



Rapport sur le mémoire de thèse présenté par M. Gustavo Luís Soares
par Laurent Krähenbühl, Directeur de Recherche au C.N.R.S.

M. Gustavo Luís Soares présente sous la direction des Professeurs João Antônio de Vasconcelos et Carlos Andrey Maia (Université Fédérale de Minas Gerais) et Luc Jaulin (Université de Bretagne Occidentale) un mémoire intitulé :

**« Algoritmos Determinístico e Evolucionário Intervalares
para Otimização Robusta Multi-Objetivo ».**

Ce travail développé en co-tutelle fait l'objet d'un rapport de 268 pages, comprenant un résumé long en langue française (54 pages), le texte complet étant rédigé en portugais du Brésil. Ce rapport est donc essentiellement fondé sur la partie rédigée en français, mais s'appuie également, lorsque c'est nécessaire, sur le texte en portugais (langue que je lis relativement couramment).

Soulignons que le résumé en français est rédigé de manière à renvoyer de façon claire et agréable au texte portugais, ce qui rend très facile la lecture en parallèle des deux textes.

Le **chapitre 1** est une présentation résumée de l'ensemble du document.

L'étude bibliographique proposée au **chapitre 2** concerne

- l'optimisation multiobjectif, avec le rappel de l'approche dite de Pareto et une tentative de classification de méthodes ;
- une partie plus spécialement consacrée aux algorithmes évolutionnaires multiobjectif (génétique, essaim particulière), avec un état de l'art sur l'élitisme, les métriques permettant des comparaisons de performances ;
- l'analyse par intervalles, qui va être la technique utilisée pour traiter ensuite l'incertitude sur certains paramètres au cours d'une optimisation : bases de ces techniques, définitions des opérations élémentaires et propriétés correspondantes, et revue de ce qui a déjà été fait utilisant ces notions dans un processus d'optimisation.

J'ai apprécié les choix qui ont été faits dans cette partie bibliographique : la littérature est en effet surabondante ; en extraire avec un objectif précis des éléments pertinents, cohérents, historiques pour les fondements, et en partie récents lorsqu'il y a de réels apports, n'est en effet pas si simple. J'ai découvert ici des articles tout à fait intéressants que je ne connaissais pas.

Le **chapitre 3** aborde le lien entre optimisation robuste et l'analyse par intervalles. L'a priori choisi est celui du « pire cas ».

Il faut quand même noter que dans beaucoup de (la plupart des ?) situations industrielles ou sociales - ou même de vie courante -, on ne peut raisonner ainsi (les pires cas entrent en concurrence et conduisent à bloquer toute action, autrement dit la somme des pires cas conduit à un système sans solution raisonnable ...), d'autant plus lorsque les choix faits pour définir le pire conduisent à ce qu'il puisse ne pas se situer dans l'espace réalisable (en raison de la définition « trop » forte 3.7), comme le montre bien l'exemple 12.

Les algorithmes présentés sont IRMOA I, qui cherche à encadrer le front de Pareto en construisant des encadrements dans l'espace des objectifs ; IRMAO II, avec le même but mais en travaillant sur des boîtes situées dans l'espace des paramètres ; et enfin, IRMOEA, qui ne travaille pas par découpage systématique, mais est basé sur une technique évolutionnaire. Pour obtenir une discrétisation régulière du front de Pareto, une technique de nichage par bisection (dans l'espace des objectifs) est introduite ; la mesure de la performance, nécessaire à la partie génétique de l'algorithme, est réalisée de manière à uniformiser la population des niches et à favoriser le « premier front » de Pareto.

Le chapitre se termine par un long paragraphe plutôt difficile à lire (dans la version complète en

portugais) sur des métriques permettant d'évaluer l'homogénéité de la discrétisation de la frontière de Pareto. L'idée est de construire dans l'espace des objectifs les boîtes maximales contenant chacune un point seulement, puis de calculer l'écart-type des volumes des boîtes. Je suggère de renvoyer cette partie en annexe.

Remarques de détails :

Dans un premier temps, on ne comprend pas pourquoi la déf. 18 et le théorème 1 sont construits autour d'une maximisation, alors que le reste du texte concerne la minimisation d'une fonction. Introduire cela en évoquant l'idée du mini max qui suit.

La figure 3.2a ne semble pas correspondre à (3.19).

Commenter un peu plus l'exemple 12, Si je comprends bien, on va résoudre le problème et obtenir des solutions sur Y^ . Mais la réalisation réelle sera meilleure : on pêche donc par pessimisme.*

Une illustration par l'exemple de IRMOA II aurait été le bienvenu, ainsi qu'une discussion comparative I/II.

Dans IRMOEA, la performance d'un individu est définie dans le sens d'une maximisation (3.37) alors que le reste du texte utilise des minimisations : pourquoi ? La somme utilisée en 3.37 est un peu curieuse (cela ne favorise-t-il pas trop un individu complètement isolé, mais très loin du premier front de Pareto ?).

Au §3.7.1, la méthode de bisection utilisée pour produire le résultat de la figure 3.8 semble bien lourde, du moins pour 2 objectifs : concrètement, vise-t-on réellement un grand nombre d'objectifs (mon expérience est que, au delà de 3, les interprétations deviennent difficiles) ?

