

EI — INFO — IS

Ecoles d'ingénieurs

Information

Ingenieurschulen

Chimia 49 (1995) 350-352

© Neue Schweizerische Chemische Gesellschaft
ISSN 0009-4293

Une unité de distillation pilote conduite par la logique floue

Edmond Goy* et Pierre Schulz*

1. Rappel des principes de la fuzzy-logic

Introduction

Depuis quelques années la fuzzy-logic ou logique floue prend une importance de plus en plus grande. Cette théorie formulée par le Prof. Lotfi Zadeh dans les années 65-70 doit son essor grâce au développement de l'électronique, des automates programmables et de l'informatique.

Les réalisations dans le domaine du réglage et de la commande industrielle en logique floue donne une approche plutôt pragmatique, permettant d'inclure l'expérience acquise par les opérateurs. La méthode classique demande des connaissances mathématiques assez avancées pour définir un modèle mathématique à l'aide de fonctions de transfert et d'équations d'état. Ainsi il peut être intéressant d'utiliser la logique floue lorsque les systèmes sont non-linéaires ou lorsqu'il est difficile de faire un modèle mathématique.

Bases de la logique floue

Prenons comme exemple la pression de travail dans une colonne de distillation. Souvent on parle de petites, moyennes ou grandes pressions. En logique classique on peut représenter graphiquement cette situation par les trois ensembles ci-dessous. Une pression de 5,5 mb serait alors classée dans l'ensemble des pressions moyennes (fig. 1).

En effet le degré d'appartenance aux pressions moyennes est de 100% alors que le degré d'appartenance aux pressions petites ou grandes est de 0%.

Pour avoir une représentation plus précise on peut définir une courbe représentant l'appartenance à des ensembles de pressions de la manière représenté par la fig. 2.

Dans cette représentation, une pression de 5,5 mb aurait une appartenance de 75% à l'ensemble des pressions moyennes et une appartenance de 25% à l'ensemble des pressions grandes. La logique floue travaille avec des ensembles flous. Petits, moyens, grands, sont des ensembles flous qui peuvent être définis mathématiquement par une fonction attribuant à chaque élément, le degré d'appartenance à cet

ensemble. Ce degré varie de 0 à 100%.

Cette capacité de traiter les données avec des valeurs intermédiaires permet aux systèmes à logique floue de mieux s'adapter à leur environnement.

Réglage et commande par logique floue

Le réglage d'un processus par logique floue consiste à remplacer un régulateur classique PID par un régulateur flou.

La réalisation d'un réglage par logique floue peut être fractionné en trois phases:

- La fuzzification ou pondération des variables d'entrée.
- Le moteur d'inférence ou l'établissement des règles linguistiques.
- La défuzzification ou concrétisation des variables de sortie.

La fuzzification

La conception d'un système basé sur la logique floue demande en premier lieu de définir des sous-ensembles flous, soit des fonctions d'appartenance pour les différentes variables d'entrée. C'est ce qu'on appelle la fuzzification. On réalise ainsi le passage des grandeurs physiques en variables linguistiques qui seront traitées par le moteur d'inférence. La détermination des ensembles et de leurs formes n'est pas toujours aisée, elle fera le plus souvent

