

## **INTRODUCTION GENARALE**

Le contrôle non destructif (CND) consiste à évaluer l'état d'un système, d'une structure ou d'un matériau sans l'endommager en vue d'établir un diagnostic. Les tests de CND sont pour la plupart fondés sur l'observation et l'exploitation d'un phénomène physique perturbé par la présence d'une anomalie ou d'une hétérogénéité. Les techniques utilisées sont diverses et dépendent de la nature même de la détection envisagée. Sur une large gamme de fréquence allant du quasi statique jusqu'aux micro-ondes, les ondes électromagnétiques permettent d'effectuer des contrôles non destructifs (milieu industriel) et non invasifs (milieu médical). C'est en effet à partir de variations locales des propriétés physiques que peuvent être détectés, localisés, voire identifiés, d'éventuels défauts au sein des matériaux industriels ou des tissus biologiques. Les applications de l'imagerie électromagnétique sont nombreuses : la détection de l'endommagement d'un élément de centrale nucléaire, la localisation de masses métalliques dans des structures en béton, la disposition de tuyaux enterrés, la détection de mines antipersonnel ou encore l'appréciation d'une évolution biologique [12].

Les techniques de CND sont très diverses dans leurs principe. Parmi les plus utilisées, on peut citer les ultrasons, les méthodes utilisant des rayons ionisants (rayon X ou gamma), le ressuage, la thermographie et les méthodes électromagnétiques (magnétoscopie, injection de courants, courant de Foucault).

Les phénomènes physiques sur lesquels repose chacune de ces techniques sont très différents et le choix de l'une d'entre elles dans une application dépend d'un certain nombre de paramètres, principalement : la nature des matériaux à contrôler, la nature de l'information recherchée (détection ou mesure, position et forme du défaut), l'environnement du contrôle, le type de contrôle à effectuer (contrôle en ligne, sur pièce mobile, possibilité de contact ou non) et le contexte économique (coût, ...). Pour que l'une de ces techniques soit appliquée, il est bien sûr nécessaire que les propriétés des matériaux à contrôler soient compatibles avec le phénomène physique mis en jeu par la méthode de CND choisie et que les grandeurs mesurées soient significatives afin d'être correctement interprétées [12].

Les méthodes électromagnétiques sont fréquemment utilisées (à une échelle moindre que les ultrasons qui représentent 50% des contrôles) pour le contrôle des pièces conductrices. Par exemple le contrôle de la pièce de fonderie peut se faire par magnétoscopie (industrie

automobile, industrie pétrolière). Les tubes peuvent être testés par courants de Foucault, soit en cours fabrication, soit lors des phases de maintenance, dans des secteurs aussi divers que la métallurgie, l'aéronautique, l'automobile, nucléaire... etc.

Ces méthodes donnent des résultats satisfaisants. Parmi celles-ci, les courants de Foucault occupent déjà une place importante et sont encore appelés à se développer. En effet, c'est une méthode facile à mettre en œuvre d'un point matériel, elle est aisément transportable et ne nécessite pas obligatoirement de contact (un léger entrefer est possible) avec la pièce à contrôler ni de produit annexe comme c'est le cas avec le ressuage, la magnétoscopie ou les ultrasons.

Le CND par courants de Foucault consiste à générer des courants induits par l'intermédiaire d'un capteur des champs électromagnétiques dans une pièce conductrice, ces courants doivent nous donner des informations sur les matériaux testés et leur géométrie, il n'est cependant pas possible d'y avoir accès expérimentalement. On passe donc par une grandeur annexe qui est la mesure de l'impédance globale de l'ensemble capteur/pièce conductrice [15].

La modélisation du contrôle par courants de Foucault se révèle être un outil précieux pour la compréhension des résultats expérimentaux, l'optimisation de sondes ou encore, la simulation de configurations ou de défauts difficiles à réaliser expérimentalement. Les logiciels de simulation existants actuellement sont fondés sur des techniques numériques. Ils nécessitent dans certaines situations une puissance et un temps de calcul et d'exploitation extrêmement élevés, en particulier, dans les structures à configurations complexes et lorsque les fréquences de travail sont relativement importantes. Les travaux de recherche entrepris dans ce domaine, ont pour objectif, la mise au point d'un ensemble de modèles directs simplifiés destinés à la modélisation du contrôle par courants de Foucault.

L'objectif de ce travail porte sur le développement de transformations mathématiques appliquées à des modèles de simulation des signaux par courant de Foucault. Il conviendra en effet d'étudier à l'aide de la technique des transformations conformes, comment il est possible de ramener un problème à configuration complexe, dont la modélisation est difficile, voire impossible, à un problème à configuration simple. La méthode des éléments finis est utilisée pour l'évaluation des grandeurs électromagnétiques. Le modèle de transformation bijective développé est appliqué à l'étude d'un système capteur-charge. La validité de ce modèle est vérifiée par comparaison des résultats obtenus avec ceux donnés par un calcul analytique.

Pour ce faire, notre mémoire est articulé autour de quatre chapitres décrits ci-dessous :

Le premier chapitre met en place les outils mathématiques nécessaire à l'objectif de notre travail. Il s'agit en particulier la présentation des équations de Maxwell ainsi que les formulations électromagnétiques nécessaires à la modélisation des dispositifs du CND, ainsi que la méthode des éléments finis choisie comme outil de résolution des équations aux dérivées partielles.

Le deuxième chapitre sera consacré à la description des principaux dispositifs existants et aux techniques du contrôle connues. Le code de calcul pour le CND, en l'occurrence **MESSINE**, basé sur un calcul purement analytique, sera décrit. Ensuite, nous proposons le protocole de comparaison entre un calcul numérique par la méthode des éléments finis et celui analytique à la base du code en question.

Nous traitons dans un troisième chapitre l'étude et le développement de transformations mathématiques dont le but d'implémenter une transformation bijective appliquée à des modèles de simulation des signaux par courant de Foucault.

L'annexe constitue une initiation et ouvre nos perspectives à l'étude des outils mathématiques pour la modélisation numérique en trois dimensions (3D), destinée au contrôle non destructif, ensuite les propriétés conservées par la transformation conforme seront récapitulées.