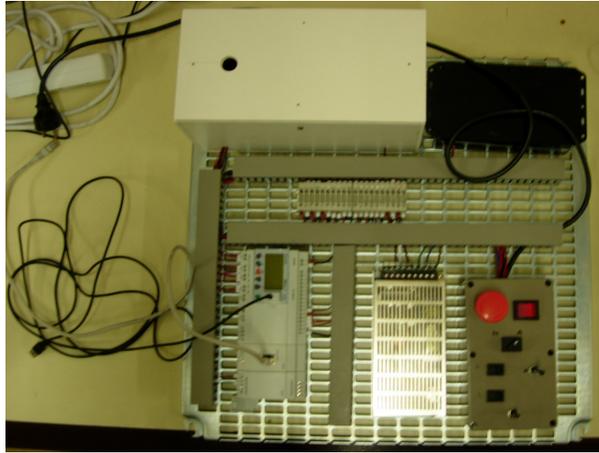


Figure 1: Maquette de domotique: automate programmable

1.2 Objectif du TP

L'objectif principal de ce TP est de réguler la température de la pièce en contrôlant la tension appliquée aux bornes d'une lampe chauffante.

Pour cela vous utiliserez trois logiciels.

1.3 Aspects techniques

Les trois logiciels utilisés sont les suivants:

- Crouzet Logic Software Millenium 3 : crée des diagrammes sous la forme de fichiers `.pm3` incluant des icônes graphiques qui sont reliées aux entrées et sorties de l'automate;
- SmartConfig : permet d'enregistrer des données transférées par l'automate via son port Ethernet sous la forme d'un fichier `.csv`;
- Matlab : permet d'exploiter les données écrites par l'automate dans le fichier `.csv`.

L'environnement de programmation principal est le logiciel Crouzet Logic Software M3 :

Lancez le logiciel et créez un programme que vous nommerez `Regulation_Temperature_Piece.pm3`. L'automate est équipé d'une extension "XA04" qui permet la commande analogique, et d'une extension "XN05" qui permet le transfert de données via un port ethernet. Lors de la création du programme vous devez donc les inclure. Choisir:

- l'automate XD 26 de référence 88970161;
- l'extension XA04 24VDC;
- l'extension XN05 24VDC;
- le langage FDB (Functional Block Diagram) comme type de programmation (pas le langage à contact (LADDER)).

Le fichier `Regulation_Temperature_Piece.pm3` qui conditionne le fonctionnement de la maquette est maintenant créé.

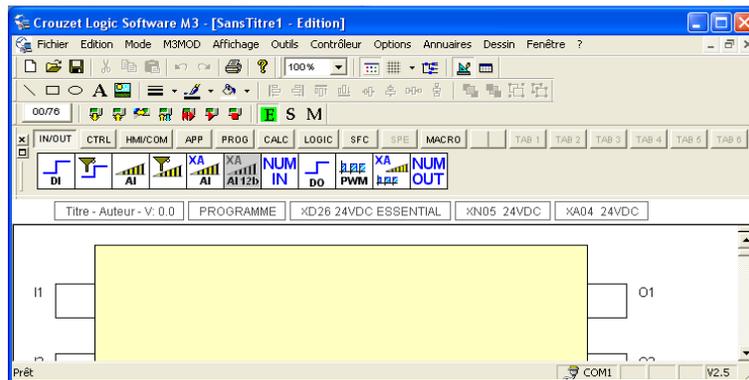


Figure 2: Fichier pm3 vierge

Vous utilisez l'extension **XN05** pour enregistrer et visualiser la mesure de température délivrée par la sonde. Sur le logiciel Logic Software M3, paramétrez l'extension XN05. Pour cela, cliquez sur le rectangle associé en lui attribuant l'adresse IP (statique) de la maquette que vous utilisez. plusieurs adresses IP sont disponibles:

Adresse IP 1 : 172.17.106.210

Adresse IP 2 : 172.17.106.211

Adresse IP 3 : 172.17.106.212

etc.