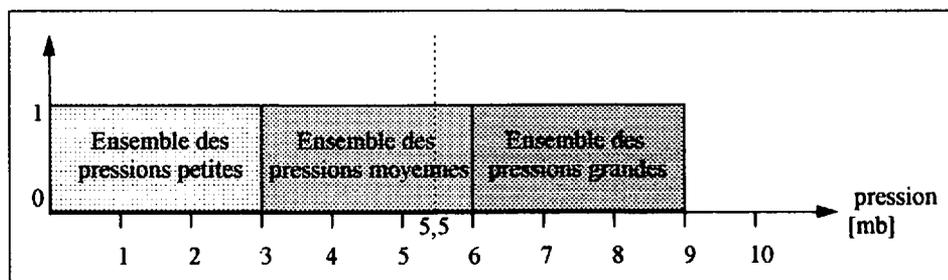


Fig. 1. Pressions de travail représentées par la logique classique

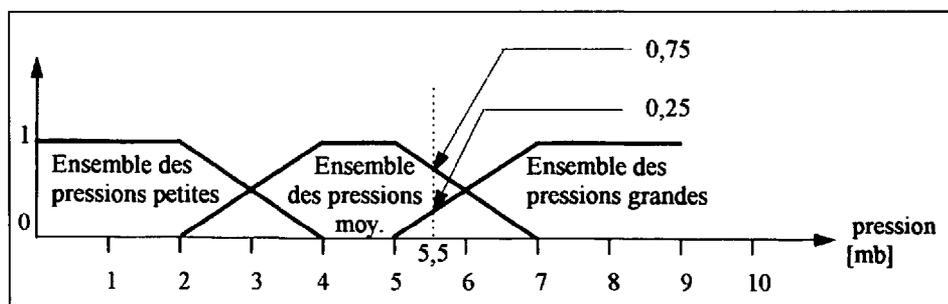


Fig. 2. Pressions de travail représentées par la logique floue

*Correspondance: Prof. E. Goy, Prof. P. Schulz
Laboratoire de Génie Chimique
Ecole d'Ingénieurs de Genève
4, rue de la Prairie
CH-1201 Genève

intervenir l'expérience pratique de l'opérateur.

Le moteur d'inférence

Il s'agit d'un ensemble de règles permettant de passer des sous-ensembles flous d'entrée aux sous-ensembles flous de sortie.

Le moteur d'inférence lie ces grandeurs d'entrée (transformées en variables linguistiques à l'aide de la fuzzification), à la variable ou aux variables de sortie. Cette ou ces dernières étant aussi exprimées comme variables linguistique.

La formulation concrète des inférences dépend évidemment du comportement statique et dynamique du processus à régler et de l'organe de commande, ainsi que des buts de réglage envisagés. La description linguistique s'exprime à l'aide d'un certain nombre de règles. Chaque règle possède une condition, une action ou conclusion.

Exemple de règle:

- SI 'la perte de charge est négative petite' ET 'la pression égale zéro', ALORS, 'chauffage positif petit', OU,
- Si 'la perte de charge est négative grande' ET 'la pression est positive petite', ALORS, 'chauffage nul', OU,
- SI 'la perte de charge est positive petite' ET 'la pression égale zéro', ALORS 'chaffage négatif petit', OU,
- SI '... ..' ET '... ..', ALORS, '... ..', OU.

Le moteur d'inférence fournit une fonction d'appartenance résultante pour la variable de sortie. Il s'agit donc d'une information floue. Le réglage par logique floue est donc une technique intermédiaire entre la logique tout ou rien et les systèmes asservis à contre réaction.

La concrétisation ou la défuzzification

La défuzzification est l'opération inverse de la fuzzification qu'on appelle aussi concrétisation.

La concrétisation est l'opération qui consiste à établir la valeur qui va être appliquée à la sortie du régulateur flou. A partir de la fonction d'appartenance résultante fournie par le moteur d'inférence, il faudra transformer cette information en une grandeur de sortie bien déterminée. La méthode de défuzzification la plus employée est celle de la détermination du centre de gravité de la fonction d'appartenance résultante.

LabVIEW et la logique floue

LabVIEW est un logiciel de développement qui utilise un langage de programmation graphique et permet à l'utilisateur

