



PROJET IMA 4 2013 / 2014

GESTION INTELLIGENTE DES
FLUX THERMIQUES A
POLYTECH LILLE



Réalisé par :

JEBBARI Zineb

BEKRAOUI Oumaima

Encadré par :

Mr OULD BOUAMAMA

Belkacem

Table des matières

I- Contexte actuel	3
1- Les vannes manuelles dans l'enceinte de l'établissement Polytech Lille.....	3
2- Les électrovannes	3
II – Cahier de charge	4
1- Objectifs :	4
2- Contraintes :	4
3- Matériel utilisé pour le projet global :	4
4- Pour cela il faut :	5
III – diagramme de Gantt	6
IV – Schéma global du système	7
1- Schéma global	7
2- Piping and instrumentation diagram.....	8
V – Modélisation Bond Graph	9
VI – Contacte des constructeurs	10
VII- Etude des différentes solutions possibles	10
1- Les électrovannes <i>tout ou rien</i>	10
2- Les électrovannes <i>proportionnelles</i> :.....	11
3- Les mélangeurs (<i>Vannes à trois voies</i>).....	12
4- Les vannes thermostatiques	12
VIII- La commande floue	13
1- Commande avec une entrée :.....	14
2- Commande avec deux entrées :	16
3- Simulink :	18

Introduction:

Réduire et rationaliser la dépense énergétique dans les bâtiments est un enjeu majeur du XXIème siècle. L'école universitaire Polytechnique de Lille était parmi les premières écoles d'ingénieurs à mettre en place un plan vert en insistant sur l'importance du tri sélectif, l'installation des capteurs et des minuteurs pour les lumières afin de limiter la consommation de l'énergie électrique. Malgré ses efforts, Polytech Lille ne peut pas atteindre ses objectifs en termes de développement durable à cause des pertes thermiques. Selon *Monde* en 2008 « une augmentation de 1 °C augmente de 20 % les dépenses de chauffage. »

Aujourd'hui, construire des bâtiments basses consommations est essentiellement un problème économique et politique : les technologies et les méthodes constructives existent et seule la question du déploiement reste problématique.

Le projet proposé par Mr. Belkacem Ould Bouamama est conçu pour le développement durable et initié par la direction de Polytech et est relié à cette problématique. C'est un projet à long termes, sa durée est de trois années. Son but est la mise en place d'une plateforme intelligente pour la régulation à distance et optimale des flux thermiques des radiateurs installés à Polytech. En d'autres termes, l'automatisation de ces radiateurs. Pour être plus précis, il va falloir changer les vannes manuelles par des vannes électriques commandables. Ainsi, l'utilisateur n'aura qu'à rentrer la consigne de température souhaitée, la commande se chargera du reste, à savoir, régler l'ouverture de la vanne en prenant en compte les contraintes de l'environnement et en minimisant les pertes.

Afin d'atteindre notre but, nous avons fusionné notre projet avec le projet n° 18 qui consiste à réaliser un réseau de capteurs et une Plateforme qui facilitera la commande par l'utilisateur.

Actuellement, les recherches sont en cours pour pallier ce phénomène de perte d'énergie thermique. Notre objectif cette année, est d'étudier la faisabilité du projet grâce à des simulations et des recherches des matériels adéquats.

I- Contexte actuel

Le marché offre aujourd'hui un large choix de radiateurs à vendre, il propose également une large gamme de vannes à la fois pour le radiateur moderne et traditionnels avec de nombreux styles. Lors du choix d'une valve appropriée, la première décision est de savoir si le besoin est celui robinet manuel ou thermostatique.

1- Les vannes manuelles dans l'enceinte de l'établissement Polytech Lille.

Les locaux de Polytech Lille sont actuellement munis de radiateur à vannes manuelle. L'utilisateur doit lui-même se charger de régler le radiateur afin d'avoir la température souhaitée dans la salle. De plus, une vanne actuelle permet simplement de tourner le radiateur entièrement allumé ou éteint. L'utilisateur ne peut pas régler la chaleur provenant du radiateur mais de celle de la chaudière. Toutefois, l'avantage des vannes manuelles, c'est qu'ils ont tendance à être moins cher que les électrovannes ou les vannes thermostatiques comme ils ont une fonction moins technique. Dans les salles de bains et les couloirs, les vannes manuelles seraient plus car ils ont tendance à avoir une utilisation moins importante. La régulation de la chaleur donc des radiateurs n'est pas aussi essentielle. Par contre ce type de vanne ne permet en aucun cas l'économie de l'énergie thermique dans les locaux ou des salles à grandes surface où la chaleur doit être au maximum. Les pertes causées par ces vannes sont pris en considération. Il est donc impératif de traiter ce problème et d'étudier les différentes solutions qui lui sont liées.

2- Les électrovannes

Les électrovannes permettent de réguler la production de chaleur à partir du radiateur, soit l'utilisateur a la possibilité de tourner la vanne à une position complètement ouverte pour un maximum de chaleur, ou à moitié ouvert pour la moitié de la production de chaleur et ainsi de suite. Les robinets thermostatiques ont souvent des numéros de lignes sur la serrure de bouclier, ce qui rend le contrôle sur la température de sortie plus facile.

C'est dans ce sens que nous allons étudier la faisabilité du projet de la gestion intelligente des flux thermiques dans notre établissement.

II – Cahier de charge

1- Objectifs :

Régler la température des radiateurs d'une salle de Polytech en agissant sur le débit de l'eau chaude arrivant de la chaudière.

- Sous format Automatique.

- Sous format Manuel (dans le cas où le système automatique serait en panne).

Limiter les pertes d'énergie liées à la mauvaise utilisation des radiateurs ou aux utilisations inutiles (ex : laisser le chauffage allumer pendant que les salles sont vides).

Utiliser une plateforme intelligente qui sera commandée à distance pour la régulation de ces flux thermiques (tablettes, i phone, androïde...).

2- Contraintes :

- Température extérieure instantanée.
- Température de la salle.
- Les différentes données de températures fournies par Météo France (pour les prévisions).
- Emploi du temps de la salle (Afin d'éteindre le radiateur si la salle est libérée ou de préchauffer la salle le temps nécessaire pour atteindre la température voulue à l'instant voulu).
- Calendrier des saisons (Les radiateurs ne sont pas utilisés de la même manière toute l'année)
- Pression (Capteur de pression qui détectera une chute de pression brusque dans le cas où la fenêtre s'ouvre à éteindre le radiateur).

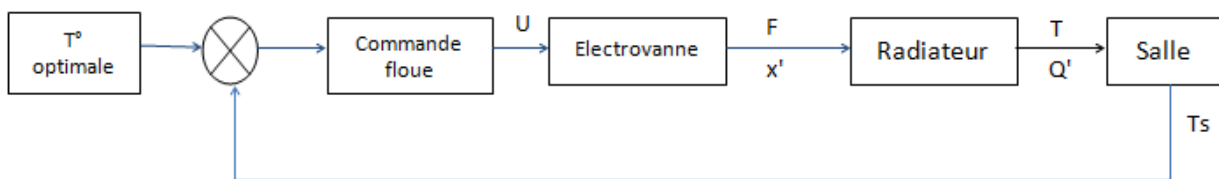
3- Matériel utilisé pour le projet global :

- Logiciel Matlab.
- Electrovanne.
- Capteur de température.
- Radiateur.

