Visualisation multirésolution de résultats de simulations

En raison de la complexité et de la quantité croissante des données issues des chaînes de simulation du CEA - DAM, les techniques traditionnelles de visualisation scientifique sont mises en défaut. Dans ce contexte, une approche par hiérarchisation des données est proposée afin de construire une représentation multirésolution permettant la visualisation interactive et un transfert progressif d'une grande quantité de données.

F. Vivodtzev CEA - CESTA

Les efforts de recherche en modélisation et en simulation ont nécessité la création de modèles multiphysiques complexes définis sur des maillages toujours plus fins. Dans certains domaines comme en électromagnétisme, ces données sont caractérisées par des couches minces de matériaux et de nombreuses sous-structures comme des antennes ou des fils.

La simplification volumique par contraction itérative d'arêtes du maillage est une technique permettant d'alléger la visualisation. La difficulté de cette technique réside dans le maintien de l'intégrité des modèles lors de la simplification qui doit préserver (*i*) la géométrie et la topologie du domaine 3D (*ii*) les données issues de la simulation ainsi que (*iii*) la géométrie et la topologie des sous-structures imbriquées.

Basé sur des résultats en topologie algébrique, un algorithme robuste est proposé dans le but de déterminer si une arête d'un maillage tétraédrique peut être contractée sans changer ni la topologie du maillage ni celle de toutes ses sous-structures imbriquées.

Notions de topologie algébrique

Les notions de topologie utilisées dans ces travaux sont introduites dans [1], illustrée dans [2]. Le domaine sous-jacent au maillage est représenté par un espace topologique et sa discrétisation par un complexe simplicial. Ce dernier est un ensemble particulier de cellules (sommets, segments, triangles, tétraèdres) appelées simplexes. Les complexes simpliciaux peuvent être comparés à l'aide d'applications simpliciales construites à partir d'une association de sommets. Pour assurer que deux complexes simpliciaux sont homéomorphes et ont la même topologie, nous cherchons des subdivisions isomorphes de ces complexes. La preuve est réalisée par vérification de certaines conditions au voisinage des arêtes à contracter en utilisant au niveau des simplexes les notions de faces, co-faces, étoilés, liens, ordres, frontières...

Un théorème de préservation de la topologie utilisant des conditions du lien et démontré dans [3] garantit que deux complexes simpliciaux, avant et après contraction, ont la même topologie sous certaines conditions. Bien que largement utilisées dans d'autres méthodes [4], ces conditions ne tiennent pas compte d'éventuels sous-complexes imbriqués.

Afin de prendre en compte correctement les sous-structures, l'algorithme propose d'étendre le complexe simplicial d'origine par un cône de simplexes entre un sommet fictif et l'ensemble des sous-structures surfaciques et linéiques, comme illustré sur la **figure 1**. De ce fait, les sous-structures, dans *le complexe étendu*, seront représentées implicitement par des simplexes d'un ordre plus élevé. Avec cette construction modifiant le complexe initial, le théorème de préservation de la topologie [3] s'applique à condition de l'évaluer dans une série de complexes de dimensions décroissantes [5].

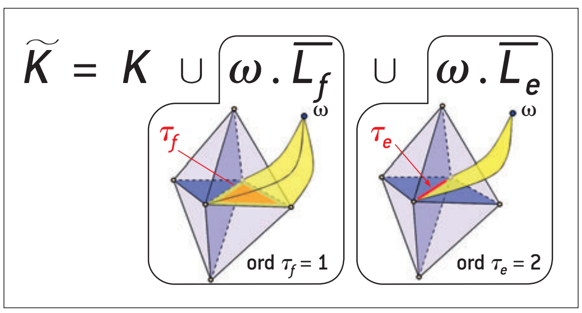

Figure 1. Construction du complexe étendu : les simplexes en rouge correspondent aux sous-structures imbriquées et en jaune ceux du complexe étendu.