D'autre part, doit-on vraiment estimer la qualité de la discrétisation du front de Pareto indépendamment de la position des individus dans l'espace des paramètres ? Plusieurs familles de solutions (donc clairement séparées dans l'espace des paramètres) peuvent se trouver projetées dans la même zone de l'espace des objectifs, il serait dommage d'en perdre une en voulant éclaircir le front de manière aveugle.

Le **chapitre 4** est consacré aux tests des méthodes d'optimisation robustes sur 5 problèmes test construits à partir de cas-test classiques mais qui ne prennent pas en compte, dans leur version d'origine, la question de la robustesse.

Ces problèmes semblent avoir été bien choisis, prenant en compte des catégories assez larges de typologies de fronts de Pareto. *Une discussion sur la manière d'y introduire les incertitudes aurait été bienvenue : on a parfois l'impression que c'est fait d'une manière très arbitraire. Y a-t-il un lien avec la réalité des véritables cas traités par ailleurs ?*

Ces cas-test sont présentés avec leur solution (X^* ou Y^*) discrète obtenue par balayage systématique. Chacune des méthodes du chapitre 3 est ensuite appliquée avec différents paramètres de réglage. Il y a là une quantité phénoménale de tests systématiques. La synthèse des résultats est forcément difficile à suivre lorsqu'on n'a pas directement participé au travail, mais elle est abordée sous les différents aspects qu'on s'attend à trouver (précision, coût, dépendance avec la dimension de l'espace de recherche, ...). Il serait intéressant à terme de mettre ces résultats sous forme informatique à la disposition de la communauté scientifique, comme base de tests et comparaisons d'algorithmes.

Sauf erreur, aucun test n'a été effectué sur des optimisations à plus de deux objectifs. Comme souligné plus haut, on va rarement au-delà de 3 en pratique, mais il aurait été utile de vérifier au minimum que les algorithmes fonctionnent et convergent.

Remarques de détails :

Fonction test SCH2 :

Cette fonction est « irrestrita », donc SANS contrainte (et non SOUS contrainte, même erreur de traduction sur certaines des autres fonctions dans la suite !).

Si $p1$ représente l'incertitude sur x , comme l'indique le texte portugais, ne faut-il pas utiliser $(x+p1)$ à la place de x aussi dans les limites définissant cette fonction au 4.2 ?

Fonction test ZDT2 : ne manque-t-il pas un morceau du front robuste sur la figure 4.4.d ?

Dans les expériences complémentaires du §4.4, je n'ai pas compris pourquoi l'algorithme RMOGA a été soigneusement réglé sur les résultats de IRMOA I : qu'en fait-on après ?

Le **chapitre 5** s'attaque à l'optimisation robuste multiobjectif d'un dispositif technique réel (contrôleur PID). Il s'agit d'un cas à nombre de paramètres réduit, mais à 4 objectifs. Je n'ai pas disposé du temps nécessaire pour analyser en profondeur ce choix et les résultats correspondants. L'impression générale est cependant que, là aussi, le candidat a réalisé puis analysé ce test avec un grand soin du détail. Il faut aussi noter que, par ailleurs, des résultats sur d'autres cas réels ont été présentés ou publiés (il aurait été intéressant, au minimum, de le signaler dans l'introduction du chapitre 5, mais peut-être est-ce dit ailleurs et cela a pu

Il sera intéressant par la suite d'analyser le comportement de ces algorithmes pour des problèmes à nombreux paramètres : habituellement, c'est dans ce cas que les algorithmes de type génétique montrent leur supériorité en termes de temps de calcul.

Je suis un peu sceptique sur le raisonnement fait au §5.3.6. (Fig. 5.11) pour valider deux algorithmes, en partant de l'idée qu'ils sont corrects tous les deux s'ils fournissent le même résultat par des méthodes différentes.

Les suggestions pour poursuivre ces travaux, présentées en conclusion (chapitre 6) sont nombreuses et précises, en lien avec des détails des algorithmes (on découvre au passage que la présentation générale de MBI, à la fin du chapitre 3, a seulement été ici implantée en 2 dimensions).

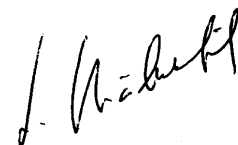
A mes yeux, il faut avant d'avancer en améliorant des détails d'algorithmes, confronter plutôt ceux qui sont déjà en place à une large liste d'applications, afin de vérifier qu'une classe suffisamment large de problèmes réels d'optimisation robuste multiobjectif peuvent entrer dans la formulation proposée.

En conclusion, le candidat présente un travail très documenté, très riche d'idées originales et de résultats, sur le sujet difficile de l'optimisation robuste à objectifs multiples. Une partie de ces travaux ont déjà suscité de l'intérêt lors de présentations à diverses conférences, une publication en a été faite dans IEEE T-Mag en 2008.

Pour un travail en co-tutelle avec la contrainte partielle du bilinguisme, la solution proposée (texte complet dans la langue maternelle, résumé long se référant précisément, point à point, au texte complet) est excellente (même si le texte français reste à améliorer considérablement).

En conséquence, je donne un avis extrêmement favorable à la présentation de sa thèse en soutenance orale par M. Gustavo Luís Soares.

Fait à Écully le 3 octobre 2008



Laurent Krähenbühl