Vérifiez que celle que vous voulez utiliser est disponible: démarrer>exécuter>cmd OK. tapez ping 172.17.106.212 (par exemple). Si le délai d'attente est dépassé, c'est que l'adresse est libre et que vous pouvez la choisir (voir Fig. 3). Précisément vous devez rentrer: 172.17.106.212 pour l'adresse IP et de passerelle, et 255.255.255.0 pour le masque de sous réseaux.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows XP [version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\Marot>ping 172.17.106.212

Envoi d'une requête 'ping' sur 172.17.106.212 avec 32 octets de données :

Délai d'attente de la demande dépassé.

Statistiques Ping pour 172.17.106.212:
    Paquets : envoyés = 4, reçus = 0, perdus = 4 (perte 100%),

C:\Documents and Settings\Marot>
```

Figure 3: Test de disponibilité d'une adresse IP

Vous utiliserez l'extension **XA04** pour alimenter l'ampoule. Sur le logiciel Logic Software M3, paramétrez l'extension XA04 pour qu'elle produise un signal PWM. Pour cela, cliquez sur le rectangle XA04 24VDC, puis choisissez PWM dans l'onglet "extension analogique".

Voici quelques éléments de base de la programmation avec le logiciel Logic Software M3:

Les entrées: les entrées I1 à IA sont dites "numériques". En fait elles prennent deux valeurs: 0 ou 1, codées sur un bit. Les entrées IB à IG sont dites "analogiques". En fait elles sont aussi numériques mais codées sur 10 bits et non sur un seul bit.

Les blocs fonctions: on insère une fonction en la faisant glisser. Par exemple le "ou" logique (LOGIC).

Les sorties: Les sorties O1 à OA sont numériques (allumé ou éteint), les sorties OFXA et OGXA simulent une sortie "analogique" dans le sens où elles peuvent accepter une valeur entre 0 et 1023 (elles correspondent à l'extension XA04). Les sorties "ETH" correspondent au port ethernet.

Question 1: Qu'est-ce qui distingue les connexions vertes des connexions noires ?

2 Programme de régulation

Complétez le fichier `Regulation_Temperature_Piece.pm3` avec le logiciel Crouzet:

2.1 Eléments pour la mise en route

Placez en O3 une sortie numérique " digital output " (IN/OUT) à laquelle vous pouvez donner l'aspect d'une ampoule. Elle est reliée au chauffage. Placez en O4 une sortie numérique " digital output " (IN/OUT) à laquelle vous pouvez donner l'aspect d'un ventilateur.

Sur I2 et I3, placez l'entrée numérique "digital input" (IN/OUT). Reliez I2 à O3 (lampe chauffante) et I3 à O4 (ventilateur).

