# Proposition du projet innovation entrepreneuriat Simulation et contrôle des structures thermoélastiques pour applications spatiales

3 juin 2022

Dans l'industrie aérospatial l'étude de l'impact thermique sur la partie structurelle à une importance cruciale. Les avions supersonique (le premier Lockheed SR-71 Blackbird datant du 1966) ont été le premier défi technologique pour le quelle la prise em compte effets thermiques était nécessaire. Le revêtement d'isolation thermique ont été introduit dans la conceptions des turbomachines pour pouvoir résister à des conditions des températures extrêmes. Pour les véhicules spatiaux les systèmes de protection thermique sont indispensables soit pur les opérations en orbite et surtout pour faire face à la rentrée atmosphérique. Le couplage thermoélastique peut aussi induire des micro-vibrations, lorsque un satellite traverse une transition jour/nuit. Les vibrations peuvent affecter la précision du système du pointage, en dégradant les performances.

Dans une phase de modélisation préliminaire il est donc importante pouvoir quantifier les efforts l'impact du champs thermique sur la partie structurelle. Pour ça plusieurs approches sont envisageables avec des différent niveaux des complexités [1] :

1. couplage complet ;
2. problème découple : la production de chaleur du à la déformation mécanique est négligé ;
3. couplage quasi-statique : les termes d'inertie sont négligés mais le couplage est gardé ;
4. problème découplé quasi statique ;
5. problème stationnaire (le problème thermique est donc automatiquement découplé).

Dans le cadre de ce projet on s'intéresse à la simulation et au contrôle du problème dynamique thermoélastique à l'aide d'une modélisation port-Hamiltonien [2, 3, 4, 5]. La première étape consistera à formuler le problème thermoélastique comme système port-Hamiltonien en s'appuyant sur des modèles thermoélastique classiques [6, 7, 8]. Il sera en suite important de évaluer l'importance du couplage en comparant le problème couplé et découple. Pour cela des méthodes de discrétisations récentes seront utilisés [9]. L'implémentation numérique s'appuiera sur des libraires existants (FEniCS [10], Firedrake [11]), qui faciliteront la tache d'obtenir un système discret. Une fois que les modèles discrets seront validés, la réduction du modèle et le contrôle pourront être étudie [12, 13, 14].

Le livrables de ce projet consisteront en Jupiter Notebook, qui permettront de montrer la validité de l'implémentation numérique sous-jacent. Il est donc importante que plusieurs compétences (mathématique numérique, informatique, physique) soient réunis au sein de l'équipe.

# Références


[1] Erasmo Carrera, Fiorenzo A. Fazzolari, and Maria Cinefra. *Thermal Stress Analysis of Beams, Plates and Shells*. Academic Press, Oxford, 2017.

[2] A. Brugnoli, D. Alazard, V. Pommier-Budinger, and D. Matignon. Port-Hamiltonian formulation and symplectic discretization of plate models. Part II : Kirchhoff model for thin plates. *Applied Mathematical Modelling*, 2019. arXiv preprint :1809.11136.

[3] A. Brugnoli, D. Alazard, V. Pommier-Budinger, and D. Matignon. Port-Hamiltonian formulation and symplectic discretization of plate models. Part I : Mindlin model for thick plates. *Applied Mathematical Modelling*, 2019. arXiv preprint :1809.11131.

[4] A. Serhani, D. Matignon, and G. Haine. Anisotropic heterogeneous $n$-d heat equation with boundary control and observation : I. Modeling as port-Hamiltonian system. *3rd IFAC workshop on Thermodynamical Foundation of Mathematical Systems Theory (TFMST)*, 2019. Accepted for publication.

[5] A. Serhani, D. Matignon, and G. Haine. Anisotropic heterogeneous $n$-d heat equation with boundary control and observation : II. Structure-preserving discretization. *3rd IFAC workshop on Thermodynamical Foundation of Mathematical Systems Theory (TFMST)*, 2019. Accepted for publication.

[6] Scott W. Hansen and Bing-Yu Zhang. Boundary control of a linear thermoelastic beam. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 210(1) :182 – 205, 1997.

[7] Dilberto da S. Almeida Júnior, M. L. Santos, and J. E. Muñoz Rivera. Stability to 1-D thermoelastic timoshenko beam acting on shear force. *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik*, 65(6) :1233–1249, Dec 2014.

[8] G. Avalos and I. Lasiecka. Boundary controllability of thermoelastic plates via the free boundary conditions. *SIAM Journal on Control and Optimization*, 38(2) :337–383, 2000.

[9] F. L. Cardoso-Riberio, D. Matignon, and Lefèvre L. A partitioned finite element method for power-preservingdiscretization of open systems of conservation laws. arXiv preprint :1906.05965, 2019.

[10] A. Logg, K. A. Mardal, G. N. Wells, et al. *Automated Solution of Differential Equations by the Finite Element Method*. Springer, 2012.

[11] F. Rathgeber, D.A. Ham, L. Mitchell, M. Lange, F. Luporini, A. T.T. McRae, G.T. Bercea, G. R. Markall, and P.H.J. Kelly. Firedrake : automating the finite element method by composing abstractions. *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*, 43(3) :24, 2017.

[12] SA. Hauschild, N. Marheineke, and V. Mehrmann. Model reduction techniques for linear constant coefficient port-hamiltonian differential-algebraic systems. arXiv preprint :1901.10242, 2019.

[13] S. P. Nageshrao, G. A. D. Lopes, D. Jeltsema, and R. Babuka. Port-Hamiltonian systems in adaptive and learning control : A survey. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 61(5) :1223–1238, May 2016.

[14] Romeo Ortega and Eloísa García-Canseco. Interconnection and damping assignment passivity-based control : A survey. *European Journal of Control*, 10(5) :432 – 450, 2004.

[15] W. Nowacki. Problems of thermoelasticity. *Progress in Aerospace Sciences*, 10 :1 – 63, 1970.

[16] Donald E. Carlson. Linear thermoelasticity. In C. Truesdell, editor, *Linear Theories of Elasticity and Thermoelasticity : Linear and Nonlinear Theories of Rods, Plates, and Shells*, pages 297–345. Springer, Berlin, Heidelberg, 1973.

[17] Ron Lifshitz and Michael L Roukes. Thermoelastic damping in micro-and nanomechanical systems. *Physical review B*, 61(8) :5600, 2000.

[18] Antonino Favata. A beam theory consistent with three-dimensional thermo-elasticity. *Mathematics and Mechanics of Solids*, 21(4) :426–443, 2016.