

Quelques problématiques liées à la visualisation de résultats de simulation en géosciences

Jean Louis Pajon, Thomas Jgenti, Philippe Delaplace, Sébastien Schneider

Résumé—Le but de cette présentation est d'évoquer quelques-unes des problématiques rencontrées lorsque l'on cherche à visualiser des résultats de simulation en géosciences. Nous aborderons principalement deux sujets, la nécessité de prendre en compte un grand nombre de types de maillages et le besoin de disposer d'outils pour évaluer la qualité des données et en particulier celle des grilles de simulation.

1 Introduction

Dans cette présentation, nous souhaitons mettre en avant quelques-unes des nombreuses problématiques liées à la visualisation de résultats de simulation en géosciences. Actuellement, la plupart des données proviennent de logiciels de simulation de réservoir pétrolier et de reconstitution à travers les âges de bassins sédimentaires. Les données d'entrée et de sortie des simulateurs peuvent faire l'objet de multiples manipulations, vérifications et explorations visuelles dans un même environnement qui permet aussi de lancer les simulations. Parmi les vérifications à effectuer, il y a celles qui concernent la qualité des maillages. Une littérature importante a été consacrée au sujet. On citera en particulier le travail sur la librairie *Verdict* [2]. Mais nous commencerons par rappeler les différents types de maillages qui doivent être pris en compte.

2 Multiplicité des types de maillages

Les logiciels de simulation en géologie utilisent de nombreux types de maillages, depuis les plus simples comme les grilles cartésiennes régulières statiques utilisées en sismique jusqu'aux plus élaborées utilisées pour décrire des géométries dynamiques complexes en modélisation de bassins sédimentaires. Un outil de visualisation doit être capable de prendre en compte tous ces types et offrir des fonctionnalités analogues dans ces différentes situations. Les maillages peuvent être structurés ou non. Même les maillages structurés sont souvent atypiques, ils peuvent présenter des discontinuités pour prendre en compte les failles géologiques. Par ailleurs ces maillages peuvent être raffinés soit statiquement soit dynamiquement, dans le cas par exemple où la simulation utilise des techniques de type AMR (adaptive mesh

refinement). On distingue au moins deux manières de considérer les maillages non-structurés. Soit on considère que l'on a un nombre fini de types de mailles que l'on peut énumérer, soit on considère qu'il en existe un nombre indéfini et dans ce cas, plus général, on considère que chaque maille est un polyèdre quelconque constitué d'un nombre quelconque de faces, chaque face ayant un nombre quelconque de sommets. Dans le premier cas on se limite à un nombre prédéfini de types de mailles telles que tétraèdre, hexaèdre, prisme, pyramide, etc. La table 1 résume la situation pour les cas les plus courants. La donnée des sommets suffit à créer chaque maille. Il n'est pas utile de décrire les faces. Les faces sont connues dès que l'on connaît le type de la maille. Bien que ce mécanisme économise la mémoire, il a ses limites, il ne permet pas de décrire tout type de maille.

3 Visualisation des défauts dans les maillages

Les données à visualiser ou à traiter dans les simulations peuvent comporter des défauts qu'il faut savoir détecter et si possible corriger. Parmi ces défauts certains affectent les maillages. On distinguera deux types de défauts, ceux qui ne permettent pas de définir le maillage correctement et ceux qui peuvent nuire à la qualité des simulations calculées sur ces maillages. Dans la première catégorie on peut citer en particulier les mailles de volume nul voire négatif ou encore les mailles en partie *retournées* dites aussi *papillons* que l'on peut détecter en calculant l'intersection éventuelle de chacune des faces d'une maille avec les autres faces (ou du moins celles qui ne lui sont pas adjacentes). Pour calculer si deux faces d'une maille s'intersectent, on décompose ces faces en triangles et l'on calcule l'intersection des couples triangle-triangle ainsi obtenus grâce à l'algorithme décrit dans l'article [1]. On retiendra donc deux premiers critères :

- 1) Volume d'une maille
- 2) Nombre de faces d'une maille qui intersectent d'autres faces de la maille

- Jean Louis Pajon: IFPEN
E-mail: jean-louis.pajon@ifpen.fr.
- Thomas Jgenti: IFPEN
E-mail: thomas.jgenti@ifpen.fr.
- Philippe Delaplace: IFPEN
E-mail: philippe.delaplace@club-internet.fr.
- Sébastien Schneider: IFPEN
E-mail: sebastien.schneider@ifpen.fr.