4- Pour cela il faut :

- Bien connaître le fonctionnement existant du système des radiateurs dans les locaux de Polytech.
- Utiliser la notion de la commande floue pour la commande de l'électrovanne.
- Faire un choix du type d'électrovanne compatible au système: TOR ou proportionnelle.
- Concevoir le système avec les électrovannes (TOR ou proportionnelles).
- Simuler le système sur Matlab.
- Tester sur une des salles de Polytech.

Voici le schéma final de notre système complet:



Avec :

U : sortie de la commande

F : Friction

X : position de l'électrovanne

T : Température

Q : Quantité de chaleur

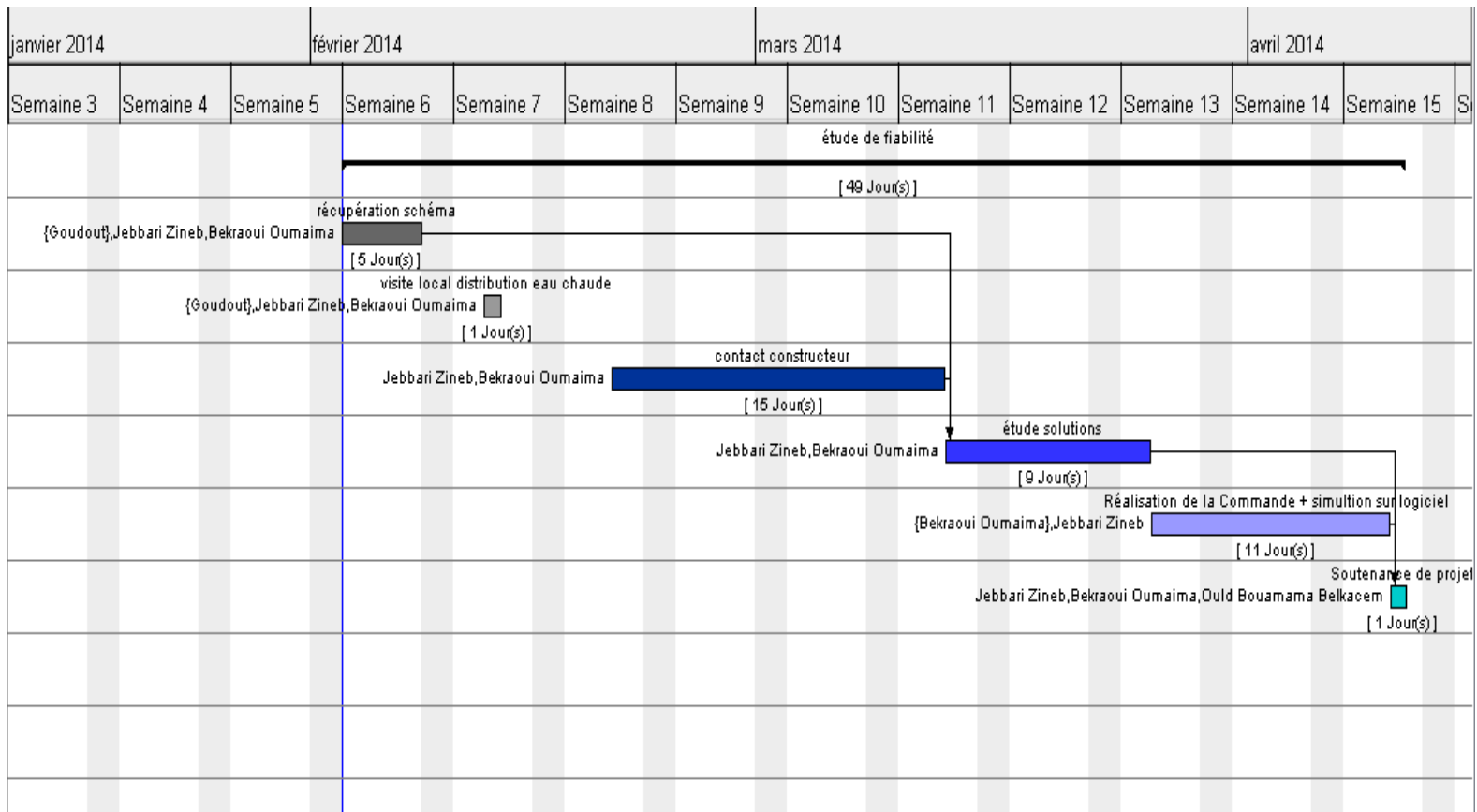
Ts : Température de la salle

III – diagramme de Gantt

Le diagramme de GANTT est un outil permettant de modéliser la planification de tâches nécessaires à la réalisation d'un projet. Il s'agit d'un outil inventé en 1917 par Henry L. GANTT.

Etant donné la facilité de lecture des diagrammes GANTT, cet outil est utilisé par la quasi-totalité des chefs de projet dans tous les secteurs. C'est également un bon moyen de communication entre les différents acteurs d'un projet.

Le diagramme de Gantt pour les tâches à effectuer cette année est le suivant :



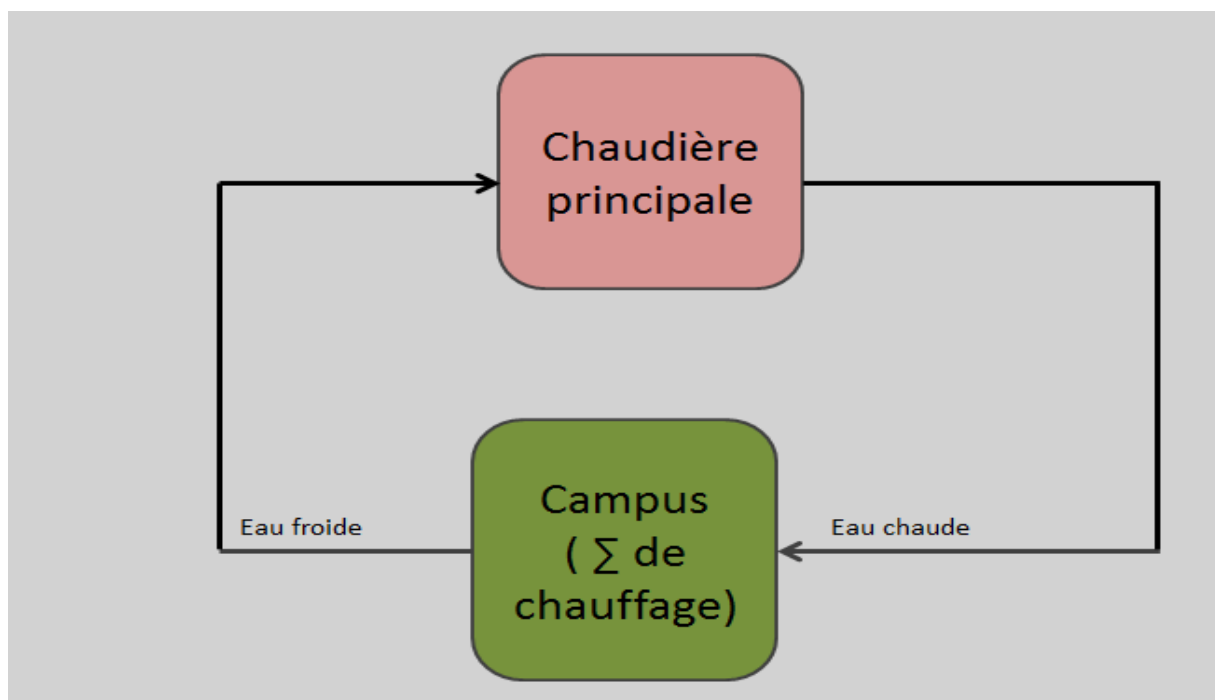
Chaque tâche est représentée par une ligne, tandis que les colonnes représentent les jours, semaines ou mois du calendrier selon la durée du projet. Le temps estimé pour une tâche se modélise par une barre horizontale dont l'extrémité gauche est positionnée sur la date prévue de démarrage et l'extrémité droite sur la date prévue de fin de réalisation. Les tâches peuvent s'enchaîner séquentiellement ou bien être exécutées en parallèle.