Il existe trois modes d'utilisation du logiciel: écriture E, simulation S, monitoring M. Faites un premier essai de simulation S en allumant la lampe de la sortie O3.

2.2 Mesure de température

Aidez-vous du schéma de la Fig. 2.4.

Afin de mesurer la température ambiante dans la pièce, on y a placé un capteur qui fonctionne dans une gamme de $T = -10$ à 40 degrés Celsius, et qui donne une sortie V entre 0 et 10 Volts. Le capteur est relié à la broche IC de l'automate. Cette mesure est donnée sous la forme numérique d'un nombre NUM codé sur 10 bits.

Question 2: trouvez la relation qui donne la température T en fonction de cette valeur numérique NUM. On affichera la température multipliée par 10. Complétez en fonction de cela l'élément Gain (CALC). Réalisez le branchement de la figure 2.2.

Remarquez l'élément Display. Il vous permettra de visualiser la température à l'intérieur de la boîte en temps réel. Les éléments NUM OUT permettront par la suite de transférer des données sur l'ordinateur.

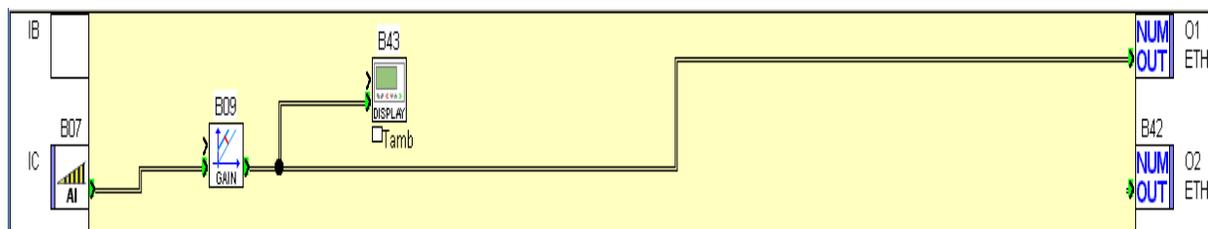


Figure 4: Programme pour la mesure de température

Faites une mesure de température par les actions suivantes:

- brancher le câble au port USB COM 1 et à l'automate;
- écrire (flèche jaune vers le haut);
- monitoring (M);
- lecture (rouge).

Question 3: la température s'affiche-t-elle sur l'écran de l'automate ? Le facteur de multiplication correspond-il au gain que vous avez choisi ?

2.3 Montée en température

On réalise une étude en boucle ouverte: une montée en température.

Question 4: quelle est à votre avis l'objectif de cette étude ?

Avec les éléments "Entrée analogique" auxquels vous pouvez donner l'aspect d'un thermomètre, réalisez le programme de la figure 2.3 (attention les sorties O3 et O4 ne sont pas représentées).

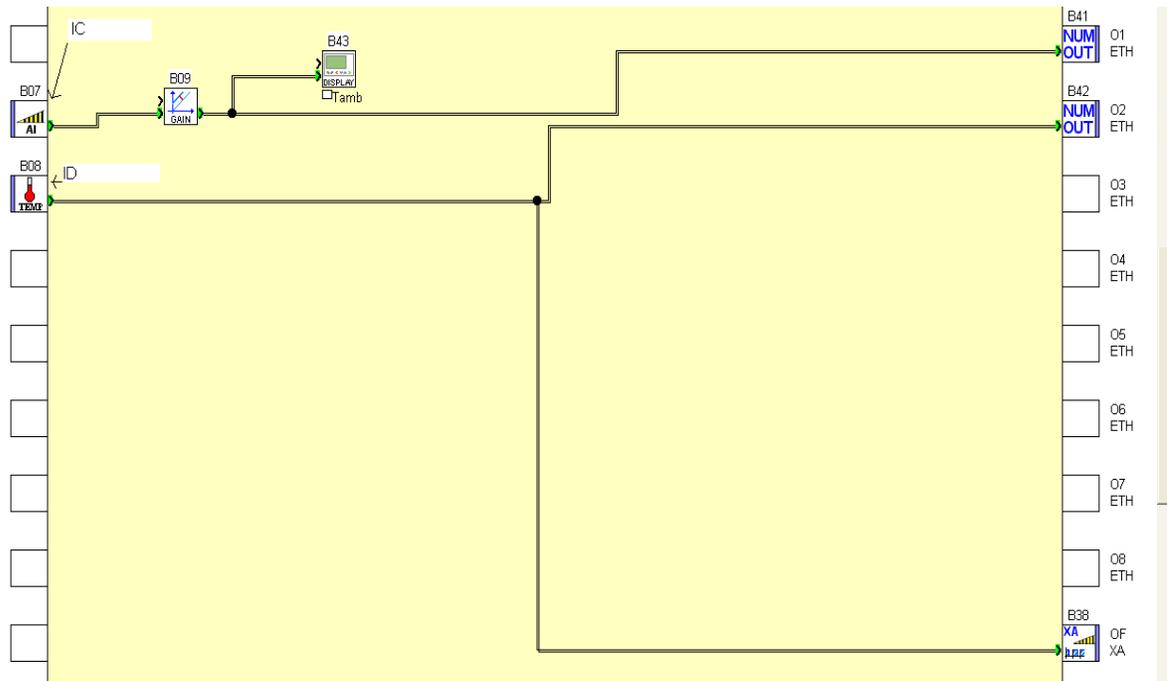


Figure 5: Programme dédié à l'identification

Vous procéderez à un enregistrement de la mesure de température en suivant la démarche décrite en annexe.

Faites une expérience de montée en température (écriture, etc.) en suivant les instructions suivantes: Avant d'allumer la lampe, relevez la température ambiante. La montée en température sera poursuivie jusqu'à atteindre 39 à 40 degrés maximum. La valeur maximale qui peut être affichée est normalement 40 degrés. Sur le fichier `Regulation_Temperature_Piece.pm3`, pour allumer la lampe, fermez le relais correspondant à la lampe chauffante.

