

## Régulation d'une température pondérée et hiérarchisation d'objectifs en cas de conflits

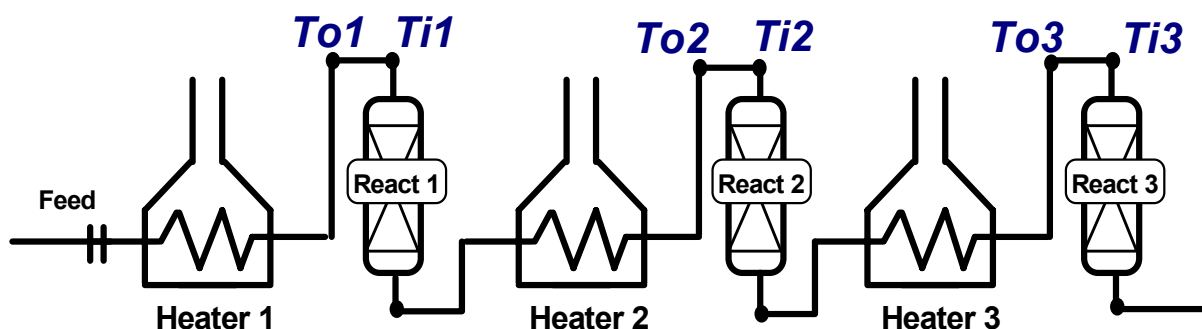
ADERSA : O. Gerbi, J. Papon ; Novachem : L. Greppi, S. Zecchi ; API : L. Luminari

L'optimisation du cycle de production d'essence à la raffinerie API de Falconara (Italie) a conduit à mettre en place deux applications de commande multivariable.

L'ensemble du projet d'optimisation a été mené par Novachem (Milan) et le pilotage multivariable de deux unités a été confié à Adersa : Platforming et distillation DIH (deisohehexaniseur).

Les fonctionnalités de la commande multivariable IDCOM-HIECON ont été largement exploitées pour répondre aux spécifications complexes du Platforming.

**Le procédé** Platforming a pour but de modifier la structure des molécules d'hydrocarbures pour atteindre un indice d'octane supérieur ou égal à 100. Il est constitué de la succession de trois ensembles « four – réacteur ». Chaque four apporte la chaleur nécessaire à la réaction endothermique. Plus la température est élevée, plus la réaction produit un indice élevé mais au détriment de la durée de vie du catalyseur.



**Les spécifications** résultent d'un compromis entre l'indice d'octane, la maîtrise du vieillissement du catalyseur et la capacité des fours.

L'objectif essentiel est la satisfaction de la consigne de WAIT (somme pondérée des températures d'entrée des réacteurs) : cette grandeur est le degré de liberté pour agir sur l'indice d'octane (RON). La consigne de WAIT résulte de l'optimisation globale du RON au niveau de la raffinerie.

$$\text{WAIT} = \sum w_j \cdot T_{ij} \quad (j= 1, 3 )$$

Les grandeurs d'action disponibles sont les trois consignes de sortie  $To1$ ,  $To2$  et  $To3$  des fours et la consigne de débit de charge de l'unité.

D'autres objectifs sont recherchés sous réserve de la satisfaction de la consigne de WAIT :

- Équilibrage des températures d'entrée des réacteurs
- Maintien du débit de charge à sa valeur nominale

Le pilotage de cette unité est soumis à plusieurs contraintes :

- Contraintes liées aux fours : pression de gaz aux brûleurs, température de peau de tube
- Contraintes liées aux réacteurs : écart de température entre deux réacteurs inférieur à une limite

## De la stratégie de conduite à la conception du régulateur

L'utilisateur définit des besoins dictés par les spécifications de qualité, par la sécurité du procédé et par son expérience de la conduite.

Ces besoins doivent être traduits le plus simplement possible sous une forme exploitable par le régulateur.

L'interface utilisateur de IDCOM-HIECON permet à l'utilisateur d'exprimer sa stratégie de conduite directement dans ses propres termes.

