

Optimisation de batch en batch basée sur les mesures avec application à un système de réaction-séparation

**A. Marchetti¹, B. Srinivasan¹, D. Bonvin¹,
S. Elgue², L. Prat² et M. Cabassud²**

¹Laboratoire d'Automatique,
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL),
CH-1015 Lausanne, Suisse
Fax: +41 21 693 25 74

²Laboratoire de Génie Chimique,
Institut National Polytechnique de Toulouse,
F-31106 Toulouse, France

Des approches d'optimisation basée sur les mesures ont été développées récemment afin de rejeter les incertitudes et les perturbations qui persistent d'un batch à l'autre. L'une de ces méthodes est basée sur le paramétrage des trajectoires d'entrée et l'ajustement en ligne et/ou de batch en batch des paramètres correspondant en utilisant des mesures, le but étant de satisfaire les conditions nécessaires d'optimalité. Jusqu'à présent, la poursuite de ces conditions d'optimalité a été étudiée en simulation pour plusieurs problèmes académiques comprenant des systèmes d'ordre réduit ([1], [2]).

La méthode est, en principe, également applicable à des problèmes d'optimisation dynamique plus complexes, comprenant par exemple plusieurs entrées. Dans ce contexte, cette étude présente le cas d'un système de réaction-séparation décrit par un modèle rigoureux d'ordre élevé (337 états et environ 2000 équations algébriques). Un paramétrage simple de la solution optimale avec quatre paramètres est proposé et les contraintes terminales actives sont satisfaites itérativement d'un batch à l'autre. Avec cette stratégie, une opération sous-optimale est atteinte en quelques batches.

Le problème considéré est celui de la production du propylène glycol (PG) par hydrolyse du propylène oxyde (PO). Un schéma de réactions consécutives/compétitives conduit à la formation de produits secondaires : di- et tri-glycols. Après l'étape de réaction, l'eau et le méthanol qui est utilisé comme solvant sont séparés du milieu réactionnel par distillation. Le problème d'optimisation considère deux variables de commande, la température de consigne du réacteur et le taux de reflux interne de la colonne de distillation. L'objectif consiste à minimiser la durée opératoire tout en satisfaisant certaines contraintes terminales liées au rendement en PG, à la sélectivité de la réaction, et à la fraction molaire finale en PG dans le réacteur.

La solution optimale, calculée numériquement et présentée à la figure 1, comprend les trois arcs suivants: (1) la phase de réaction, (2) la phase de démarrage de la colonne sans soutirage de distillat, et (3) la phase de distillation. Toutes les contraintes terminales sont actives dans la solution optimale. La température du réacteur présente un arc singulier dans la phase de réaction, en raison du compromis entre l'accélération de la réaction principale et la formation de produits secondaires. Le taux de reflux présente également un arc singulier dans la phase de distillation, lequel décrit le compromis entre la qualité et la quantité de distillat. Ces deux arcs singuliers sont approximés par des fonctions exponentielles de deux paramètres. La durée de la phase de démarrage est préfixée et la durée de la phase de réaction et le temps final sont déterminés par des mesures en ligne de température. Ainsi, la solution optimale est paramétrée à l'aide de quatre paramètres ajustables.

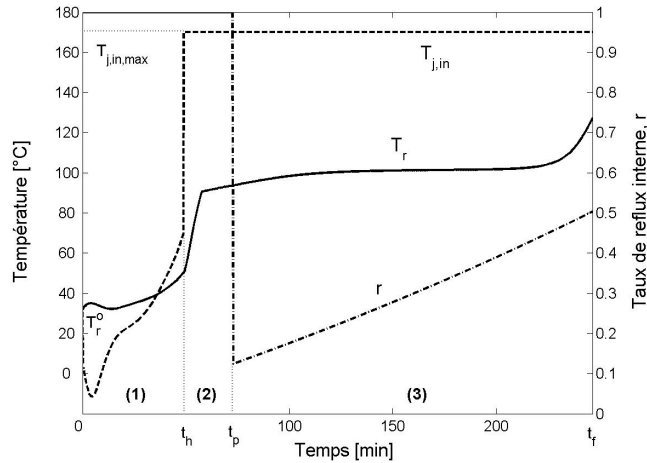


Figure 1: Trajectoires optimales: Température du réacteur T_r (continu), température d'entrée du fluide caloporteur $T_{j,in}$ (pointillé) et taux de reflux interne r (semi pointillé)

Ce travail étudie l'adaptation de batch en batch de ces quatre paramètres afin de satisfaire les contraintes terminales en utilisant les mesures correspondantes disponibles en fin de batch. Comme point de départ de l'adaptation, des solutions initiales conservatrices sont proposées. La figure 2 montre l'évolution de la fonction coût (durée opératoire) obtenue en dix batches. Étant donnée la présence de bruits de mesure, des marges de sécurité ont été introduites pour ne pas violer les contraintes. La région où l'adaptation est masquée par le bruit est atteinte en 2-4 batches après lesquels l'adaptation peut être arrêtée. La solution ainsi obtenue est seulement 2% sous-optimale. Ainsi, ce travail montre qu'un modèle de la solution avec un nombre réduit de paramètres est adéquat pour optimiser même des systèmes relativement complexes.

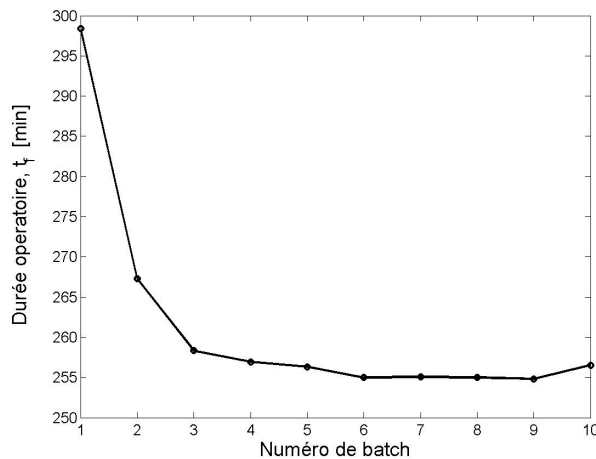


Figure 2: Evolution de la fonction coût.

Références:

- [1] Srinivasan, B., D. Bonvin, E. Visser and S. Palanki (2003a). Dynamic optimization of batch processes: II. Role of measurements in handling uncertainty. *Comp. Chem. Eng.* **27**, 27-44.
- [2] François, G., B. Srinivasan and D. Bonvin. Run-to-run optimization of batch emulsion polymerization. In *IFAC World Congress*, pp. 1258-1262, Barcelona, Spain, 2002.