

 Unité de formation des Sciences de l'Ingénieur	ANNEE UNIVERSITAIRE 2016-2017 Mention : Sciences pour l'ingénieur UE : 4TSI301U Epreuve : Examen TP d'informatique Date : Jeudi 15 décembre 2016 Heure : 14h30 Durée : 3h Tout document papier autorisé
--	---

Très important I

1. Loggez vous sur votre compte personnel :
2. Dans votre répertoire de travail habituel , créez un répertoire examen_TP_2016
3. Depuis ce répertoire, téléchargez le fichier contenant le fichier nécessaire pour l'examen :
`wget http://francois.marc.emi.u-bordeaux.fr/chauffage0.c`
4. A la création de chaque nouveau fichier, insérez en ligne de commentaire le nom du fichier, votre prénom, votre nom et votre groupe, votre adresse mail, comme dans l'exemple suivant

```
/*chauffagexxx.c */
/* LOVELACE Ada / groupe A8 */
/*le 15/12/2016 */
/*ada.lovelace@etu.u-bordeaux.fr */
```

Les fichiers sans ce commentaire en en-tête seront considérés comme anonymes et ne seront pas corrigés.

Très important II

A la fin de l'examen, pour déposer vos fichiers, allez sur :

http://francois.marc.emi.u-bordeaux.fr/examen_TP/ et suivez les consignes. Vous devez déposer vos fichiers sources.

Très important III

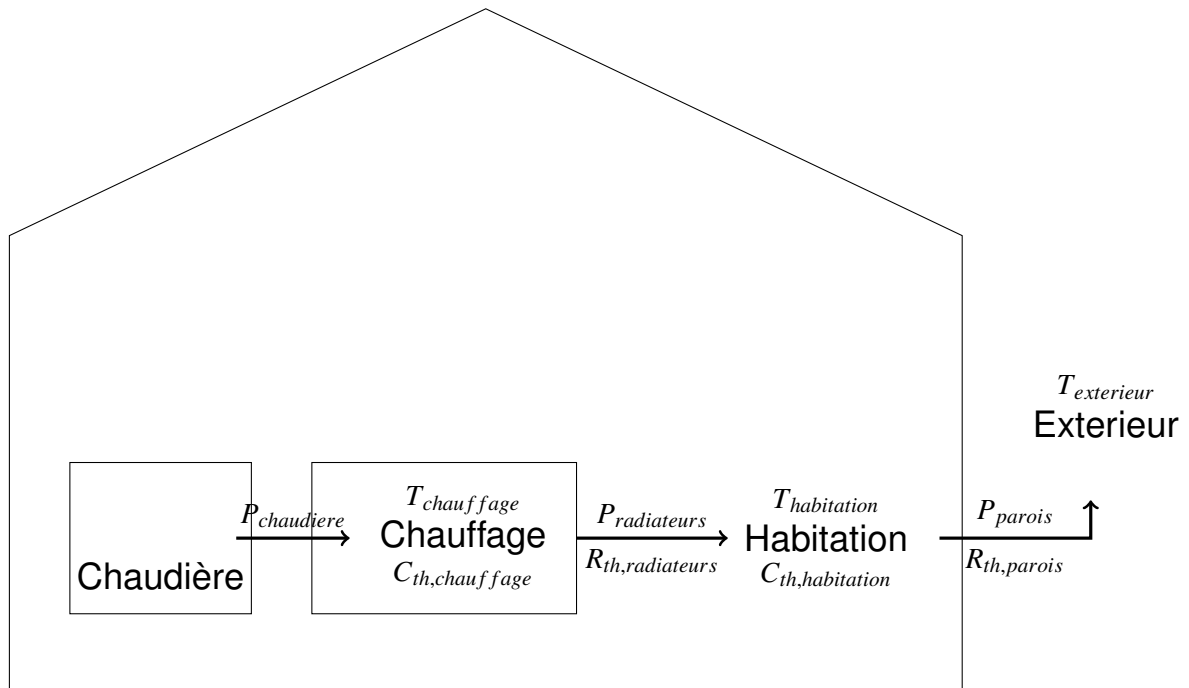
La qualité d'écriture du code et sa lisibilité seront largement pris en compte dans la notation.

On souhaite écrire un programme permettant de simuler la régulation en température d'une habitation chauffée par une chaudière et des radiateurs à eau chaude. L'objectif de ce problème est d'écrire progressivement ce code en décomposant la conception du code en deux parties : la modélisation physique (thermique) et l'automatisme de régulation.