Les six principales tâches peuvent être expliquées plus clairement par la séquence suivante:

- 1- Récupération des schémas de la disposition des radiateurs à Polytech. (de chez Mr ; Goudout).
- 2- Visite général du local où se fait distribution de l'eau chaude provenant de la chaudière dans les différents locaux de Polytech.
- 3- Contact des constructeurs d'électrovannes :
 - a. explication détaillée du projet
 - b. demande d'étude du projet
 - c. demande de devis
- 4- étude des solutions proposées.
- 5- Commande flou + simulation sur logiciel

IV – Schéma global du système

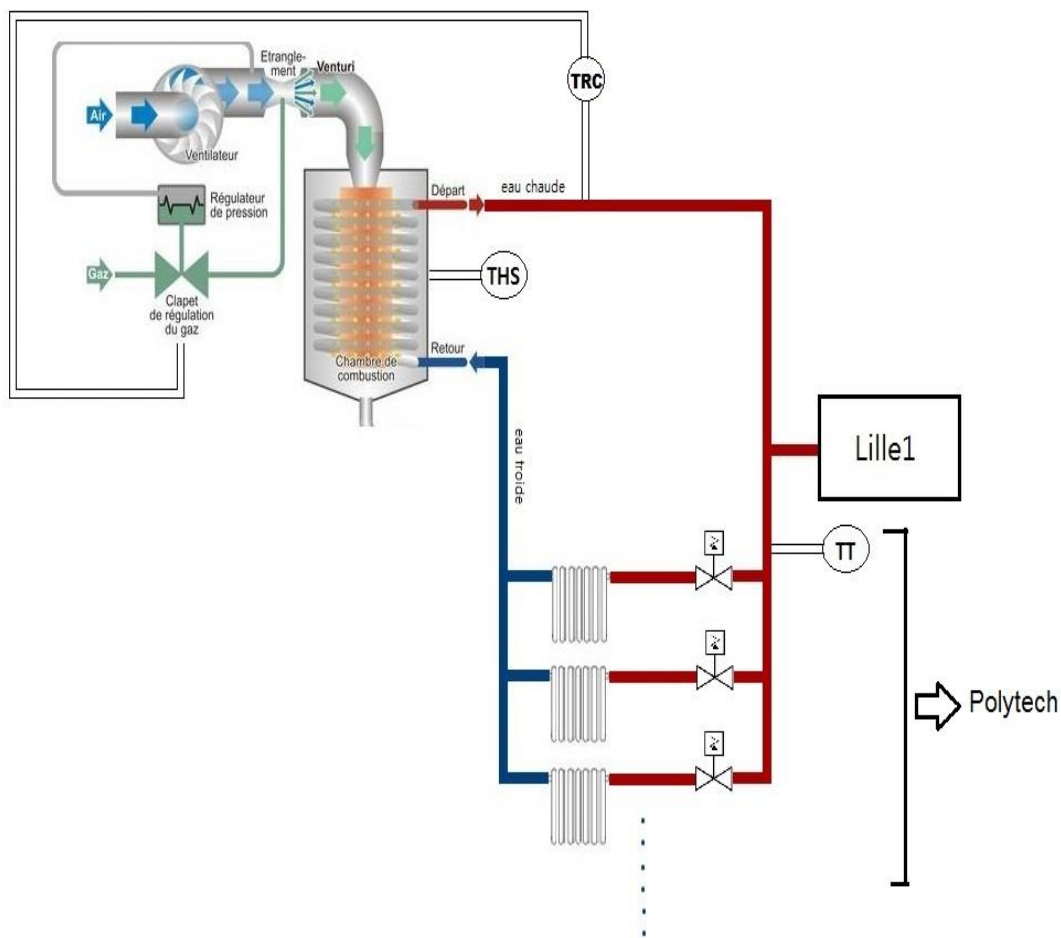
1- Schéma global



2- Piping and instrumentation diagram

Le PID un diagramme qui définit tous les éléments d'un procédé chimique. Il est le schéma le plus précis et le plus complet utilisé par les ingénieurs-chimistes pour la description d'un procédé.

Pour être plus précis et donner plus de détail, nous proposons le PID suivant :



Clé :

- TRC : Temperature Recording Control
- THS : (Temperature High Security) Système de sécurité.
- TT : Capteur de température.

La chaudière de l'université Lille 1 est une chaudière alimentée par un gaz qui est brûlé dans une chambre de combustion. Cette opération produit des fumées très chaudes qui sont expulsées vers un échangeur où circule le fluide (de l'eau). L'eau circule à son tour dans le circuit de chauffage de l'habitation pour y diffuser la chaleur produite par la chaudière. Celle-ci ne dépasse pas une température d'eau en sortie de 80°C.

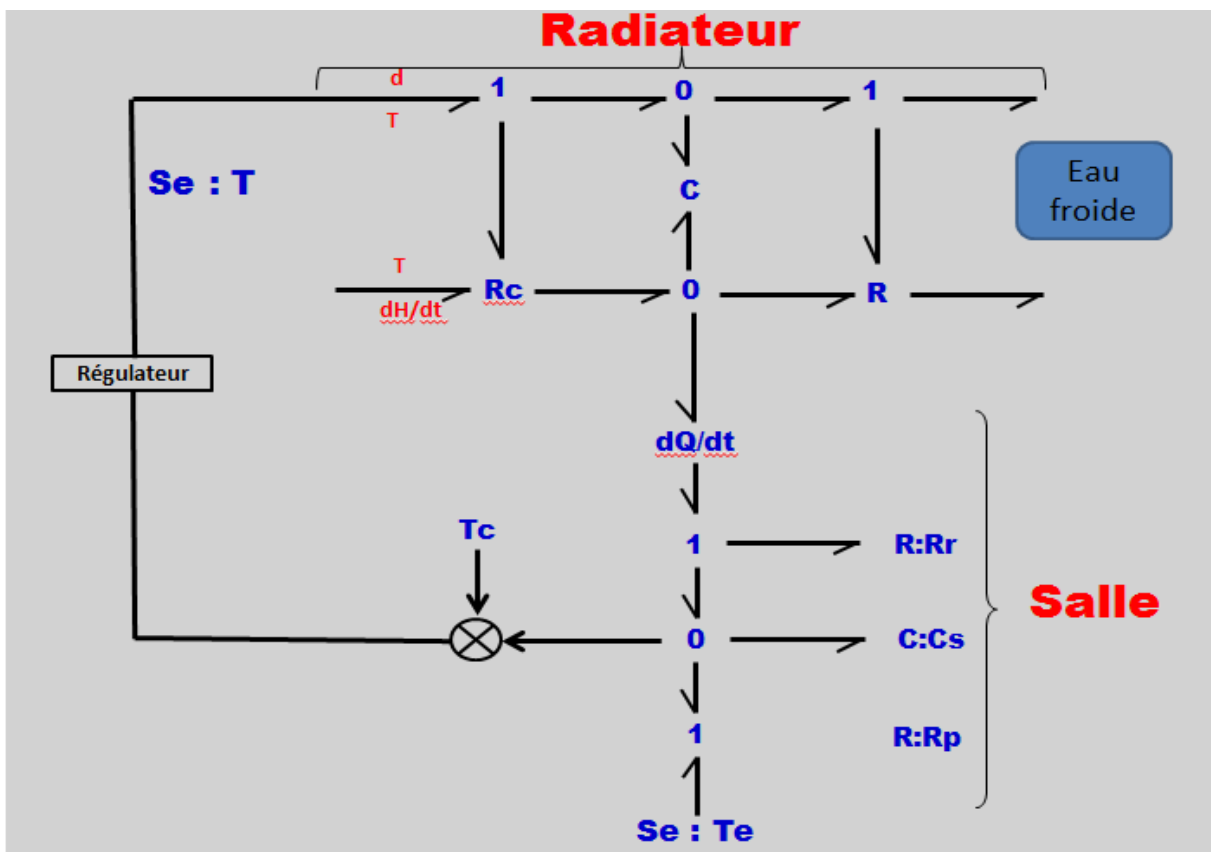
L'eau rentre chaude dans les radiateurs et en sort froide pour retourner à la chaudière pour être réchauffé une seconde fois et retransmis aux radiateurs. C'est ainsi que le cycle se forme.

