

# Méthode patch non-linéaire et applications à la simulation de l'environnement spatial

**Antoine BRUNET**, ONERA-DESP

**Pierre SARRAILH**, ONERA-DESP

**François ROGIER**, ONERA-DTIM

**Jean-François ROUSSEL**, ONERA-DESP

**Denis PAYAN**, CNES

De nombreux enjeux industriels et scientifiques, tels que la mitigation des risques électrostatiques et la performance des instruments de mesure scientifique à bord des engins spatiaux, reposent sur l'étude du couplage satellite-environnement. Depuis 2005, l'ONERA développe, en partenariat avec l'agence spatiale européenne (ESA) et le CNES, un code open-source de simulation de l'interaction plasma-satellite nommé *Spacecraft Plasma Interaction System* (SPIS) [?]. Ce logiciel, utilisé par de nombreux acteurs scientifiques et industriels, présente des limitations techniques rendant impossible la résolution d'éléments de taille inférieure au millimètre dans la simulation d'un satellite classique. De tels éléments, notamment des interconnecteurs présents sur les générateurs solaires des satellites, jouent un rôle important sur la charge du satellite. Nous avons donc développé une méthode de résolution multiéchelle qui sera mise en place dans SPIS.

La méthode éléments finis dite *patch* [?] est une méthode particulièrement flexible de décomposition de domaine, qui permet en particulier de calculer la solution d'un problème elliptique sur un maillage grossier adjoint d'un ou plusieurs maillages locaux raffinés appelés *patches*.

Nous avons étendu cette méthode à une classe de problèmes non linéaires. La méthode patch non linéaire développée est similaire à la méthode *Newton-MG* [?], mais n'impose presque aucune contrainte sur les géométries des maillages utilisés. Une preuve de convergence locale a été réalisée, validant l'intérêt de la méthode.

Un code de démonstration sur maillage 2D structuré a été développé, pour appliquer la méthode patch non linéaire à la résolution du problème de *Poisson-Boltzmann* qui modélise le plasma spatial autour d'un interconnecteur de générateur solaire chargé négativement. Les résultats des simulations montrent que la convergence de la méthode est comparable à celle d'une méthode de Newton classique sur un maillage raffiné. Nous montrons également que la solution obtenue est suffisamment précise pour mesurer des grandeurs physiques d'intérêt, telles que les courants collectés par l'interconnecteur.

## Références

- [1] J-F. ROUSSEL et al., *SPIS open-source code: Methods, capabilities, achievements, and prospects*, IEEE Transactions on Plasma Science, 36(5):2360–2368, October 2008.
- [2] ROLAND GLOWINSKI et al., *Approximation of multi-scale elliptic problems using patches of finite elements*, Comptes Rendus Mathématique, 337(10):679–684, November 2003.
- [3] K.J. BRABAZON et al., *Nonlinear multigrid methods for second order differential operators with nonlinear diffusion coefficient*, Computers and Mathematics with Applications, 68(12):1619–1634, December 2014.

**Antoine BRUNET**, ONERA/DESP, 2 Avenue Édouard Belin, Toulouse Cedex 4 31055, France  
antoine.brunet@onera.fr

**Pierre SARRAILH**, ONERA/DESP, 2 Avenue Édouard Belin, Toulouse Cedex 4 31055, France  
pierre.sarrailh@onera.fr

**François ROGIER**, ONERA/DTIM, 2 Avenue Édouard Belin, Toulouse Cedex 4 31055, France  
francois.rogier@onera.fr

**Jean-François ROUSSEL**, ONERA/DESP, 2 Avenue Édouard Belin, Toulouse Cedex 4 31055, France  
jean-francois.rousseau@onera.fr

**Denis PAYAN**, Centre spatial de Toulouse, 18 avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9, France  
denis.payan@cnes.fr