

Application des métaheuristiques au problème d'optimisation de méthodes d'inversion

Peio Loubière¹, Astrid Jourdan¹, Patrick Siarry², Rachid Chelouah¹

¹ École des sciences du traitement de l'information (EISTI) avenue du parc, Cergy-Pontoise, France
`{plo, aj, rc}@eisti.eu`

² LISSI (EA 3956) 122, rue Paul Armangot, 94400 Vitry sur Seine, France
`siarry@univ-paris12.fr`

Mots-clés : Méthodes d'inversion, évolution différentielle, analyse de sensibilité.

1 Introduction

Dans ce papier, nous présentons le problème d'optimisation basé sur les méthodes d'inversion pour la calorimétrie, afin de caractériser un matériau à changement de phase (MCP) [1]. Les MCP sont des matériaux qui stockent ou libèrent de l'énergie par changement d'état de leur composant, lors de variations de température. Ils permettent d'amortir les variations de température au sein d'un bâtiment et ainsi de diminuer sa consommation d'énergie.

Une expérience de calorimétrie différentielle à balayage (*Differential Scanning Calorimetry*, DSC) [2] permet de caractériser la transformation du matériau en mesurant la dérivée de l'enthalpie (énergie totale d'un système thermodynamique). Un modèle mathématique simulant l'évolution thermique d'un matériau lors d'une telle expérience a été proposé dans [4].

2 Le problème d'optimisation : méthode d'inversion

Un problème inverse consiste à déterminer les grandeurs physiques, causes d'un phénomène observable, à partir du résultat d'une expérience. Ces paramètres sont les propriétés (capacité, conductivité, résistance, etc.) de l'échantillon. Ici l'objectif est d'identifier les paramètres d'une expérience de DSC simulée. Une méthode par inversion nécessite la modélisation mathématique \mathcal{M} de l'expérience dont on cherche à déterminer l'ensemble de paramètres, noté X^* . L'expérience a conduit au résultat observé y_{obs} . Une simulation de l'expérience est l'application du modèle \mathcal{M} , à un ensemble de variables X , fournissant une solution $y = \mathcal{M}(X)$.

Résoudre un tel problème consiste à minimiser l'écart entre une solution simulée y et la valeur observée y_{obs} . La fonction objectif est donc une norme, adéquate au problème, pour calculer cet écart. Elle est donnée par l'équation : $F_{obj}(X) = \sum_{i=1}^n (\phi(t_i, X) - \phi_{obs}(t_i))^2$,

où n correspond au nombre de relevés effectués, $\phi(t_i, X)$ est la valeur de flux pour le jeu de paramètres X au temps t_i et $\phi_{obs}(t_i)$ est la valeur du flux de référence observé par l'expérience de DSC. Le principe est illustré par la figure 1.

Certaines variables, non connues a priori, ont peu ou pas d'influence sur l'expérience physique. L'objectif est donc d'utiliser une méthode d'optimisation couplée à une analyse de sensibilité. Elle permet de détecter ces variables non influentes, afin de concentrer la recherche sur les autres variables et d'obtenir une meilleure convergence.

3 Contraintes du problème

Outre les domaines de définition des variables du problème, deux contraintes fortes caractérisent les choix de résolution :

Variables inter-dépendantes : Les variables de température T_A et T_M sont liées. La température de fusion T_M du *liquidus* doit être inférieure à celle du corps pur T_A .

Faisabilité de la solution : Sous certaines configurations des variables d'entrée, le modèle mathématique diverge et ne fournit pas de réponse. C'est un problème d'optimisation sous

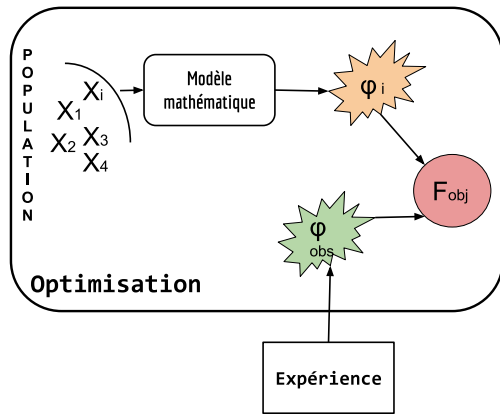


FIG. 1 – Processus de fonctionnement du problème d’optimisation.