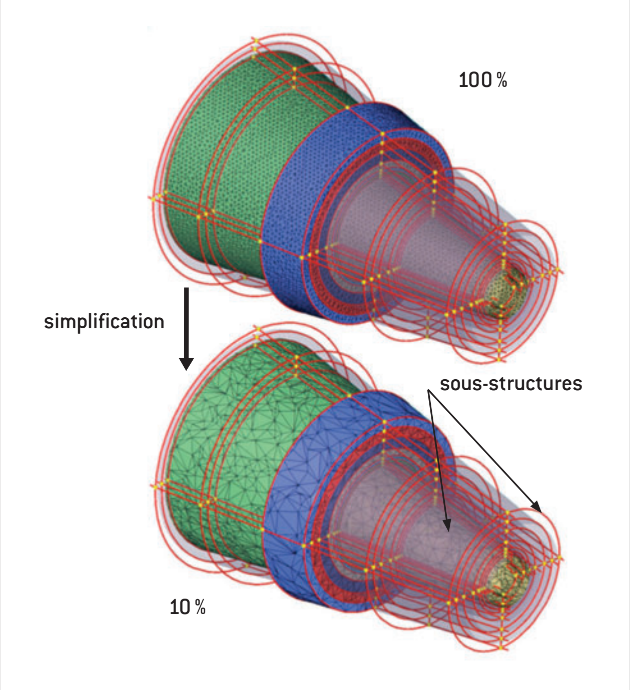

Figure 2. Simplification de 90 % des sommets avec préservation de la topologie d'un modèle composé de multiples sous-structures linéiques et d'interfaces.

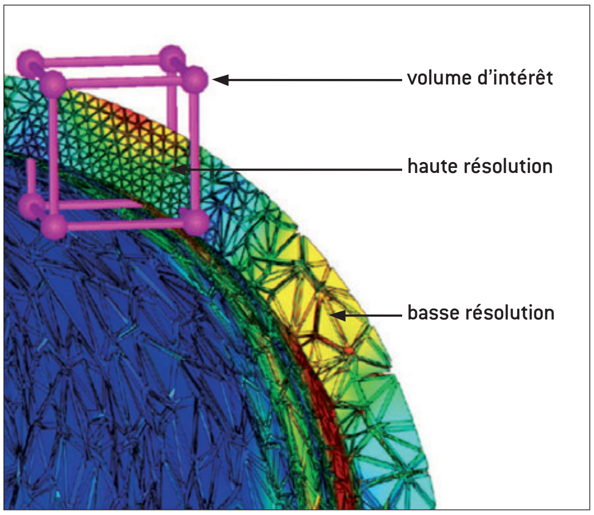

Figure 3. Visualisation multirésolution d'un résultat d'une simulation en électromagnétisme sur une fine couche de matériau.

Applications en visualisation multirésolution

La **figure 2** illustre la simplification d'un maillage pour une simulation en électromagnétisme. L'objet est composé d'une vingtaine de fines couches de matériaux encapsulées les unes dans les autres et possédant des structures filaires. Après suppression de 90 % des sommets avec la méthode proposée, la topologie des interfaces, des structures linéiques et de leurs multiples intersections est conservée.

Afin de fournir un système de visualisation interactif possédant tous les avantages du critère de préservation de la topologie, l'algorithme a été couplé à une librairie multirésolution. Cette librairie appelée MT (*Multi-Tesselation*) fournit les outils nécessaires pour construire une représentation multirésolution depuis une séquence de simplifications valides. L'outil ainsi développé permet à un utilisateur de naviguer dans un maillage volumique à basse résolution tout en le raffinant localement dans un certain volume d'intérêt (**figure 3**).

Conclusion

L'exploitation de grands résultats de calcul nécessite des techniques de visualisation avancées comme la multirésolution avec préservation de la topologie présentée dans ces travaux. La complexité des données multiphysiques et des maillages manipulés impose des techniques robustes garantissant la pertinence des visualisations.

RÉFÉRENCES

[1] **J. MUNKRES,** "Elements of algebraic topology", Perseus publishing, Cambridge (1984).

[2] **F. VIVODTZEV, G.-P. BONNEAU, P. LE TEXIER,** "Topology Preserving Simplification of 2D Non-Manifold Meshes with Embedded Structures", The Visual Computer, **21(8)**, Springer-Verlag, Heidelberg (2005).

[3] **T. DEY, H. EDELSBRUNNER, S. GUHA, D. NEKHAYEV,** "Topology preserving edge contraction", *Publications de l'Institut de Mathématiques*, Beograd, **66(80)**, p. 23-45 (1999).

[4] **P. CIGNONI, D. COSTANZA, C. MONTANI, C. ROCCHINI, R. SCOPIGNO,** "Simplification of tetrahedral volume with accurate error evaluation", Proceedings IEEE Visualization '00, p. 85-92, (2000).

[5] **F. VIVODTZEV, G.-P. BONNEAU, S. HAHMANN, H. HAGEN,** "Substructure Topology Preserving Simplification of Tetrahedral Meshes", Topology in Visualization, Springer Mathematics and Visualization, Heidelberg (2009).