V – Modélisation Bond Graph

La conception de systèmes énergétiques pilotés mettant en jeu plusieurs domaines physiques nécessite l'utilisation d'un outil de modélisation commun, prenant en compte les aspects dynamiques et énergétiques.

Le Bond graph est un langage unifié pour tous les domaines des sciences de l'ingénieur. Il représente graphiquement un système dynamique physique. Cet outil repose essentiellement sur la caractérisation des phénomènes d'échanges d'énergie au sein du système.

Voici le BG de notre système pour le cas d'une seule salle :



VI – Contacte des constructeurs

Pour avoir l'électrovanne adéquate à notre système de chauffage nous avons contacté les différents constructeurs se trouvant à Lille ou dans d'autres villes partout en France.

- Le constructeur NORGREN, qui est un leader mondial dans les technologies de contrôle de mouvements et des fluides, nous a affirmé que leur société était d'avantage orienté vers le pneumatique et qu'il fallait donc que nous contactions un spécialiste de régulation thermique.
- Un agent technico-commercial chez DANFOSS qui est un producteur mondial de composants pour le conditionnement d'air, le chauffage et la gestion de l'eau, et des contrôles industriels, nous a répondu que le groupe ne proposait aucune électrovanne qui puisse répondre à notre demande.
- Plusieurs autres constructeurs nous ont affirmé qu'ils ne peuvent donner suite à notre demande car ce sont des constructeurs et non des bureaux d'études.
- ENEOVE, revendeur par internet, nous a proposé une solution non adéquate à notre système.
- Seul FESTO s'est réellement intéressé et a voulu suivre notre projet.

VII- Etude des différentes solutions possibles

FESTO est une grande entreprise, son catalogue contient des centaines de types d'électrovannes différents. Il a donc fallu étudier celles qui paraissaient les plus adéquates au système.

1- Les électrovannes tout ou rien.

Ce type à deux états possibles :

- Entièrement fermée
- Entièrement ouverte

Avantage → Pas cher, commande facile.

Inconvénient → Pas de précision.

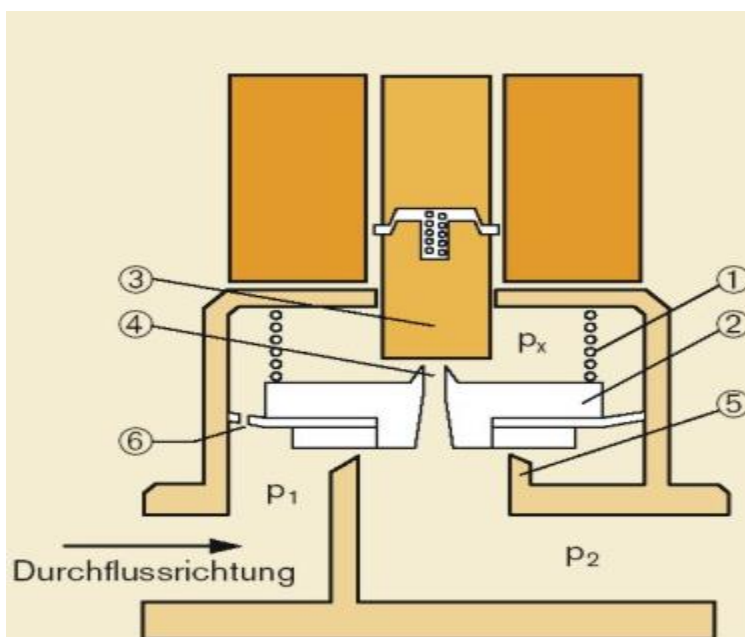
Solution possible : Mettre 3 électrovannes TOR en parallèle pour avoir l'équivalent d'une électrovanne proportionnelle.

Inconvénient de la solution : Trois électrovannes TOR coûteraient plus cher qu'une seule électrovanne proportionnelle, de plus, l'installation et la commande seront compliquées.

2- Les électrovannes proportionnelles :

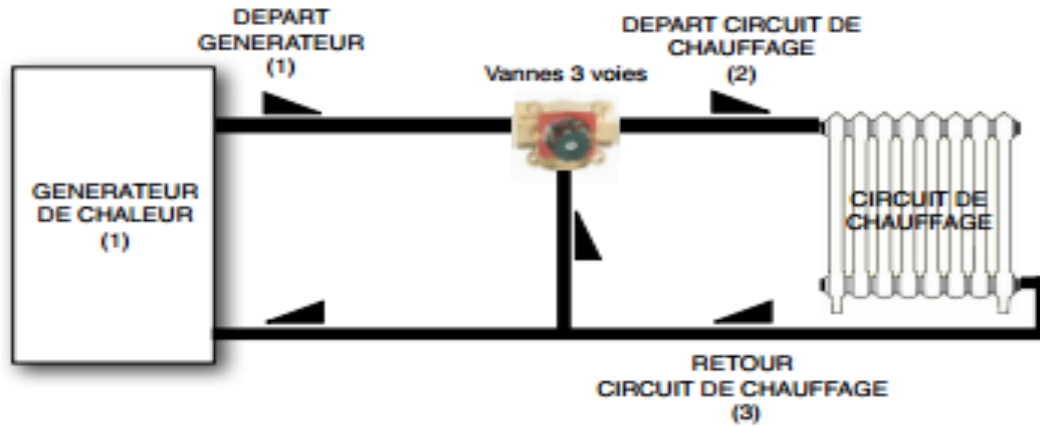
Lorsqu'elle est fermée, le fluide entrant affiche une pression de p_1 ; le plongeur (3) a coulé et appuie donc sur le siège du pilote (4). Cette action, associée à la pression exercée par le ressort sur le piston (2), conduit à fermer le siège principal (5). un limiteur (6) permet au fluide de pénétrer dans la chambre de contrôle (1) et d'exercer une pression p_x par le haut sur la membrane d'étanchéité.