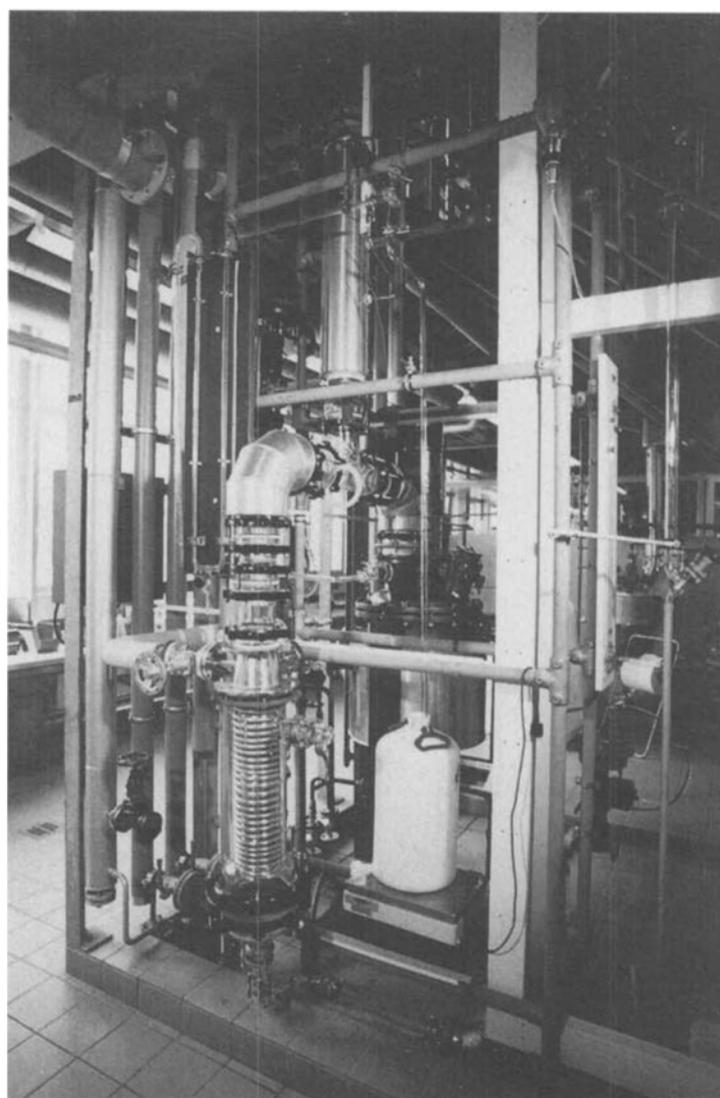


Fig. 3. Unité pilote de rectification

de créer des programmes sous forme de schéma-bloc sans acquérir la connaissance d'un langage de programmation tel que Pascal, Basic, Fortran ou autre.

LabVIEW permet de réaliser facilement des régulateurs flous sur PC. Une carte d'entrée-sortie TOUT OU RIEN et convertisseur A/D et D/A permet la lecture de variables d'entrée telles que perte de charge, pression absolue et températures. Après traitement de ces variables par le régulateur flou, la valeur appropriée de la grandeur de commande est appliquée au processus.

2. Application à une unité de distillation du laboratoire de génie chimique de l'EIG

Description de l'installation de rectification

Le laboratoire de génie chimique de l'EIG dispose d'une unité pilote de rectification comportant une colonne en verre de 100 mm de diamètre avec 3 m de garnissage Sulzer BX (fig. 3), d'une cuve

de 100 l en acier inox chauffée à la vapeur. Cette installation peut travailler en distillation fractionnée par batch, ou en distillation continue grâce à un équipement d'évaporation à circulation forcée.

Les étudiants utilisent cette unité pilote pour séparer des mélanges de substances classiques (*cis-trans* décaline, éthanol-eau, méthylcyclohexane-toluène). Ils doivent déterminer les paramètres habituels: Nombre de plateaux théoriques, hold-up, évolution du profil de températures, perte de charge, pression de travail et taux de reflux optimums, etc.

Ils doivent aussi être capable d'extrapoler les résultats obtenus, notamment les conditions de travail, les caractéristiques géométriques de la cuve, de l'évaporateur, de la colonne, des échangeurs de chaleur et des pompes, à une installation de plus grande capacité.

L'instrumentation classique et sa mise au point

L'instrumentation de cette installation pilote est comparable à celle des rectificateurs industriels (fig. 4).

