

Sujet Thèse ministérielle

Titre Recherche de formalismes de modélisation unifiés EDO/EDP pour la conception optimisée des chaînes de conversion d'énergie		
Directeur de thèse	Nom	Jean-Christophe OLIVIER
	Email téléphone	Jean-christophe.olivier@univ-nantes.fr +33 (0)2 40 17 26 92
	Unité de recherche (avec sa labellisation)	IREENA (E4642) équipe Maitrise de l'Energie Electrique
	Unité de rattachement (Université, Ecole...)	IUT de Saint-Nazaire, université de Nantes
	Nombre de thèses en cours	4 (160%)
Co-encadrant	Nom	Guillaume WASSELYNCK
	Email téléphone	Guillaume.wasselynck@univ-nantes.fr
	Unité de recherche (avec sa labellisation)	IREENA (E4642) équipe Modélisation des Dispositifs Electromagnétiques
	Unité de rattachement (Université, Ecole...)	IUT de Saint-Nazaire, université de Nantes
	Nombre de thèses en cours	2 (60%)
Co-encadrant	Nom	Kien BUI
	Email téléphone	huu-kien.bui@univ-nantes.fr
	Unité de recherche (avec sa labellisation)	IREENA (E4642) équipe Modélisation des Dispositifs Electromagnétiques
	Unité de rattachement (Université, Ecole...)	IUT de Saint-Nazaire, université de Nantes
	Nombre de thèses en cours	1 (30%)

Résumé du sujet de la thèse (5 lignes)

Les transports et l'exploitation des énergies renouvelables font appel à des chaînes de conversion électromécaniques de plus en plus complexes et de natures multi-physiques. Or, la nature des organes à modéliser influence fortement la forme même de leur représentation et de leur modélisation. L'objectif de ce travail de thèse est donc d'aborder le problème de la modélisation couplée EDO/EDP et de la simulation numérique, sur des applications de chaînes de conversion d'énergie, en essayant de tenir compte fidèlement des interactions entre les différents organes (électrique, magnétique, thermique, mécanique, vieillissement,...).

Descriptif du sujet de thèse (2 pages au maximum)

Recherche de formalismes de modélisation unifiés EDO/EDP pour la conception optimisée des chaînes de conversion d'énergie

Les nouvelles technologies de l'énergie électrique font appel à des chaînes de conversion complexes et multi-physiques. Un système multi-physique est généralement décrit par des dynamiques très variées, liées aux différents phénomènes physiques modélisés. De même, la nature du dispositif à modéliser influence fortement la forme même de sa représentation et de sa modélisation. Ainsi, alors que le comportement dynamique du convertisseur de puissance peut être représenté par un jeu d'équations différentielles ordinaires (EDO) ou algébriques (DAE), son modèle thermique peut quant à lui nécessiter des modélisations basées sur des équations aux dérivées partielles (EDP). Il en va de même pour la modélisation des inductances, transformateurs et machines électriques, qui peuvent en plus recourir à des couplages forts inter-domaines (par exemple électromagnétique-thermique-mécanique).

Il se trouve que ces problèmes de modélisation couplée EDO/EDP ne sont pas nouveaux. Un certain nombre d'études existent et visent essentiellement à rechercher des formulations de couplage aptes à faciliter le travail du solveur numérique [1,2,3]. Dans [4], un travail important d'analyse et de formulation des problèmes EDP est proposé, en vue de coupler des composants décrits par de simples EDO (composants passifs par exemples) avec des composants semiconducteurs plus complexes, modélisés à partir d'EDP. Dans [1] et [2], la modélisation couplée est appliquée à la simulation temporelle de cellules organiques et à la circulation sanguine.

Pour chacun de ces travaux, les méthodes mises en œuvre sont fortement liées à la nature des problèmes abordés. En ce sens, il ne semble pas y avoir de travaux portant spécifiquement les méthodes de couplage EDO/EDP appliquées à aux chaînes de conversion d'énergie électromécaniques et à leurs singularités. Plus précisément, si le couplage entre un convertisseur de puissance et un système électromagnétique peut trouver des réponses opérationnelles dans les études précédemment citées, il n'en reste pas moins que le problème de simulation numérique de ces systèmes, avec de très grandes disparités dans les échelles de temps mises en jeu, nécessitent encore un travail important que nous nous proposons d'aborder dans ce projet de thèse.

Ainsi, nous aborderons le problème de la modélisation et de la simulation des chaînes de conversion électromécaniques en essayant, comme nous avons déjà pu le faire par le passé [5], de limiter les efforts de reformulation en nous consacrant uniquement à décrire sans *a priori* les différents phénomènes physiques et leurs couplages. Nous chercherons alors à proposer des méthodes de simulation adaptées à ces problèmes multi-physiques et multi-domaines. Enfin, nous validerons les outils développés sur des cas type de chaînes conversions, en tenant compte simultanément de phénomènes électriques, magnétiques, mécaniques et thermiques, et en essayant même de tenir compte de la CEM du convertisseur, ou du vieillissement des organes les plus fragiles.

Ce projet transverse reposera sur les compétences complémentaires des deux équipes du laboratoire IREENA, en tentant notamment de coupler la vision « système » propre aux activités de l'équipe MEE, avec la vision plus « physique » de l'équipe MDE.

Bibliographie

[1] Quarteroni, A., & Veneziani, A. (2003). Analysis of a geometrical multiscale model based on the coupling of ODE and PDE for blood flow simulations. *Multiscale Modeling & Simulation*, 1(2), 173-195.

[2] Gerecht, D. (2015). *Adaptive Finite Element Simulation of Coupled PDE/ODE Systems Modeling Intercellular Signaling* (Doctoral dissertation).