Si le limiteur, le siège du pilote et les rapports de surface de la phase principale sont dimensionnés en conséquence, les forces de compression sur le piston atteignent l'équilibre lorsque le siège est ouvert dans une certaine position. Avec une commande de pilote proportionnel, le piston suit, en principe, le mouvement axial continu du plongeur en fonction de la valeur qui génère cet équilibre.



3- Les mélangeurs (Vannes à trois voies).

Le principe de fonctionnement de la vanne trois voies est de mélanger à l'eau du départ du générateur (1), une certaine quantité d'eau du retour (3) du circuit de chauffage.

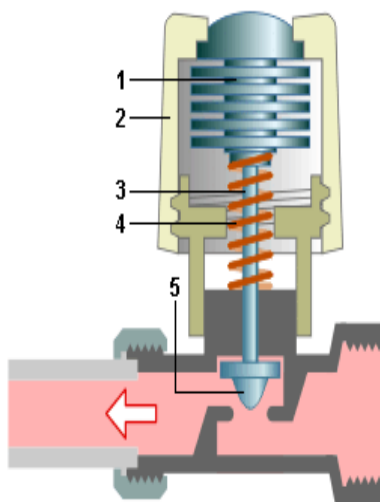


L'inconvénient de cette solution est qu'il va falloir refaire toute l'installation des radiateurs dans les locaux de Polytech car actuellement, les vannes des radiateurs sont à une voie seulement.

⇒ Solution couteuse.

4- Les vannes thermostatiques

Les *vannes thermostatiques* abritent une sonde thermosensible qui se dilate et se contracte en fonction de la température ambiante et qui actionne un système mécanique qui laisse passer plus ou moins de fluide.



Eléments d'une vanne thermostatique :

1. Sonde de température ou bulbe thermostatique (poche de gaz).
2. Poignée de réglage pour fixer le point de consigne.
3. Tige de transmission.
4. Ressort de rappel.
5. Clapet de réglage.

Principe de Fonctionnement :

Généralement, la sonde de température (ou bulbe thermostatique) est logée dans la poignée de la vanne. Cette sonde est composée d'un liquide, d'un gel ou d'un gaz qui se dilate ou se contracte en fonction de la température qui l'entourne.

La position du clapet de réglage est déterminée par l'équilibre entre la poche de gaz et le ressort de rappel : lorsque la température mesurée est inférieure au point de consigne, le bulbe thermostatique se contracte, le ressort entraîne une ouverture du clapet de réglage et le débit est augmenté dans le radiateur. L'inverse se produit quand la température mesurée est trop élevée.

Avantage → La stabilisation automatique de la température ambiante au niveau souhaité permet de réaliser des économies d'énergie lorsqu'elle est bien utilisée, car elle se ferme automatiquement lorsque la température souhaitée est atteinte et s'il y a des apports de chaleur extérieurs (soleil entrant par les fenêtres, four, feu de cheminée).

Inconvénient → Si on oublie de fermer manuellement la vanne alors qu'on laisse une fenêtre ouverte, la vanne réagit à la baisse de température et fait fonctionner le radiateur à plein régime, entraînant un gaspillage de chaleur.

⇒ Cette dernière solution est plus ou moins celle proposée par FESTO. De plus, ces derniers nous ont proposé d'étudier longuement notre système et de créer une nouvelle vanne thermostatique qui n'existe pas toujours pas sur le marché et qui va spécialement être conçue pour le projet.

VIII- La commande floue

La logique floue (fuzzy logic, en anglais) est une extension de la logique classique aux raisonnements approchés. Par ses aspects numériques, elle s'oppose aux logiques modales.

Elle s'appuie sur la théorie mathématique des ensembles flous. Cette théorie est une extension de la théorie des ensembles classiques aux ensembles définis de façon imprécise. Partant d'un concept de fonction d'appartenance à valeur dans l'intervalle $[0, 1]$.

La logique floue présente aussi l'intérêt d'être plus facile et moins chère à implémenter qu'une logique probabiliste, elle est utilisée dans le cas des systèmes difficilement identifiables ou dont les paramètres subissent des variations brutales.

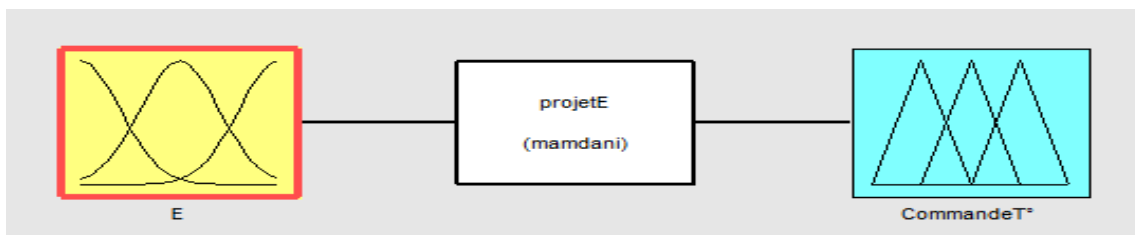
À l'inverse de l'algèbre de Boole, la logique floue autorise la valeur de vérité d'une condition à parcourir un autre domaine que la paire $\{\text{vrai}, \text{faux}\}$. En logique floue, il y a des degrés dans la satisfaction d'une condition, en effet, dans notre cas, Cette logique est le moyen idéal pour

commander notre électrovanne, car nous avons un système qui peut subir à plusieurs variations (pression, température extérieur..) notre but est donc maintenir la température dans la salle à 20° quelques soient les variations.

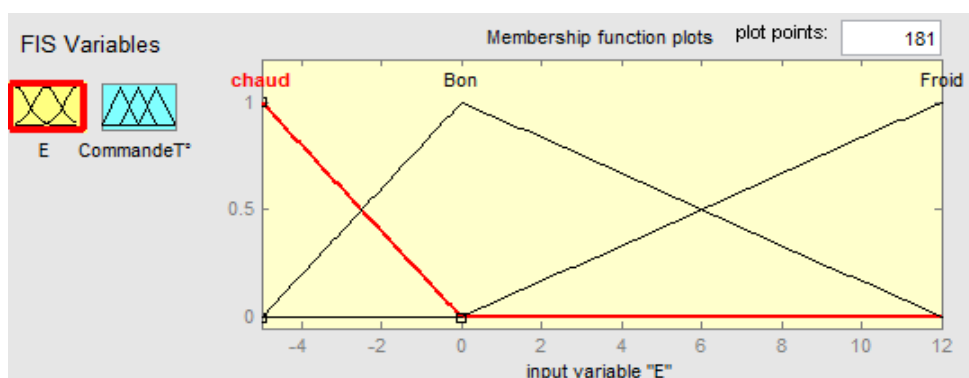
Les informations à l'entrée de notre commande sont les températures provenues du capteur de température à la salle, cette dernière varie entre 8° et 25°, en effet nous distinguons deux commandes une avec une seule entrée et une avec deux entrée avec toujours une sortie qui sera le courant de l'entrée de la vanne thermostatique, ce dernier variera approximativement entre 4 et 20 mA, nous avons donc choisi ces plages de variation pour avoir un compromis entre la stabilité et la précision, pour ouvrir la vanne, nous avons soit ouvrir totalement, soit ouvrir beaucoup, et la même chose pour fermer, alors que dans le cas où la température dans la salle est égale à la consigne, le plongeur est à sa position initial 50% ouvert et 50% fermé.