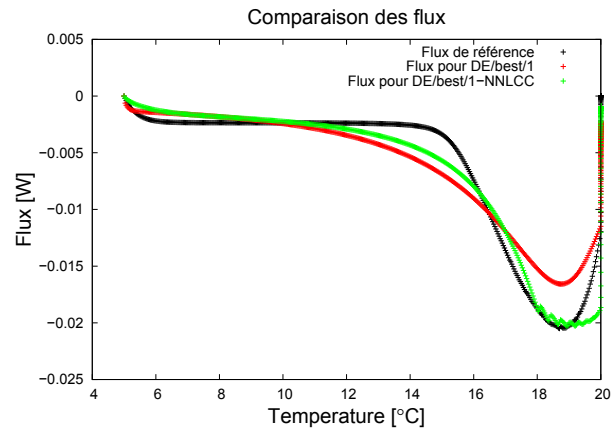


FIG. 2 – Comparaison des flux de référence et d’optimisation.

contrainte, sans explicitation de la contrainte. Si une solution est infaisable, le code de calcul du modèle mathématique provoque une erreur et aucune évaluation n’est fournie. Étant donné l’impossibilité de quantifier la non faisabilité, nous ne pouvons pas définir de fonction de pénalisation. De plus cela empêche l’utilisation de méthodes d’analyse de sensibilité telles que la méthode de Morris.

4 Méthodes et perspectives de résolution

Nous utilisons la métaheuristique d’évolution différentielle (DE) [3] avec les schémas de mutation DE/best/1, DE/current-to-best/1 et DE/rand/2, couplée avec la méthode d’analyse de sensibilité NN-LCC [5] (DE-NN-LCC). Afin de gérer la non faisabilité d’une solution, une constante élevée est affectée à son évaluation. L’utilisation de schémas impliquant la meilleure solution de la population de solutions dans le déplacement permet d’attirer une solution non faisable vers la meilleure de la population, ce qui permet de la rendre à nouveau faisable.

La figure 2 montre l’intérêt de l’utilisation d’une méthode d’analyse de sensibilité au sein d’une métaheuristique, par une meilleure approximation de la courbe du flux de référence.

Nous comparons les résultats entre la métaheuristique DE (avec ses différents schémas de mutation) et sa version avec analyse de sensibilité, afin de constater une amélioration de la convergence.

Références

- [1] W. Maréchal, *Utilisation de méthodes inverses pour la caractérisation de matériaux à changement de phase*. Thèse de doctorat, Université de Pau et des Pays de l’Adour, sept. 2014.
- [2] E. Franquet, S. Gibout, J.-P. Bédécarrats, D. Haillot et J.-P. Dumas, *Inverse method for the identification of the enthalpy of phase change materials from calorimetry experiments*. *Thermochimica acta*, 546 : 61–80, 2012.
- [3] R. Storn et K. Price, *Differential evolution - a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces*, *Journal of Global Optimization*, vol. 11, no 4, p. 341–359, 1997.
- [4] S. Gibout, E. Franquet, W. Maréchal et J.-P. Dumas, *On the use of a reduced model for the simulation of melting of solutions in DSC experiments*, *Thermochimica Acta*, vol. 566, p. 118–123, 2013.
- [5] P. Loubière, A. Jourdan, P. Siarry et R. Chelouah, *Une méthode d’analyse de sensibilité pour détecter l’influence de déplacements multiples*, Conférence ROADEF, Compiègne, Février 2016.