



Sujet de thèse

Visualisation in-situ de données volumiques de simulations numériques à grande échelle

Unité d'accueil : Université de Strasbourg, Laboratoire ICube, équipe IGG (Informatique Géométrique et Graphique).

Direction : [Jean-Michel Dischler](mailto:dischler@unistra.fr), Professeur (dischler@unistra.fr)

Encadrement : [Jonathan Sarton](mailto:sarton@unistra.fr), Maître de Conférence (sarton@unistra.fr)

Date de démarrage : Septembre/Octobre 2023 au plus tard

Mots clés : Volume rendering, high performance/in-situ visualization, large-scale simulation

Compétences nécessaires :

- Visualization
- Volume data
- GPU programming
- HPC

Contexte et motivations :

L'accès à des machines de calcul de plus en plus performantes permet aux scientifiques de simuler des phénomènes de plus en plus complexes. Cependant, les simulations numériques à grande échelle produisent des données complexes par leur dimension et par leur caractéristiques géométrique, topologique et physique. Concrètement, de telles simulations peuvent générer des maillages volumiques multi-variés de grande dimension spatiale à chaque pas de temps. De plus ces maillages peuvent être non-structurés, d'ordre élevé, hétérogènes, avec des cellules non convexes, des faces non planaires etc.

D'un autre coté, les méthodes de visualisation modernes sont indispensables à plusieurs étapes des simulations numériques : conception, validation... La visualisation efficace de données volumiques est aujourd'hui possible avec l'**algorithme de lancer de rayon sur GPU** offrant de bonnes performances pour une bonne qualité de rendu. Cependant les algorithmes de **visualisation interactive et in-situ** doivent s'adapter à la complexité des données issues des simulations numériques à grande échelle. La mémoire des GPUs est toujours trop limitée et leur architecture parallèle SIMD n'est pas adaptée pour des données complexes non-structurées. De plus, les approches de visualisation in-situ proposées dans la littérature scientifique ne sont pas adaptées à des environnements HPC ayant des capacités de stockage en mémoire vive inférieur à l'ensemble des données d'une simulation.

Dans ce contexte, il est nécessaire de s'intéresser à l'**évolution des algorithmes de visualisation interactive et in-situ** de manière à ce qu'il soit capable de fournir une abstraction de la complexité et de la taille des données en entrée. Ces verrous sont au cœur du projet ANR [LUM-Vis](#) porté par l'équipe IGG du laboratoire ICube qui finance cette thèse.

Objectifs de la thèse :

L'objectif de cette thèse est de s'attaquer aux verrous scientifiques qui viennent d'être exposés, en s'inscrivant **au carrefour du rendu et du HPC** pour la visualisation scientifique dans le domaine applicatif de la simulation numérique.

A partir d'un état de l'art qui couvre i) la **visualisation de grilles volumiques non-structurées**, ii) la **visualisation de grands volume de données** et iii) la **visualisation in-situ**, les objectifs identifiés sont les suivants :

- S'intéresser aux différentes étapes d'échantillonnage, d'interpolation et de classification du **rendu volumique direct sur GPU** afin de proposer une méthode permettant un rendu performant [1, 8] en fournissant une visualisation fidèle au degré de précision des simulations numériques [6, 7].
- Explorer les possibilités de visualisation interactive de grands volumes de données dynamiques en **environnement HPC** en s'appuyant sur la combinaison de méthodes de **rendu out-of-core** [2, 3] et de **méthodes in-situ** [4, 5]. Il faudra considérer l'évolution dans le temps des données à visualiser, aussi bien en terme de changement topologique, géométrique et dans le(s) champ(s) scalaire/vectorel. Cet objectif couvrira aussi des aspects de rendu parallèle et distribué.

Environnement de travail :

La thèse se déroulera au laboratoire des sciences de l'Ingénieur, de l'Informatique et de l'Imagerie ([ICube](#)) de l'Université de Strasbourg. La/le candidat.e sera intégré.e à l'équipe d'Informatique Géométrique et Graphique ([IGG](#)). De plus, avec l'appui des partenaires impliqués dans le projet LUM-Vis, nous aurons l'avantage durant cette thèse, d'avoir accès à :

- **des données réelles** issues de simulation numériques en provenance du laboratoire de mathématique avancé de Strasbourg ([IRMA](#)) et du commissariat à l'énergie atomique ([CEA](#)), ainsi que l'appui direct des chercheurs en charge du développement de ces simulations.
- des ressources permettant des tests de grande envergure via les **plateformes de calcul** ([ROMEO](#)) **et de visualisation** ([CENTRE IMAGE](#)) de la maison de la simulation de l'université de Reims Champagne-Ardenne.

Durant la thèse, il sera également possible de participer à des missions d'enseignement, soit à l'[UFR de mathématique et d'informatique](#) de Strasbourg, soit au département informatique de l'[IUT Robert Shuman](#) à Illkirch.

References :

[1] N. Morrical, W. Usher, I. Wald, et V. Pascucci, « Efficient Space Skipping and Adaptive Sampling of Unstructured Volumes Using Hardware Accelerated Ray Tracing », *arXiv:1908.01906 [cs]*, août 2019

[2] J. Sarton, N. Courilleau, Y. Remion, et L. Lucas, « Interactive Visualization and On-Demand Processing of Large Volume Data: A Fully GPU-Based Out-of-Core Approach », *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 26, n° 10, p. 3008-3021, oct. 2020, doi: [10.1109/TVCG.2019.2912752](https://doi.org/10.1109/TVCG.2019.2912752).

[3] J. Sarton, Y. Remion, et L. Lucas, « Distributed Out-of-Core Approach for In-Situ Volume Rendering of Massive Dataset », in *High Performance Computing*, Cham, 2019, p. 623-633. doi: [10.1007/978-3-030-34356-9_47](https://doi.org/10.1007/978-3-030-34356-9_47).

- [4] J. Kress *et al.*, « Comparing the Efficiency of In Situ Visualization Paradigms at Scale », in *High Performance Computing*, Cham, 2019, p. 99-117. doi: [10.1007/978-3-030-20656-7_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20656-7_6).
- [5] H. Childs *et al.*, « A terminology for in situ visualization and analysis systems », *The International Journal of High Performance Computing Applications*, p. 1094342020935991, août 2020, doi: [10.1177/1094342020935991](https://doi.org/10.1177/1094342020935991).
- [6] M. Üffinger, S. Frey, et T. Ertl, *Interactive High-Quality Visualization of Higher-Order Finite Elements*. 2010.
- [7] B. Nelson, E. Liu, R. M. Kirby, et R. Haines, « ElVis: A System for the Accurate and Interactive Visualization of High-Order Finite Element Solutions », *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 18, n° 12, p. 2325-2334, déc. 2012, doi: [10.1109/TVCG.2012.218](https://doi.org/10.1109/TVCG.2012.218).
- [8] P. Muigg, M. Hadwiger, H. Doleisch, et E. Groller, « Interactive Volume Visualization of General Polyhedral Grids », *IEEE Trans. Visual. Comput. Graphics*, vol. 17, n° 12, p. 2115-2124, déc. 2011, doi: [10.1109/TVCG.2011.216](https://doi.org/10.1109/TVCG.2011.216).
- [9] J. Beyer, M. Hadwiger, et H. Pfister, « State-of-the-Art in GPU-Based Large-Scale Volume Visualization », *Computer Graphics Forum*, vol. 34, n° 8, p. 13-37, 2015, doi: <https://doi.org/10.1111/cgf.12605>.