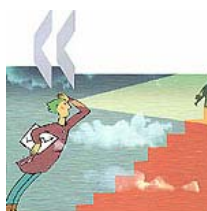


SYNTHESE ET PERSPECTIVES



- Les travaux que j'ai présentés dans ce rapport sont les plus significatifs auxquels j'ai participé durant ces dix dernières années. La synthèse de ces travaux permet de conclure sur les réalisations suivantes :

Sur le moteur Diesel, une problématique de contrôle optimal liée aux normes de pollution a bien été posée. Le problème a été résolu par diverses techniques d'optimisation et donne naissance à une stratégie de contrôle pouvant gérer sept actionneurs couplés et installés dans le circuit d'air et le circuit de carburant. La collaboration avec Renault et Delphi Systems a permis de valider les démarches utilisées.

En biomécanique, une méthodologie assez complexe a permis de créer un simulateur informatique capable de fournir en temps réel les tensions, les activations et les déformations au sein des muscles du bras lors d'un mouvement libre quelconque. Cette méthodologie a intégré la formulation d'un problème d'optimisation hautement non linéaire, la modélisation comportementale du muscle humain, la validation expérimentale par les signaux EMG (en collaboration avec l'université de Macdebourg) et l'apprentissage des résultats à un réseau de neurones.

Quant aux matériaux composites, notre travail sur un modèle d'homogénéisation analytique a validé les expériences menées au laboratoire ROBERVAL pour prédire les caractéristiques mécaniques et les propriétés de rupture des tissus orthogonales 3D et interlock 2.5D. Ce module est aussi intégré dans une procédure d'optimisation cherchant à proposer le meilleur tissage pour un meilleur compromis Coût/Design/Performances.

- En termes de perspectives strictement liées aux travaux présentés dans ce manuscrit, nous pouvons citer les points suivants:

Dans le chapitre 01, nous aurons à développer un outil de modélisation de la production des polluants réglementés CO, CO₂, (NO+NO_x) et les particules de masse. Le contrôle optimal devient une solution d'un compromis multi-objectif devant minimiser chaque polluant dans les limites imposées par les cycles d'essais normalisés. Une 2eme étude nous intéresse aussi sur le moteur Diesel portant sur l'optimisation dynamique de l'air à admettre dans le moteur afin de définir le bon outil de suralimentation. Des recherches dans cet axe portant sur la suralimentation étagée, électrique, hybride ou autres constituent des points de départ pour cette étude.

Outre la fonction minimisant les forces musculaires utilisée dans le chapitre 02. Il est indispensable d'évoluer vers un critère d'énergie pouvant minimiser aussi bien les tensions et les déformations pour un geste humain quelconque. Ce qui correspond mieux à la définition déjà optimale de l'humain. L'intégration, dans cette optimisation, des tendons dans le modèle du muscle est primordiale. Nous espérons étendre ce travail à l'échelle du membre supérieur et inférieur complet et développer par la suite des outils informatiques utiles pour la simulation virtuelle et l'aide à la décision dans la chirurgie musculaires.

La collaboration dans le domaine des composites (objet du Chapitre 03) et multi-couches a bien évolué. Nous cherchons à mettre en œuvre un outil de calcul pouvant d'une part réaliser l'homogénéisation analytique des stratifiés, tissus 2D et 3D, sandwich et sandwich renforcé par un tissage dans l'épaisseur et d'autre part, intégrer une composante permettant d'effectuer l'optimisation des tissus étudiés pour un cahier des charges donné. Ce cahier des charges doit regrouper les contraintes liées à l'utilisation mais aussi à la méthode de fabrication. Le problème est sans doute multi-objectif et multidisciplinaire.

- En parallèle, je me suis intéressé, de manière plus ponctuelle, à certains domaines connexes : Optimisation d'une frontière mobile pour les problèmes d'écoulement avec application à la modélisation d'un brise-lame flottant. Ce premier problème est multidisciplinaire : Il intègre la mécanique des fluides,

les vibrations de la structure, la mécanique des solides et la résistance des matériaux. Un deuxième problème connexe porte sur le jumelage de l'air comprimé, pour la production de l'énergie électrique sur les sites isolés, avec un dispositif hybride existant intégrant une éolienne et un alternateur Diesel. Ce second problème fait appel à l'optimisation multi-objectif pour réduire la consommation, réduire la pollution, maximiser la production de l'énergie et assurer un control optimal des divers composants du système. Ces deux problèmes font aussi appel à l'optimisation fiabiliste issue du caractère aléatoire de l'environnement (air ou marin) et du caractère aléatoire de la demande énergétique.