Nous différencions les cas de la commande avec une seule entrée et celle avec deux entrées :

1- Commande avec une entrée :



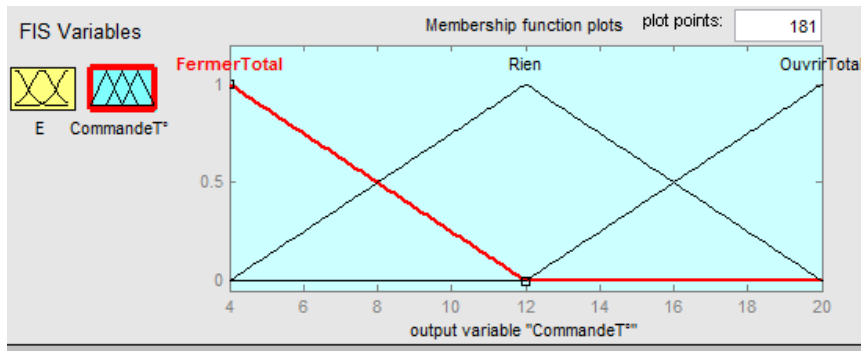
Dans ce cas notre entrée qui est l'erreur sera la différence entre notre consigne (20°) et la température provenue du capteur, notre erreur variera donc entre -5° (s'il fait chaud température avec une température dans la salle de 25°) et 12° (s'il fait froid avec une température dans la salle de 8°).



Quand l'erreur est égale à 0, cela veut dire que la température dans la salle est égale à la consigne, donc il fait « Bon » et quand elle est entre -5 et 0, il fait chaud et froid quand

l'erreur est entre 0 et 12. Donc par exemple quand l'erreur est égale à 6, il fait 50% froid et 50% bon et nous n'allons pas chauffer de la même manière si l'erreur est égale à 12.

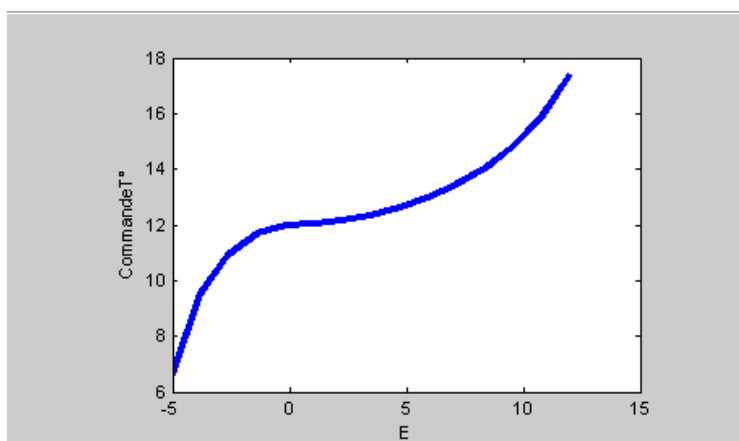
Les plages de variation de la sortie qui est le courant de commande de la vanne thermostatique étaient choisies fin d'obtenir un système précis. Quand la vanne est à 50% ouverte et 50% fermée, nous somme dans la moitié de notre plage de courant donc 12 mA, alors si nous somme inférieure à cette valeur la vanne est fermée sinon elle est ouverte.



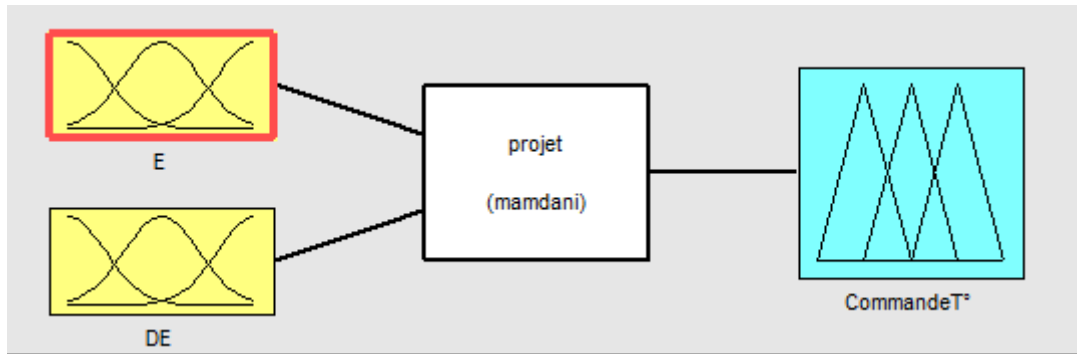
Les règles étables pour relier les entrées aux sorties sont les suivantes :

1. If (E is chaud) then (CommandeT° is FermerTotal) (1)
2. If (E is Bon) then (CommandeT° is Rien) (1)
3. If (E is Froid) then (CommandeT° is OuvrirTotal) (1)

La surface donc de nos règles est la suivante :

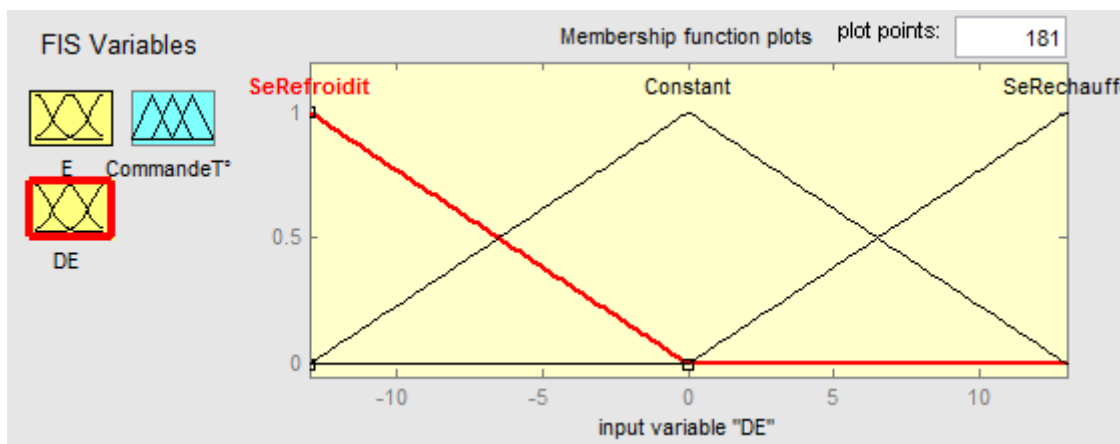


2- Commande avec deux entrées :

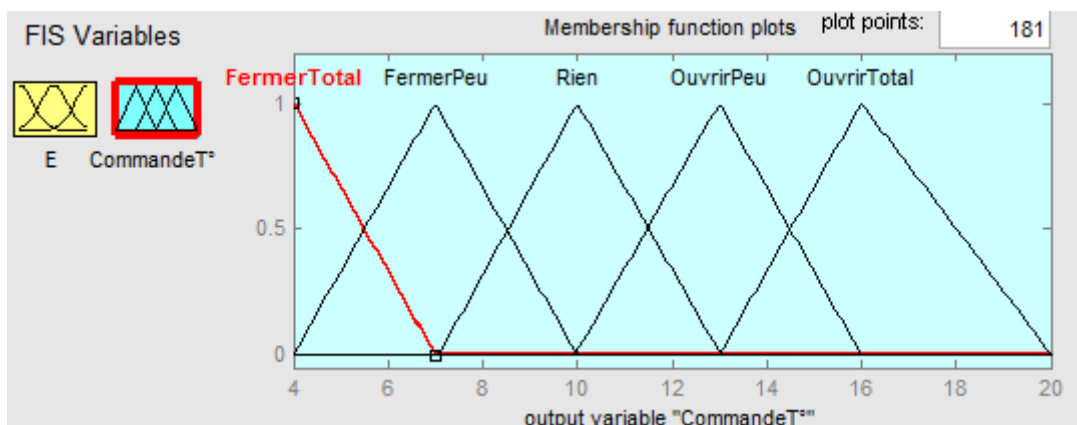


Dans ce cas nous avons deux entrées, l'erreur et la variation de l'erreur.