- **Contraintes** : les limites relatives aux fours (pression brûleurs, température de peau de tube,...) sont prises en compte directement comme contraintes sur des sorties procédé.

Par contre les contraintes liées aux écarts de température entre réacteurs nécessitent de faire appel à la notion de variable auxiliaire.

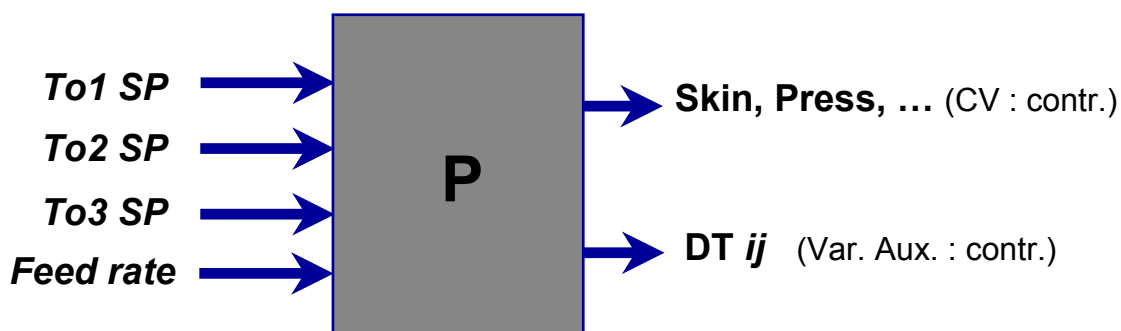
IDCOM-HIECON permet la définition de variables auxiliaires sous la forme :

$$AV_k = \sum \alpha_i \cdot MV_i + \sum \beta_j \cdot CV_j$$

Avec :  
AV : variable auxiliaire  
MV : variable manipulable  
CV : variable à maîtriser (sortie procédé)

Une variable auxiliaire peut recevoir les mêmes spécifications qu'une sortie procédé (consigne, zone, contrainte, objectif secondaire, optimisation).

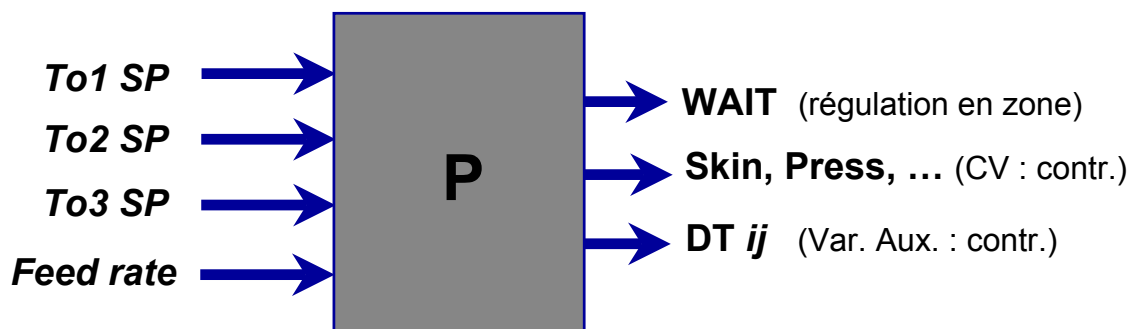
Ici, les variables auxiliaires sont les différences entre les températures : par exemple, la variable DT12 est définie comme étant la différence entre la température du réacteur 1 et celle du réacteur 2.