1 Modélisation thermique de l'habitation et du chauffage

Nous étudierons ici un système de chauffage d'habitation individuelle constitué, dans notre modélisation, des parties suivantes :

- un circuit de chauffage à eau chaude, associé à des radiateurs situés dans les différentes pièces de l'habitation,
- une chaudière permettant de chauffer l'eau du circuit,
- l'intérieur de l'habitation (entourée de parois réalisant une isolation thermique),
- l'environnement extérieur.



Les variables qui permettent de décrire ce système sont :

- la puissance $P_{chaudiere}$ (de chaleur) fournie par la chaudière, comprise entre 0 et $P_{chaudiere,max}$,
- les températures $T_{habitation}$ (de l'habitation), $T_{chauffage}$ (du circuit de chauffage) et $T_{exterieur}$ (hors de la maison),
- les puissances des flux thermiques à travers les radiateurs (chauffage -> habitation) $P_{radiateurs}$ et à travers les parois (habitation -> extérieur) P_{parois}

Les paramètres du modèle sont :

- les capacités thermiques $C_{th,chauffage}$ et $C_{th,habitation}$ (en $J/^{\circ}C$)
- les résistances thermiques $R_{th,radiateurs}$ et $R_{th,parois}$ (en $^{\circ}C/W$)

Deux groupes d'équations régissent ce système. Tout d'abord, la capacité thermique relie la variation de température à la puissance entrant dans le système A :

$$\frac{dT_A}{dt} = \frac{P_A}{C_{th,A}} \quad (1)$$

(il s'agit d'une simplification supposant $C_{th,A}$ indépendant de T_A). Ensuite, la résistance thermique reliant le flux de puissance aux différences de températures :

$$P_{A \rightarrow B} \cdot R_{th,AB} = T_A - T_B \quad (2)$$

où on suppose la linéarité du transfert de chaleur (par conduction).

Pour simuler l'évolution de la température par ordinateur, on utilise la méthode d'Euler qui consiste à approximer la dérivée par rapport au temps de T_A dans l'équation par un « accroissement fini » :

$$\frac{T_A(t + dt) - T_A(t)}{dt} = \frac{P_A}{C_{th,A}}$$

d'où

$$T_A(t + dt) = T_A(t) + \frac{P_A}{C_{th,A}} \cdot dt \quad (3)$$

où t est le temps et dt est un temps petit par rapport aux constantes de temps du phénomène.

2 Programmation

2.1 Sans régulation

En suivant les étapes ci-dessous, vous allez écrire un programme `chauffage1.c` en langage C qui permet de simuler l'évolution des variables du système en supposant la puissance de la chaudière $P_{chaudiere}$ constante et égale à $P_{chaudiere,max} = 25kW$. Ce programme affichera le temps et la température du chauffage et de l'habitation au cours de la simulation (en trois colonnes).

2.1.1 Première version

- 1) Télécharger le code de départ du programme (voir *Très important I*). On changera le nom du fichier et on complétera le commentaire au début du fichier.
- 2) Compléter la ligne du `for( )` en tenant compte des premières variables de la fonction `main()`.
- 3) Compléter les deux fonctions `nouvelle_temperature()` et `puissance_transferee()` pour qu'elles soient compatibles avec les appels effectués dans le corps de la boucle `for`, et qu'elles réalisent les équations (3) et (2).
- 4) Finir la mise en place de la boucle d'itération de l'algorithme d'Euler (avec l'affichage).
- 5) On complétera la boucle par les instructions traduisant toutes les équations du modèle.

2.1.2 Amélioration des entrées/sorties

- 6) Modifier le programme pour que l'on puisse entrer les valeurs de `t_fin` et `dt`,
 1. soit par saisie pendant l'exécution du début du programme,
 2. soit par les arguments de la ligne de commande.

La deuxième méthode est fortement conseillée (barème favorable). Le programme devra gérer correctement les éventuelles erreurs de l'utilisateur.

- 7) Modifier le programme pour que les résultats de simulation (températures) soient enregistrés dans un fichier (plutôt qu'affichés à l'écran) pour pouvoir les afficher avec Gnuplot. **Le nom du fichier de sortie sera entré par l'utilisateur selon la même méthode que précédemment.**
- 8) Tracer les courbes de températures $T_{habitation}$, $T_{chauffage}$ et $T_{exterieur}$ avec Gnuplot. Au bout de combien de temps a-t-on une stabilisation de la température ? A quelles températures de l'habitation et du chauffage ? (écrire les réponses en commentaires à la fin du programme.)

2.2 Régulation tout ou rien

Nous allons maintenant simuler la régulation la plus simple qui soit : la régulation en tout ou rien. Le principe de cette régulation est que le chauffage est allumé (à fond) ou éteint selon que la température de l'habitation est inférieure à la température de consigne (la température demandée) ou non.