L'erreur est la même que le premier cas alors que les plages de sa variation sont entre -13 et 13 pour avoir plus de précision, à 0 la variation de l'erreur est constante, si elle est inférieure à 0 elle se refroidit, sinon elle se réchauffe.



Nous avons donc choisi ces plages de variation pour avoir un compromis entre la stabilité et la précision, pour ouvrir la vanne, nous avons soit ouvrir totalement, soit ouvrir beaucoup, et la même chose pour fermer, alors que dans le cas où la température dans la salle est égale à la consigne, le plongeur est à sa position initial 50% ouvert et 50% fermé.



Afin de relier les entrées à la sortie nous avons besoin d'établir les règles obtenues grâce au tableau suivant:

De \ E	Chaud	Bon	Froid
Se refroidit	Fermer peu	Ouvrir peu	Ouvrir totalement
constante	Fermer totalement	Rien	Ouvrir totalement
Se réchauffe	Fermer totalement	Fermer peu	Ouvrir peu

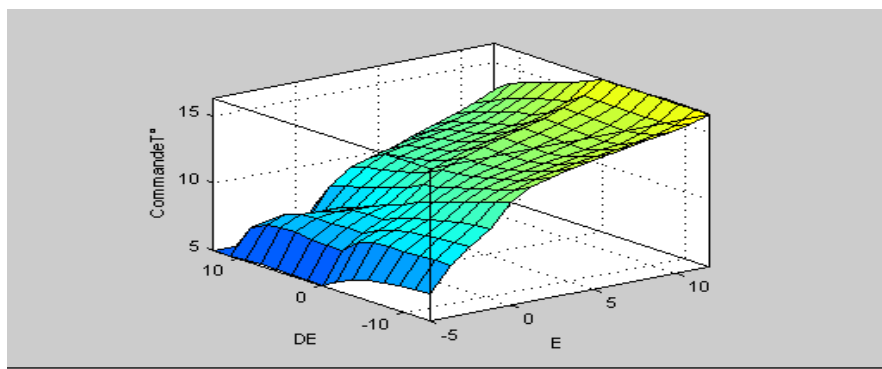
Nous insérons ensuite ces règles sur Matlab/Fuzzy :

```

1. If (E is chaud) and (DE is SeRefroidit) then (CommandeT° is FermerPeu) (1)
2. If (E is chaud) and (DE is Constant) then (CommandeT° is FermerTotal) (1)
3. If (E is chaud) and (DE is SeRechauffe) then (CommandeT° is FermerTotal) (1)
4. If (E is Bon) and (DE is SeRefroidit) then (CommandeT° is OuvrirPeu) (1)
5. If (E is Bon) and (DE is Constant) then (CommandeT° is Rien) (1)
6. If (E is Bon) and (DE is SeRechauffe) then (CommandeT° is FermerTotal) (1)
7. If (E is Froid) and (DE is SeRefroidit) then (CommandeT° is OuvrirTotal) (1)
8. If (E is Froid) and (DE is Constant) then (CommandeT° is OuvrirTotal) (1)
9. If (E is Froid) and (DE is SeRechauffe) then (CommandeT° is OuvrirPeu) (1)

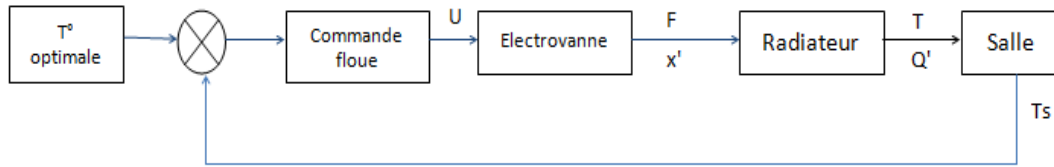
```

La surface donc de notre commande est la suivante :



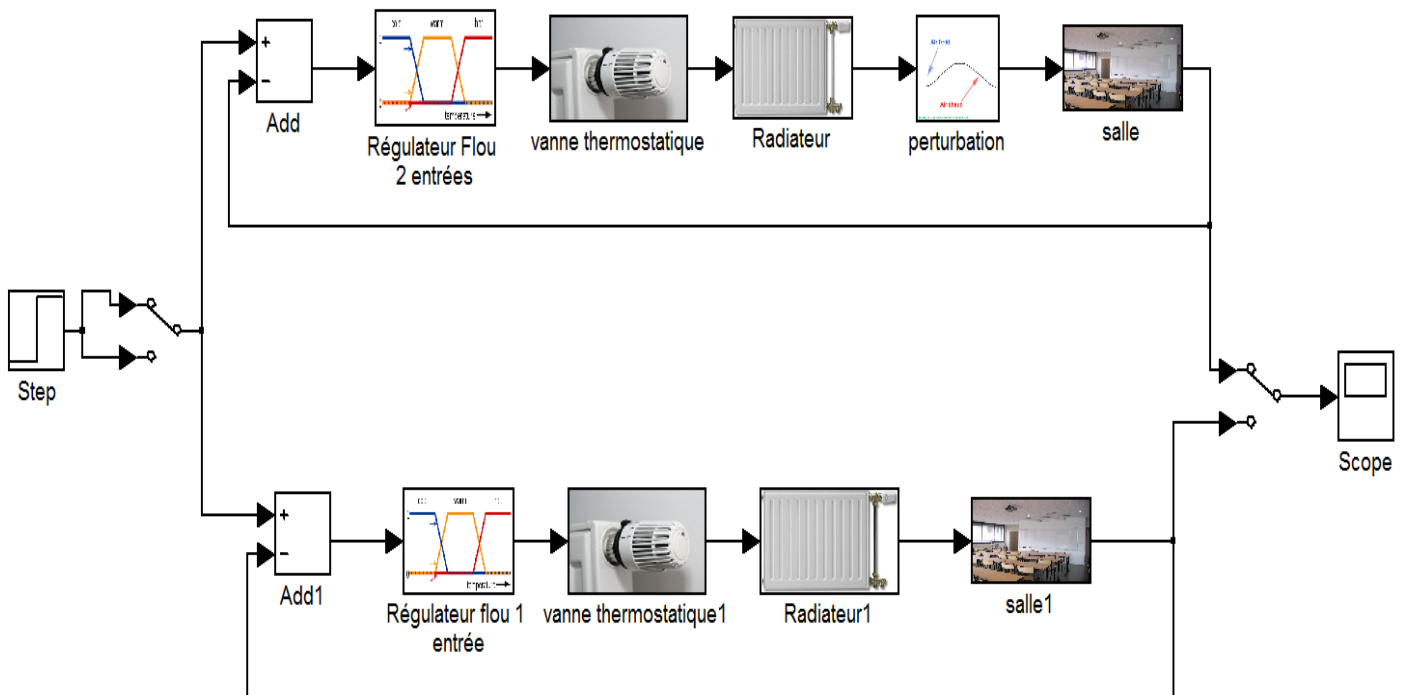
3- Simulink :