Question 5: La lampe s'allume-t-elle ?

Si non, jouez sur le sélecteur de la maquette (à côté du petit rhéostat) pour augmenter la puissance fournie à la lampe chauffante.

Question 6: Quelle est la consigne ? Est-ce la valeur maximale pouvant être fournie sur la sortie OFXA ?

Fixez dans le programme la consigne à 1000.

Question 7: Comment varie alors l'intensité lumineuse ?

Remarque 1: attendez avant d'appliquer une consigne que la température dans la boîte soit proche de la température ambiante.

Appliquez la méthode du temps de montée à 63 % (voir annexe) pour identifier le système.

2.4 Régulation PID

Poursuivez la construction de votre programme: modifiez le pour mettre en oeuvre une régulation PID.

Pour cela, placez les éléments PID (APP), Gain (CALC), Display (HMI/COM), réalisez le schéma de branchement pour effectuer la régulation.

L'élément ADD/SUB (CALC) permet d'ajouter une constante à la valeur maximum permise par le sélecteur.

L'utilité de la constante à ajouter à la consigne de température est la suivante: L'entrée ID mesure la tension donnée par le sélecteur. La lampe chauffante est alimenté par une tension à 0 à 10 Volts.

Question 8: Quelle est la valeur numérique TEMP donnée par l'entrée thermomètre ?

Question 9: Déduisez-en la tension délivrée par le sélecteur de votre maquette.

Question 10: Quelle valeur numérique NUM faut-il ajouter pour atteindre la consigne de 35°?

Un élément Gain après la sortie du PID multiplie par un facteur cette sortie. Celle-ci atteint une valeur max de 255.

Question 11: Quel facteur multiplicatif choisit-on, sachant que la valeur de commande donnée par OF XA est codée sur 10 bits ?

Sur la figure 2.4 sont présentés les éléments nécessaires à la mise en oeuvre du PID. A vous de faire les câblages adéquats.

Le PID est de type mixte. Sa fonction de transfert est la suivante:

$$C(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right) \quad (1)$$

où K_p , T_i , T_d caractérisent le PID.

Lorsque K_p augmente, le système est plus rapide mais plus instable (plus les variations de sortie du système sont brutales). Lorsque $1/T_i$ augmente, le temps de montée est plus court mais il y a un dépassement plus important. Lorsque T_d augmente, le temps de montée change peu mais le dépassement diminue (le système est stabilisé).

