

Introduction générale

Introduction générale

Il y a quelques années, l'*expérimentique*, c'est-à-dire le domaine traitant de la gestion des processus expérimentaux au sens général, a vu son champ d'action étendu à la suite d'une révolution technique : le développement et la généralisation de l'usage de l'ordinateur.

L'utilisation de la puissance de calcul des outils informatiques a très vite favorisé l'usage des *simulations*, et de manière plus large celui des *modélisations* numériques.

On a ainsi cherché à reproduire par calculs, les comportements physiques de dispositifs réels soumis à des conditions particulières. Par exemple, les écoulements de fluides, la conduction thermique, les déformations mécaniques sont des phénomènes reproduits numériquement par certains logiciels dédiés. De manière plus large, les approches multi-physiques se développent également, notamment en électrotechnique, où des études peuvent aborder conjointement des considérations électromagnétiques, thermiques, acoustiques et mécaniques.

En plus de l'ordinateur lui-même, les méthodes numériques de calcul ont constitué le second ingrédient indispensable pour le développement de ce créneau. Parmi ces outils mathématiques figurent entre autres la *méthode des éléments finis* [Dhatt 84] et toutes les techniques voisines (différences finies, méthode des éléments de frontières, etc.). On peut également citer l'approche par *réseaux de perméances*, plus spécifique à l'étude des systèmes électrotechniques [Ostovic 89], offrant un bon compromis entre la précision des résultats et le temps de calcul.

Ainsi, à chacun de ces systèmes *réels* étudiés s'est vu correspondre un équivalent *virtuel* dont les qualités intrinsèques sont infiniment plus avantageuses. Celui-ci peut en effet être modifié à volonté, au gré de l'expérimentateur. Cette démarche est typiquement appliquée lors d'*optimisations* pendant lesquelles les caractéristiques des modélisations sont modifiées afin d'améliorer certaines grandeurs.

De plus, l'aspect virtuel des expériences permet naturellement la modélisation de dispositifs n'existant pas concrètement. On parle alors plus précisément de *prototypes virtuels*. Cette approche débouche de fait sur une démarche de *conception* de systèmes, qui vient généralement précéder l'étape de construction de ces dispositifs.

Le domaine scientifique attaché à l'étude des machines électriques a pleinement bénéficié de cette évolution culturelle et technique.

Les contraintes pratiques et de coût incitent fortement à recourir au prototypage virtuel, pour la conception optimisée de nouveaux dispositifs électrotechniques, l'objectif conceptuel étant d'obtenir un produit réel satisfaisant à des critères dès le premier exemplaire fabriqué. Le recours aux outils informatiques s'inscrit dans la volonté de limiter le plus possible les coûts (financiers et temporels) attachés à la conception et à l'optimisation sur exemplaires réels.

Il existe cependant une contrepartie aux avantages recensés plus haut concernant les démarches de recherche par utilisation de systèmes modélisés. Elle réside principalement dans sa limite intrinsèque à reproduire les phénomènes réels, fluctuants et dispersés par nature. Il est en effet impossible de faire intervenir tous les phénomènes physiques entrant en jeu dans un système, ou du moins de les prendre en considération de manière exacte. Le phénomène d'hystérésis en est un exemple ; il illustre notamment la difficulté pour l'évaluation des pertes fer.

La construction du modèle est dépendante de très nombreux paramètres, dont les principaux concernent la personne qui la réalise ainsi que les caractéristiques matérielles et logicielles de l'ordinateur

utilisé. Ces éventualités définissent l'existence de variabilités dans la définition des expériences elles-même, et donc dans leurs résultats.

L'étude de systèmes électrotechniques modélisés soulève par conséquent 2 difficultés : les modélisations utilisées ne sont pas obligatoirement fidèles aux dispositifs originels, et il existe dans tous les cas une incertitude typiquement *expérimentale* due à la construction et à l'utilisation des modèles eux-même.

Pour connaître les évolutions des variables caractéristiques du problème, leurs interactions, leurs influences sur les grandeurs étudiées, nous avons appliqué dans ces travaux la formalisation conférée par la *méthode des plans d'expériences (MPE)*.

Ce terme désigne en définitive une méthodologie complète pour la caractérisation comportementale d'un système. Elle est basée sur la modification et la mesure des variables propres au dispositif considéré ; cela comprend principalement les grandeurs étudiées ainsi que leurs sources de variation. Elle permet de déterminer les relations existant entre ces 2 groupes de variables, en établissant les relations analytiques les liant. Suivant le type de ces modèles mathématiques, l'expérimentateur peut en déduire des informations plus ou moins précises, qualitatives ou quantitatives.

Les bases théoriques de cette démarche sont algèbro-statistiques. Elles donnent ainsi à la MPE les capacités de gérer les termes d'erreurs inhérents à l'existence de la variabilité expérimentale.

Les travaux de cette thèse s'inscrivent pleinement dans ce double contexte d'étude :

- les dispositifs électrotechniques sont modélisés informatiquement ;
- la méthode des plans d'expériences est utilisée pour étudier ces systèmes réels, par l'emploi des modèles correspondants.



Après un récapitulatif des définitions majeures entrant en compte dans tout problème d'optimisation, une présentation des aspects essentiels de la MPE sera proposée dans le chapitre 1.

Le contenu de cette première partie servira de base théorique aux développements exposés dans le chapitre suivant, où sont présentées différentes stratégies d'optimisation recourant à la MPE. Le principe de chaque méthode sera décrit et leur fonctionnement illustré.

Le troisième chapitre constitue la description du logiciel Sophemis. Cette application informatique, développée au cours de ces travaux, a été conçue pour automatiser et ainsi simplifier l'application de processus d'optimisation recourant aux expériences virtuelles. Sophemis constitue un outil précieux pour l'application des stratégies présentées au second chapitre.

Enfin, plusieurs exemples d'application de la MPE à l'optimisation de dispositifs électrotechniques sont décrits au quatrième chapitre. Ils mettent en œuvre l'ensemble des développements présentés dans les parties précédentes.