Afin de pouvoir simuler notre système, nous avons réalisé un schéma bloc sur l'outil Simulink de Matlab à partir du schéma bloc du départ réalisé sur le cahier de charge :



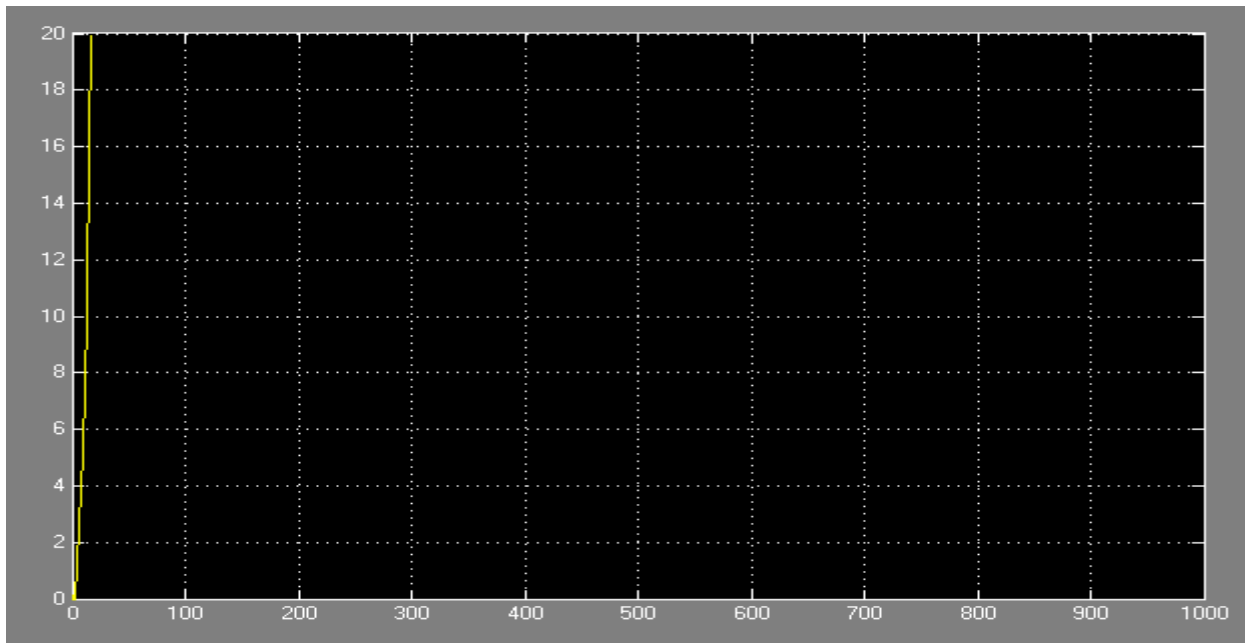
Sur Simulink nous avons réalisé les deux commandes (avec deux et avec une entrée) pour pouvoir les comparer.

Le schéma est le suivant :

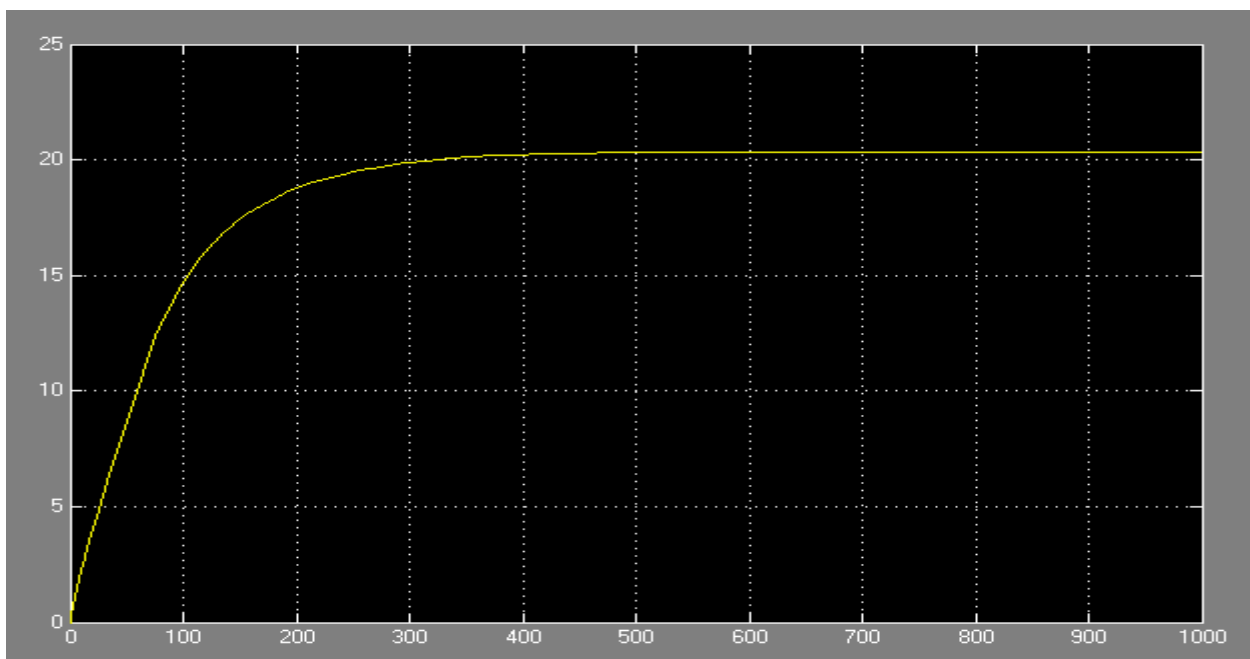


Le « Step » en entrée représente notre température de consigne (20°) et le scope à la fin sert à visualiser notre simulation, le radiateur est modélisé par une fonction de transfert du premier ordre avec une constante de temps égale à 90 (constante de temps thermique très grande).

Pour un régulateur flou à deux entrées. Nous remarquons que nous avons un système pas stable, cela peut être expliqué par la difficulté d'associer deux entrées à une sortie, de plus les perturbations ajoutées qui modélisent les fuites thermiques empêchent le système d'atteindre sa valeur de consigne.



Pour une commande avec une seule entrée, nous avons un système beaucoup plus stable avec un temps de réponse grand mais qui se stabilise à sa valeur de consigne 20°.



Conclusion

Dans le cadre de notre projet IMA4, nous devons réaliser une commande de régulation de flux thermique à Polytech afin de pallier aux problèmes de fuites thermiques et de pertes d'énergie ce qui empêche l'établissement d'avancer et de continuer son chemin de développement durable.

Le but de notre projet est donc de mettre en place un système innovant de la commande avancée pour trouver des solutions grâce à la commande floue qui nous permettra d'avoir un système stable et précis. C'est un projet à long terme, sa durée est de trois ans.

Durant cette première année, nous avons étudié sa faisabilité en réalisant la commande et sa simulation sur Matlab et en contactant des industriels pour trouver la vanne appropriée à notre système.

Ce projet nous a permis d'appliquer les connaissances qui nous ont été inculquées en cours ainsi que de nous initier à la recherche dans un domaine innovant.

Nous avons été confrontés à de nombreux problèmes et dans la plupart des cas nous avons pu trouver une solution alternative afin de les résoudre partiellement. Enfin ce projet aura été l'occasion de découvrir et d'utiliser des outils dont nous n'avions pas la moindre idée de leurs existences.