Pour que le système soit stable, on choisit K_p proche de sa valeur minimale. Pour qu'il soit rapide, on choisit T_i du même ordre de grandeur que T , mais inférieur pour éviter les dépassement. On souhaite avoir un dépassement très faible ou pas de dépassement, donc on choisit T_d d'un ordre de grandeur au-dessus de τ mais d'un ordre de grandeur en dessous de T .

Question 12: Quelles valeurs de K_p , T_i et T_d préconisez-vous ?

La régulation est réalisée à l'aide de la sortie analogique OFXA. La commande envoyée à la sortie OFXA est proportionnelle à l'écart $\epsilon(t) = T_{consigne} - T_{mesure}$ avec $T_{consigne} = 35^\circ$.

Question 13: Quel élément manque-t-il en apparence pour réaliser un rebouclage ? Où se trouve implicitement cet élément ?

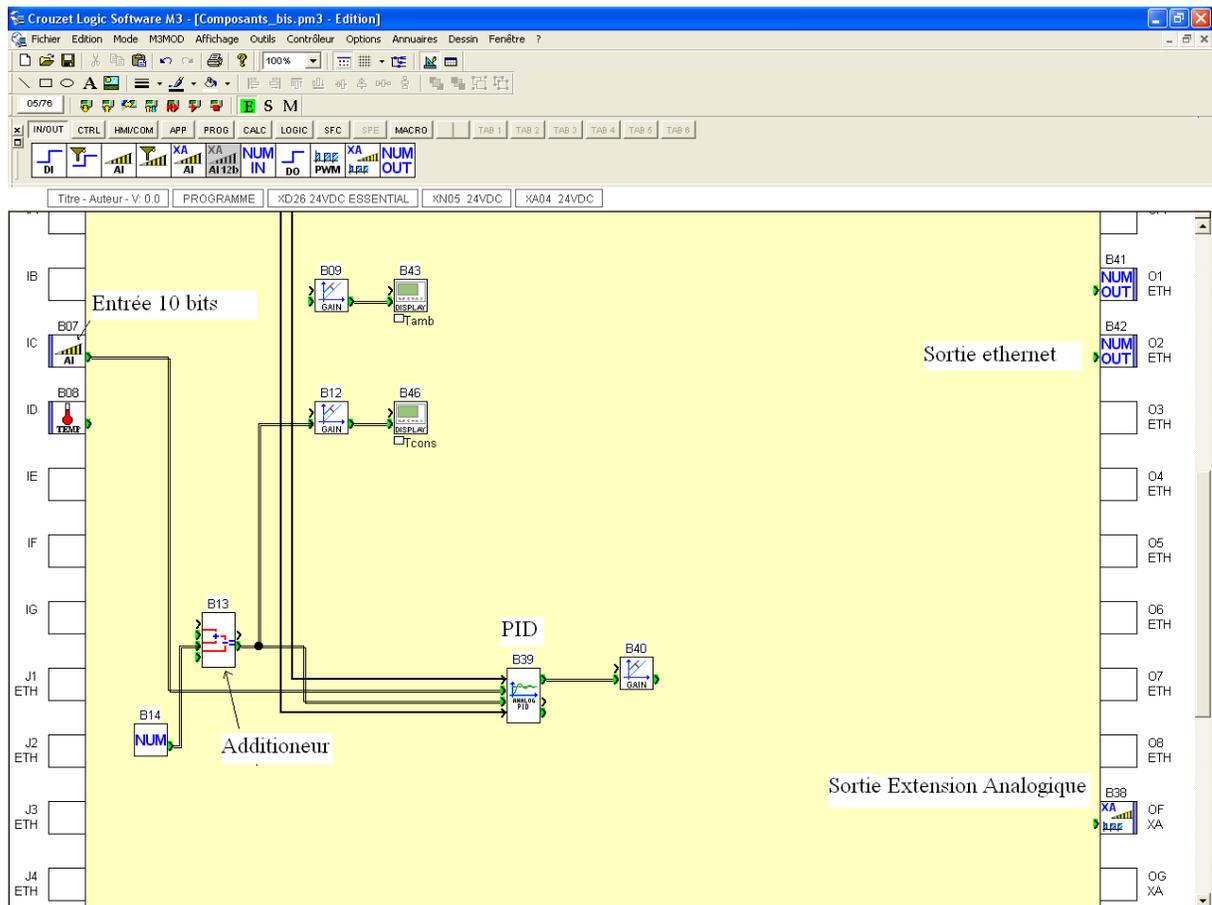


Figure 6: Eléments nécessaires à la mesure et à la régulation

Question 14: Quel est le temps de montée à 5% du système ? Comment varie-t-il si on augmente le gain du correcteur ? Vous est-il possible d'augmenter $1/T_i$ sans risquer un dépassement ? Si oui, comment évolue le temps de montée du système ?

Vérifiez que la température atteint la consigne.

Etudiez la robustesse du système régulé à des perturbations: augmentez pendant un court instant la consigne. Ramenez-la au niveau précédent puis faites tourner à faible vitesse le ventilateur.

Question 15: La consigne est-elle rattrapée ?

Annexes

Transfert de données

Le logiciel qui permet le transfert de données est SmartConfig. L'extension correspondante est .saf. Téléchargez le fichier

Regul_Indus_Transfert.saf à partir du site web <https://sites.google.com/site/regulindusm1sisu3/>, onglet automate.

1. Lancez par double clic le fichier Regul_Indus_Transfert.saf;
2. Paramétrez l'adresse IP adéquate sur SmartConfig > configure connection > en face de ETHERNET 172.17.106.210:502. L'adresse doit correspondre à celle que vous aviez donnée en paramétrant le XN05.
3. Vérifier que les registres de sortie qui recueillent les mesures de température sont bien pris en compte: sur SmartConfig > Donnée ETH_OUT1_11 et ETH_OUT2_11 sont bien présents dans la liste des registres ?
4. Paramétrez l'adresse IP adéquate sur SmartCommand: sur SmartConfig > Outils > Aller à SmartCommand (voir Fig; 2.4), puis sur SmartCommand > configure connection > en face de ETHERNET 172.17.106.210:502. L'adresse doit correspondre à celle que vous aviez donnée en paramétrant le XN05.

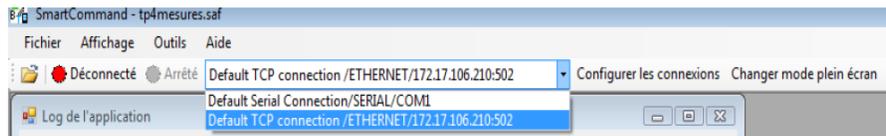


Figure 7:

Quittez SmartCommand (Fichier> Quitter).

Enregistrement d'une expérience

