

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Etude théorique et développement d'une méthode de maillage en hexaèdres par partitionnement

Référence : **SNA-DTIS-2025-05**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2025

Date limite de candidature : Octobre 2025

Mots clés

Maillage, résolution des équations aux dérivées partielles, analyse géométrique

Profil et compétences recherchées

Master 2 Université ou école d'ingénieur spécialisé en Mathématiques Appliquées et calcul scientifique

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

La plupart des schémas numériques utilisés pour la simulation sont basés sur une discrétisation (le maillage) du domaine de calcul englobant la scène que l'on souhaite modéliser. Les différents schémas connus se basent alors sur un type de maillage donné présentant un intérêt propre : Différences Finies sur maillages cartésiens pour la simplicité et l'efficacité, Eléments Finis sur maillages conformes (triangles ou tétraèdres) pour la bonne représentation des objets, méthodes isoparamétriques sur maillages courbes pour le rendu d'effets proches près de parois complexes, Volumes Finis ou Galerkin Discontinu sur maillages non-structurés et conformes pour introduire des raffinements locaux... Les outils de générations de maillage pour les codes de simulation numérique se sont alors grandement développés. Pour autant, au sein d'une même famille de schémas il est possible d'obtenir des résultats extrêmement différents, aussi bien en qualité qu'en efficacité, selon les fonctions de base choisies et donc selon les éléments utilisés. Ainsi, sur un certain nombre de schémas haute précision (Galerkin discontinu, éléments finis d'ordre élevés, différences finies spectrales...) on observe que les fonctions de bases définies sur quadrilatères en 2D, ou hexaèdres en 3D, présentent d'excellentes propriétés. Toutefois, si la génération de maillages symplectiques (triangles ou tétraèdres) est très développée depuis plus d'un demi-siècle, celle de quadrilatères ou d'hexaèdres est plus problématique.

Plusieurs méthodes « full hexa » pratiques existent déjà. Citons par exemple les Tet2Hexa découpant chaque cellule d'un maillage tétraédrique en hexaèdres, l'avancée de front créant un maillage volumique progressivement par extrusion des frontières elles-mêmes maillées en quadrilatères, ou encore les méthodes dites de pavage cherchant à produire des paramétrisations tensorielles locales sur des patches recouvrant la scène. Du point de vue des objectifs de performances pour les codes présentés précédemment, ces différentes méthodes produisent de nombreuses zones de raccords autour d'un même nœud et ne permettent pas, ou quasiment pas, de gérer de manière efficace la forme des éléments générés. La méthode sur laquelle nous souhaitons travailler est basée sur la construction d'un partitionnement du domaine obtenu par résolution d'une équation aux dérivées partielles. Elle permet alors de générer des champs de trames (« frame fields ») qui « orientent » l'espace et sont utilisés comme base de la construction des partitions.

L'objectif de cette thèse est de développer, théoriquement et numériquement, une nouvelle méthode de maillage de scènes 3D en hexaèdres basée à la fois sur l'utilisation des équations aux dérivées partielles et sur la géométrie. Notre but est de proposer un nouveau cadre pour la construction de maillages « full hexa » (ie constitués uniquement d'hexaèdres et de quadrilatères) qui puissent améliorer l'utilisation des schémas numériques développés à l'ONERA sur éléments hexaédriques. Plus précisément, nous nous intéressons au développement d'une méthode de partitionnement de la scène en régions à 6 côtés qui peuvent alors être aisément subdivisées pour obtenir le maillage final. Les contraintes de performances des codes numériques (CFL, conditionnement...) dépendant de la déformation des éléments, ce type de méthode de maillage permettra de contrôler la forme des cellules en jouant sur le partitionnement produit. En outre, la nature « bloc-structuré » du maillage obtenu est une source de grand gains de performances pour des codes

exploitant cette structure (comportement de type différences finies dans les zones, raccords simples entre zones).

Dans une thèse récente nous avons étudié cette méthode pour le maillage de surfaces en quadrilatères et donné un cadre théorique autour de l'utilisation des champs de croix (« cross fields »), équivalents 2D des champs de trames, ainsi qu'un ensemble d'algorithmes de partitionnement à partir d'un champ de croix donné et établi les premières démonstrations de l'obtention du maillage en quadrilatères par ceux-ci. Nous souhaitons donc étendre ce travail théorique et numérique au traitement des volumes.

Tout ce travail pourra faire l'objet soit de validation sur des codes simulation propres, soit d'une étude conjointe avec des équipes d'autres départements de l'ONERA développant des codes utilisés dans des études et dans l'industrie (en électromagnétisme, acoustique, mécanique des fluides, mécanique...) afin de mettre en valeur les résultats obtenus et les apports de cette thèse sur des configurations complexes.

Collaborations envisagées

Laboratoire de Mathématiques Appliquées à l'Aéronautique et au Spatial (LMA2S) et autres départements de l'Onera.

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Traitement de l'Information et Systèmes

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Contact : Vincent Mouysset

Tél. : 05-62-25-26-72 Email :
vincent.mouysset@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Vincent Mouysset

Laboratoire : ONERA

Tél. : 05-62-25-26-72

Email : vincent.mouysset@onera.fr

Co-Directeur de thèse

Nom : Xavier Ferrières

Laboratoire : ONERA

Tél. : 05-62-25-28-02

Email : xavier.ferrieres@onera.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>