- La fin de cette rédaction me permet d'évaluer le chemin parcouru et de dessiner mieux mes perspectives scientifiques. Ma thématique de recherche, initialement ancrée dans la modélisation et le contrôle optimal du Diesel a vite évolué vers l'optimisation en génie mécanique et converge vers l'intégration d'outils plus performants destinés aux problèmes traités tels que l'optimisation stochastique, multi-objectif, et multidisciplinaire. A ces trois termes, je peux accoler le terme *interactif*, qui décrit une volonté d'intégrer l'expérience professionnelle dans la formulation d'un problème d'optimisation. Le défi important est de fournir les outils nécessaires pour supporter les intégrations des disciplines afin d'obtenir une meilleure conception pour une classe donnée de produits impliquant des équipes multidisciplinaires et multi-sites qui travaillent simultanément avec des environnements informatiques hétérogènes et distribués. La performance globale ne peut alors être obtenue que par la recherche de compromis sur des objectifs souvent antagonistes.

L'optimisation semble ainsi être une démarche correcte et une formulation ingénieuse convaincue de l'existence de la solution avant même de la démontrer mathématiquement. Ce domaine d'études offre de nombreuses possibilités pour développer des travaux de recherche tels que l'amélioration des méthodologies existantes d'optimisation multidisciplinaires, la proposition de nouvelles méthodologies interactives, la proposition de méthodes, d'indicateurs permettant de choisir une solution dans un ensemble de solutions optimales, . . .

L'avantage principal de l'optimisation multi-objectif est qu'elle ne requiert pas une décision à priori qui peut être prématurée et nuire à l'apparition de solutions innovantes plus performantes. La sortie du processus est un ensemble de solutions non dominées qui représente différentes alternatives. L'optimisation stochastique offre l'avantage d'un traitement mathématique simple associé à une convergence quasi assurée vers l'optimum global. L'optimisation multidisciplinaire reflète la quête de la meilleure performance, la meilleure qualité, le meilleur coût dans un milieu intégrant plusieurs axes de connaissance où le manque d'efficacité peut avoir de graves conséquences économiques ou opérationnelles. Ce dernier cas est d'ailleurs l'origine d'une nouvelle spécialité de plus en plus présente dans les universités et appelée : Mécatronique.

- Nos activités de recherche ont bénéficiés d'un bon équilibre entre la production personnelle, l'encadrement doctoral, les projets de collaboration et les développements d'outils. Cette dynamique scientifique n'était pas indépendante de son environnement universitaire et industriel principalement français et récemment canadien. La continuité d'interaction forte avec les évolutions et les besoins scientifiques et techniques, a permis d'entraîner, avec motivation, des jeunes chercheurs dans la voie de la recherche scientifique. Ces acquis scientifiques nous incitent à poursuivre, avec une très grande motivation, dans deux directions principales :

La première reflète l'ensemble des thématiques que nous venons de soulever dans cette synthèse. La deuxième est liée à la mise en œuvre de l'Ecole doctorale dans notre Faculté de Génie au Liban avec la procédure de création des laboratoires de recherche. Nous venons de déposer la demande permettant de mettre en fonction « le Laboratoire Méditerranéen de Mécatronique L2M » avec des équipes de recherche complémentaires issues de plusieurs pays méditerranéens: le Liban, la Syrie, la Jordanie, la Tunisie et la France. Les axes de recherches dans ce laboratoire sont profondément liés à la définition même de la Mécatronique qui est la combinaison synergique de l'ingénierie mécanique, électronique et informatique. L'intérêt de ce domaine interdisciplinaire est l'optimisation des systèmes hybrides complexes et intelligents du point de vue de l'ingénieur. Une approche globale permettant de réduire les coûts, d'augmenter la fiabilité et la modularité. Les axes de recherche de ce laboratoire seront ainsi : Optimisation des systèmes (Liban), Automatisation des systèmes complexes (Jordanie), Matériaux composites et matériaux intelligents (Syrie), Robotique et Biomécanique (Tunisie). Une collaboration étroite avec les laboratoires français, dans tous ces domaines, est largement indispensable.