Le déséquilibre maximum admissible fixé par l'utilisateur s'exprime alors comme des contraintes ordinaires sous la forme :

$$\begin{aligned}DT12 &< \text{Seuil-12} \\DT23 &< \text{Seuil-23} \\|DT13| &< \text{Seuil-13}\end{aligned}$$

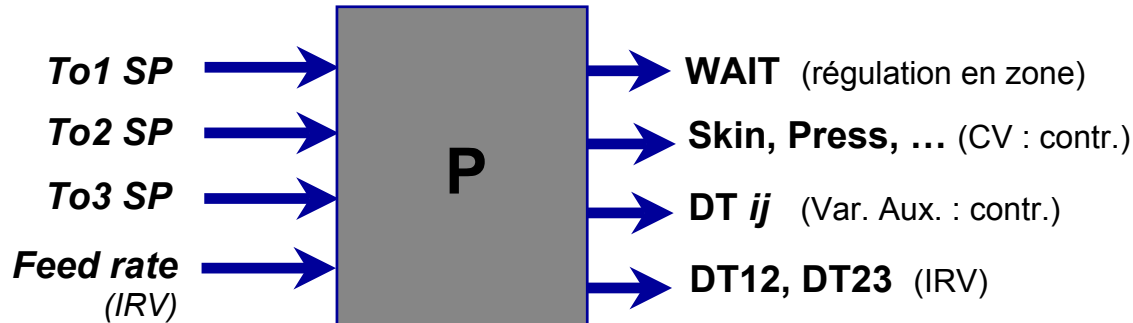
- **Objectif principal** : Satisfaire la consigne de WAIT



IDCOM-HIECON permet de spécifier un temps de réponse en boucle fermée pour chacune des sorties procédé recevant un objectif de type consigne ou zone.

Une régulation en zone permet de diminuer la sensibilité aux bruits en spécifiant un temps de réponse en boucle fermé plus long quand l'écart mesure-consigne est faible. Ce qui revient à adapter la raideur du régulateur en fonction de cet écart.

- **Objectif secondaire** : équilibrer les températures d'entrée des réacteurs, ce qui revient à faire tendre les écarts vers zéro.



L'équilibrage entre les températures d'entrée des fours étant considéré comme moins important que la satisfaction de la consigne de WAIT, il est considéré comme un objectif secondaire. Cet objectif secondaire est une Valeur de Repos Idéale (IRV) qui ne sera respectée que dans la mesure où les contraintes et les objectifs principaux (consignes et zones) seront satisfaits.

La valeur idéale des variables DT12 et DT13 est fixée à zéro pour tendre vers l'équilibrage des réacteurs.

Un autre **objectif secondaire** porte sur le débit de charge de l'unité : il se maintiendra à sa valeur idéale (IRV) fixée par le producteur tant que les contraintes ne conduiront pas à le réduire.

## Gestion des conflits : hiérarchisation des objectifs

Le classement des objectifs suivant un ordre hiérarchique correspond à la stratégie de conduite exprimée par l'utilisateur :

- Maintenir le procédé en bon état (contraintes sur les fours)
- Limiter le déséquilibre du vieillissement du catalyseur (contraintes sur les écarts de température des réacteurs)
- Satisfaire la consigne de WAIT (pour obtenir l'indice d'octane recherché)
- Maintenir le débit de charge à sa valeur nominale
- Équilibrer les températures de réacteurs

Cette hiérarchisation s'est traduite en termes de contraintes, d'objectifs principaux et d'objectifs secondaires qui sont traités de façon différenciée par l'algorithme de commande, sans qu'il soit nécessaire de définir quelle que logique que ce soit.

La stratégie spécifiée est effectivement suivie au fur et à mesure du vieillissement du catalyseur.

Ce vieillissement amène à augmenter progressivement la consigne de WAIT (donc les températures fours) pour maintenir l'indice d'octane sur sa cible.

Les contraintes sur les fours ne permettent pas d'augmenter toutes les températures de façon uniforme ; ce qui contribue à déséquilibrer les températures des réacteurs.

Le déséquilibre est limité également par des contraintes. Le respect de la consigne de WAIT impose alors de diminuer le débit de charge, réduisant ainsi la puissance de chauffe nécessaire.

Le principe de hiérarchisation d'objectifs, définis sous forme de spécifications interprétées par l'algorithme de commande prédictive multivariable, a permis de suivre la stratégie de conduite exprimée par le producteur : obtenir l'indice d'octane recherché par le suivi du WAIT demandé tout en respectant à chaque instant l'ensemble des contraintes et des objectifs secondaires.