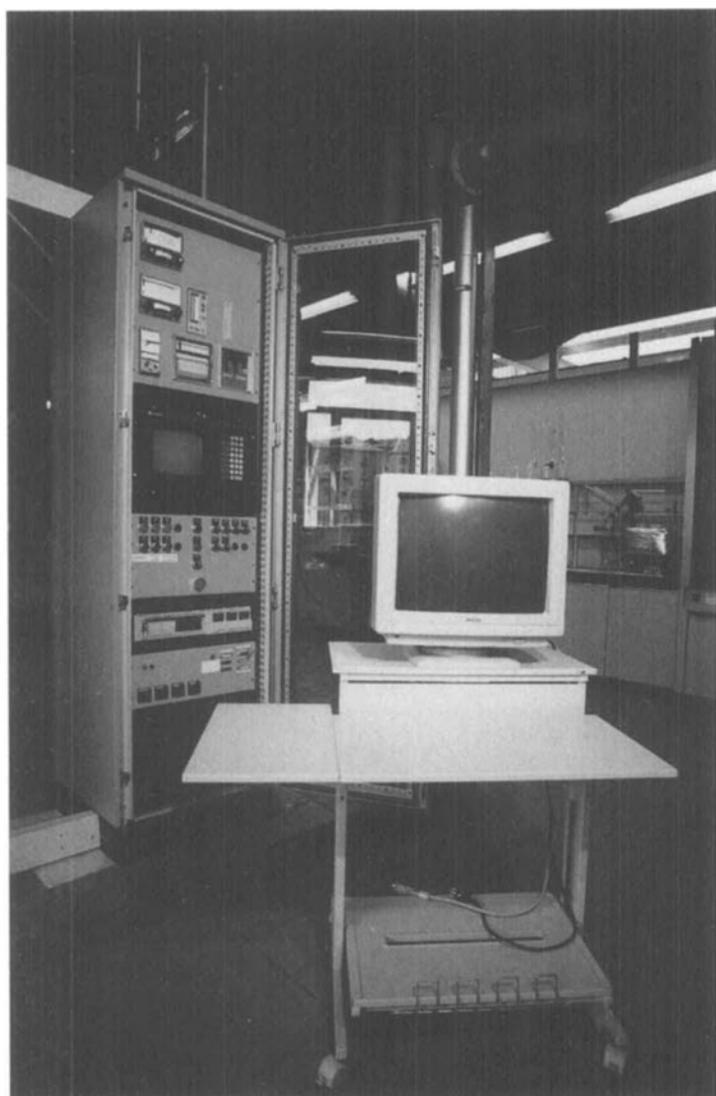


Fig. 4.
L'instrumentation

Elle dispose de mesures et régulations PI et PID électriques et pneumatiques. Un automate est affecté à la gestion des profils de températures dans la colonne. Un second automate assure les différentes commandes séquentielles et permet aussi de réaliser des régulations soft.

Un système de supervision configuré sur la base du logiciel labVIEW permet de visualiser en temps réel l'état des différents paramètres et d'illustrer ainsi les méthodes modernes utilisées habituellement dans les salles de commande des installations de productions chimiques industrielles.

La mise au point des régulations classiques P, PI, PID, entrant en jeu dans le processus de rectification n'est pas simple du fait de la très forte interdépendance entre les différents paramètres. En effet, par exemple, une perturbation de la pression dans la colonne provoque immédiatement un déséquilibre important de la perte de charge et par conséquent une variation de la puissance de chauffage ce qui n'est en réalité pas nécessaire.

Le choix des paramètres d'ajustage des régulateurs n'est pas facile dans ce cas, car une approche mathématique cer-

taine est lourde et compliquée (fonctions de transfert du 3 ou 4^{ème} ordre), et une mise au point expérimentale par réponses indicielles ou harmoniques est également difficile à mettre en œuvre car il n'est pas acceptable de provoquer les perturbations nécessaires sans déséquilibrer complètement la colonne.

Application de la logique floue

C'est dans ce contexte que nous avons décidé dans le cadre d'un travail de diplôme, d'effectuer en collaboration avec la société *Givaudan-Roure SA* à Vernier, de piloter cette colonne de distillation par des systèmes à régulateurs flous.

Nous avons choisi pour ce travail, de prendre en compte que les variables principales qui influencent de façon significative le fonctionnement du rectificateur.

Il s'agit des 3 variables d'entrée: perte de charge dans la colonne, pression dans la cuve et taux de reflux en fonction du profil des températures. Les variables de sortie étant: débit de vapeur dans le corps de chauffe, lest d'air à l'entrée de la pompe à vide et position du distributeur de reflux.

L'utilisation des régulateurs flous a donné des résultats très satisfaisants notamment dans la qualité des régimes transitoires. Il convient cependant de remarquer que le problème n'était pas de comparer uniquement les performances des réglages flous à celles des systèmes asservis, mais plutôt de dégager les avantages de mise en œuvre et les possibilités d'application en génie chimique.

3. Intérêts pour les unités de productions industrielles

La logique floue est une logique pondérée dont le principe se rapproche un peu du raisonnement humain. On échantillonne périodiquement les entrées, on estime leur évolution par rapport à l'échantillon précédent, et l'on ajuste les sorties en pondérant les fonctions d'appartenance.

Cette approche basée sur une connaissance incertaine de l'état des systèmes est extrêmement intéressante dans l'automatisation des unités de productions chimiques. Elle permet en effet de prendre en compte facilement le 'savoir-faire' et 'tours de mains' des opérateurs qui sont des informations significatives pour le bon fonctionnement de l'installation, mais très souvent difficilement modélisable de façon certaine pour en tenir compte dans les systèmes de commande traditionnels.

Le langage utilisé dans la logique floue est très proche de l'utilisateur et la mise au point en cours d'exploitation est très facile.

4. Possibilités pédagogiques de ces équipements

Avec cette nouvelle unité pilote de distillation et son instrumentation moderne, le laboratoire de génie chimique de l'EIG dispose d'un outil pédagogique très performant qui permet aux étudiants de se familiariser avec les différents principes de séparation par distillation, mais aussi de travailler avec un système de commande et régulation de conception industrielle.