- 9) Copier le programme précédent (que l'on gardera précieusement) dans `chauffage_regulation1.c` sur lequel nous travaillerons maintenant.
- 10) Ecrire une fonction `regulation_tout_ou rien()` qui prend comme argument la température mesurée (à réguler) et la température de consigne, et qui renvoie la commande qui vaut 1 si la chaudière doit être allumée, 0 si elle doit être éteinte.
- 11) Utiliser cette fonction pour calculer la commande dans la boucle `for` de la fonction `main()` et en déduire la puissance de la chaudière.
- 12) Faire enregistrer la valeur de la commande en plus des températures.
- 13) Tracer les courbes de températures $T_{habitation}$, $T_{chauffage}$ et $T_{exterieur}$ et $T_{consigne}$, et la commande de la chaudière avec Gnuplot. Au bout de combien de temps a-t-on une stabilisation de la température ? A quelles températures de l'habitation et du chauffage ? En « zoomant » sur la fin de la courbe, que remarquez-vous ? (écrire les réponses en commentaires à la fin du programme.)

2.3 Régulation Proportionnelle (P)

Pour éviter les fluctuations observées, une régulation moins brutale est nécessaire. Nous allons maintenant utiliser une régulation proportionnelle : la commande C est donnée par :

$$C = K_0 - K_P \cdot \epsilon$$

avec

$$\epsilon = T_{mesuree} - T_{consigne}$$

- 14) Copier le programme précédent dans `chauffage_regulation2.c` sur lequel nous travaillerons maintenant.
- 15) Écrire la fonction `regulation_proportionnelle()` qui prend comme argument la température mesurée (à réguler), la température de consigne, et qui renvoie la commande C . On sera attentif à ce que la commande reste comprise entre 0 et 1.

Les coefficients K_0 et K_P sont les constantes fixées au début du programme : $K_0 = 0$ et $K_P = 0,13\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

- 16) Utiliser cette fonction pour calculer la commande dans la fonction `main()`.
- 17) Tracer les courbes de températures $T_{habitation}$, $T_{chauffage}$ et $T_{exterieur}$ et $T_{consigne}$, et la commande de la chaudière avec Gnuplot. Au bout de combien de temps a-t-on une stabilisation de la température ? A quelles températures de l'habitation et du chauffage ? En « zoomant » sur la fin de la courbe, que remarquez-vous ? A-t-on réglé le problème précédent ? Quel nouveau problème apparaît ? (écrire les réponses en commentaires à la fin du programme.)

2.4 Régulation Proportionnelle Intégrale (PI)

Nous allons maintenant utiliser une régulation proportionnelle-Intégrale : pour compenser l'erreur résiduelle, on rajoute un terme correctif. La commande C est donnée par :

$$C = K_0 - K_P \cdot \epsilon - K_I I_\epsilon$$

où I_ϵ est une primitive de ϵ .

$$\frac{dI_\epsilon}{dt} = \epsilon \quad (4)$$

Ce terme correctif $-K_I I_\epsilon$ sert à compenser l'erreur résiduelle en adaptant la commande à cette erreur.

- 18) Copier le programme précédent dans `chauffage_regulation3.c` sur lequel nous travaillerons maintenant.
- 19) Écrire la fonction `regulation_proportionnelle_integrale()` qui prend les mêmes arguments que `regulation_proportionnelle()`, plus deux arguments supplémentaires : le pas de temps dt , et la variable `I_epsilon` (représentant I_ϵ) qui est **passée par référence** depuis la fonction `main()`.

En effet, si on utilisait une variable locale pour stocker la variable I_ϵ , celle-ci serait effacée entre deux appels de la fonction. Pour garder la trace de l'intégration de ϵ entre deux appels de fonctions, on utilise une variable dans la fonction `main()` que l'on modifie à chaque appel en utilisant l'algorithme d'Euler. Pour l'utiliser et la modifier dans la fonction, il faut donc un passage par référence.

Les coefficients K_0 , K_P et K_I sont les constantes fixées au début du programme : $K_0 = 0$ et $K_P = 0,13\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. et $K_I = 1,5 \cdot 10^{-5}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}\text{ s}^{-1}$.

On sera attentif à ce que la commande reste comprise entre 0 et 1.

- 20) Utiliser cette fonction pour calculer la commande dans la fonction `main()`.
- 21) Tracer les courbes de températures $T_{habitation}$, $T_{chauffage}$ et $T_{exterieur}$ et $T_{consigne}$, et la commande de la chaudière avec Gnuplot. Au bout de combien de temps a-t-on une stabilisation de la température ? A quelles températures de l'habitation et du chauffage ? En « zoomant » sur la fin de la courbe, que remarquez-vous ? A-t-on réglé les problèmes précédents ? (écrire les réponses en commentaires à la fin du programme.)

FIN