[3] Tang, S., & Xie, C. (2011). Stabilization for a coupled PDE–ODE control system. *Journal of the Franklin Institute*, 348(8), 2142-2155.

[4] Tischendorf, C. (2003). Coupled systems of differential algebraic and partial differential equations in circuit and device simulation. *Modeling and numerical analysis*.

[5] Hmam, S., Olivier, J.C., Bourguet, S., Loron, L (2017). Efficient multirate simulation techniques for multi-physics systems with different time scales: application on an all-electric ferry design. *IET Electrical Systems in Transportation* 7 (1), 23-31.

Government PhD Thesis

Title : Unified modeling formalisms of EDO / EDP for optimal design of power systems		
PhD Supervisor	Nom	Jean-Christophe OLIVIER
	Email téléphone	Jean-christophe.olivier@univ-nantes.fr +33 (0)2 40 17 26 92
	Unité de recherche (avec sa labellisation)	IREENA (E4642) équipe Maitrise de l'Energie Electrique
	Unité de rattachement (Université, Ecole...)	IUT de Saint-Nazaire, université de Nantes
	Nombre de thèses en cours	4 (160%)
PhD co-supervisor	Nom	Guillaume WASSELYNCK
	Email téléphone	Guillaume.wasselynck@univ-nantes.fr
	Unité de recherche (avec sa labellisation)	IREENA (E4642) équipe Modélisation des Dispositifs Electromagnétiques
	Unité de rattachement (Université, Ecole...)	IUT de Saint-Nazaire, université de Nantes
	Nombre de thèses en cours	2 (60%)
PhD co-supervisor	Nom	Kien BUI
	Email téléphone	huu-kien.bui@univ-nantes.fr
	Unité de recherche (avec sa labellisation)	IREENA (E4642) équipe Modélisation des Dispositifs Electromagnétiques
	Unité de rattachement (Université, Ecole...)	IUT de Saint-Nazaire, université de Nantes
	Nombre de thèses en cours	1 (30%)

Summary of thesis

The transport and exploitation of renewable energies implies increasingly complex electromechanical conversion chains of multi-physical nature. Now, the nature of the organs to be modeled strongly influences the form of their representation and their modeling. The objective of this thesis is therefore to address the problem of ODE / PDE coupled modeling and numerical simulation, on applications of energy conversion chains, while trying to take into account the interactions between the different physical domain (electrical, magnetic, thermal, mechanical, aging, ...).

Thesis subject description

Unified modeling formalisms of EDO / EDP for optimal design of power systems

The new energy technologies make use of complex and multi-physical conversion chains. Such multi-physics systems are generally described by very wide scales of dynamics and are related to the different physical phenomena to be modeled. Likewise, the nature of the device to be modeled strongly influences the form of its representation. Thus, while the dynamic behavior of the power converter can be represented by a set of ordinary differential equations (ODE) or algebraic equations (DAE), its thermal model can require models based on partial differential equations (PDE). It is the same case for the modeling of inductors, transformers and electrical machines, which can in addition resort to strong inter-domain couplings (for example electromagnetic-thermal-mechanical).

It turns out that these coupled ODE / PDE modeling problems are not new. A large number of studies exist and aim essentially at looking for coupling formulations able to facilitate the work of the numerical solver [1,2,3]. In [4], an important work of analysis and formulation of PDE problems is proposed, with a view to coupling components described by simple EDOs (passive components for example) with more complex semiconductor components, modeled from EDP. In [1] and [2], coupled modeling is applied to the temporal simulation of organic cells and blood circulation.

For each of these works, the methods implemented are strongly related to the nature of the addressed problems. In this sense, there does not seem to be any work specifically dealing with the ODE / PDE coupling methods applied to electromechanical energy conversion chains and their singularities. Moreover, if the coupling between a power converter and an electromagnetic system can find operational responses in the studies mentioned above, the fact remains that the problem of numerical simulation of these systems, with very great disparities in the time scales, still require an important work that we propose to address in this thesis project.

Thus, we will tackle the problem of the modeling and the simulation of electromechanical conversion chains by trying, as we have already done in the past [5], to limit reformulation efforts by dedicating ourselves solely to describing without *a priori* the different physical phenomena and their couplings. We will then try to propose simulation methods adapted to these multi-physical and multi-domain problems. Finally, we will validate the tools developed on typical cases of conversion chains, taking into account simultaneously electrical, magnetic, mechanical and thermal phenomena, and even trying to take into account the EMC of the converter, or the aging of the most weak devices.

This transversal project will rely on the complementary skills of the two teams of the IREENA laboratory, in particular by trying to couple the "system" vision specific to the activities of the team "Management of the Electrical Energy" team, with the more "physical" vision of the team "Modeling of Electromagnetic systems".

Bibliography

- [1] Quarteroni, A., & Veneziani, A. (2003). Analysis of a geometrical multiscale model based on the coupling of ODE and PDE for blood flow simulations. *Multiscale Modeling & Simulation*, 1(2), 173-195.
- [2] Gerecht, D. (2015). *Adaptive Finite Element Simulation of Coupled PDE/ODE Systems Modeling Intercellular Signaling* (Doctoral dissertation).
- [3] Tang, S., & Xie, C. (2011). Stabilization for a coupled PDE–ODE control system. *Journal of the Franklin Institute*, 348(8), 2142-2155.
- [4] Tischendorf, C. (2003). Coupled systems of differential algebraic and partial differential equations in circuit and device simulation. *Modeling and numerical analysis*.
- [5] Hmam, S., Olivier, J.C., Bourguet, S., Loron, L (2017). Efficient multirate simulation techniques for multi-physics systems with different time scales: application on an all-electric ferry design. *IET Electrical Systems in Transportation* 7 (1), 23-31.