Lisez cette sous-section en entier. Vous répétez deux fois la démarche qui y est décrite, une fois en boucle ouverte, une fois en boucle fermée pour la régulation.

Démarrage d'une expérience:

1. Faire tourner en monitoring la maquette. Appuyer sur lecture. Ne pas allumer la lampe pour l'instant.
2. Sur SmartConfig > Outils > Aller à SmartCommand.
3. Lancez l'enregistrement sur SmartCommand: Cliquez sur déconnecté et arrêté; les cases passent au vert ! On est prêt à visualiser la montée en température.

4. Ensuite sur Crouzet Logic Software: allumez la lampe et donnez une consigne de température (entrée thermomètre).

Remarque 2: l'étape 1 doit toujours être réalisée avant l'étape 2

Arrêt d'une expérience:

- Sur SmartCommand: appuyez sur en marche et sur connecté pour passer en mode "Déconnecté".
- Sur Crouzet Logic Software: appuyez sur stop.

Le fichier de mesures `mesures.csv` dans le répertoire `C:\TEMP` a dû être créé.

Sinon, en cas de problème: Si rien ne s'enregistre par SmartCommand: redéfinir l'adresse IP sur l'extension XN05 et sur SmartCommand. Vérifiez sur SmartConfig que les registres `ETH_OUT_I1` et `ETH_OUT2_I1` sont bien référencés. Si vous n'arrivez pas à établir la connexion, changer l'adresse IP dans le logiciel Crouzet millenium 3 et dans SmartCommand et SmartConfig (... 219 par exemple).

Exploitation des données avec Matlab

Les données de consigne et de température mesurée sont contenues dans le fichier `mesures.csv`. Prenez soin d'en supprimer la première ligne (en ouvrant le fichier avec un éditeur de texte). Créez le fichier `RegulationAutomate.m`, complétez-le avec les lignes suivantes et avec les lignes nécessaires pour l'affichage:

```
load mesures.csv
temperature=mesures(:,4)/10;
consigne=mesures(:,5);
```

Méthode d'identification du temps de montée

On suppose que l'entrée échelon commence au temps $t=0$.

Soit Δx l'amplitude de l'échelon (valeur asymptotique - valeur initiale).

Soit Δy l'amplitude de la sortie.

Le système est modélisé par la fonction de transfert suivante: $G(p) = e^{-\tau p} \frac{K}{(1+\theta p)}$. Les paramètres à identifier sont donc:

Le gain statique $K = \frac{\Delta y}{\Delta x}$,

le retard τ ,

la constante de temps θ ,

le retard τ est le temps entre l'instant où l'échelon est appliqué en entrée, et la constante de temps θ est telle que: $y(\theta) = y_0 + 0.63 * \Delta y$, où y_0 est la valeur initiale de la sortie. On a ainsi repéré le temps de montée à 63%.