Citons en outre quelques autres critères très utiles :

- 1) Longueur minimale des arêtes d'une maille
- 2) Aire minimale des faces d'une maille
- 3) Convexité d'une maille
- 4) Planarité des faces d'une maille
- 5) Rapport de forme
- 6) Volume d'une maille par rapport aux volumes des mailles voisines
- 7) Longueurs DX, DY, DZ d'une maille

Le rapport de forme se calcule en décomposant chaque maille en tétraèdres et en calculant pour chaque tétraèdre le rapport du rayon de la sphère inscrite sur celui de la sphère circonscrite. Il s'agit d'un critère déterminant pour évaluer la qualité d'un maillage. Ce rapport ne doit pas être trop faible, de manière à éviter les mailles quasiment plates de type sliver.

Ces critères donnent lieu à des propriétés qui sont calculées pour toutes les mailles. Par exemple, dans le cas du maillage de la Figure 1 les cellules papillons sont visualisées sur la Figure 2. La table 2 détaille certaines de ces cellules auto-intersectantes. La table des couleurs permet de visualiser le nombre de faces intersectées. Dans le cas de l'hexaèdre, ce nombre est compris entre 1 et 6.

4 Autres problématiques

Sans pouvoir être exhaustifs, voici quelques autres problématiques qu'il faut prendre en compte.

4.1 Extraction de la partie visible d'une grille

Toutes les faces de toutes les mailles d'une grille ne peuvent être visualisées à la fois. Il faut déterminer interactivement en cours d'affichage toutes les faces d'une grille qui constituent son enveloppe et qui seront donc potentiellement visibles (sans prendre en compte le point de vue). Un certain nombre d'algorithmes offrant différents degrés d'optimisation ont été développés pour effectuer cette extraction aussi bien pour les grilles structurées que non-structurées. Ce calcul est dynamique car il change en fonction des cellules sélectionnées grâce à différents critères de filtrage comme par exemple le choix d'un sous-ensemble de valeurs dans l'ensemble des valeurs d'une propriété.

4.2 Visualisation simultanée de plusieurs propriétés

Il peut être utile de visualiser plusieurs propriétés simultanément sur une même grille, par exemple les proportions d'huile, de gaz et d'eau contenues dans la partie poreuse des mailles. Dans ce cas, il est possible par exemple d'utiliser une palette de couleur ternaire (Fig. 3) pour faire correspondre une couleur (R, G, B) à chaque triplet (Q_g , Q_o et Q_w) dont la somme vaut 1. La *luminosité* de la couleur permettra quant à elle d'exprimer la présence d'une quatrième composante comme la mousse qui est injectée dans un réservoir pour pousser l'huile vers les puits de production.

4.3 Visualisation sur tablette tactile

Une expérimentation est en cours pour explorer les possibilités de visualisation 3D offertes par les tablettes tactiles. L'application réalisée contribuera à la formation des futurs géologues en proposant d'examiner le résultat d'une simulation d'écoulement numérique sur un affleurement analogue lors de stages d'étude sur le terrain.

4.4 Visualisation à distance

La visualisation sur tablette peut être associée à un mécanisme de transfert de données à partir de bases de données distantes. Un travail est en cours pour compresser les données ainsi transférées [3].

5 Conclusion

Nous avons présenté succinctement quelques-unes des nombreuses problématiques liées à la visualisation de données de simulation en géosciences. Les utilisateurs souhaitent disposer de nombreuses possibilités pour comprendre les résultats de calcul et aussi pour évaluer la qualité des données et en particulier celles des maillages. Un travail important de recherche, d'expérimentation et de mise en œuvre est nécessaire pour leur apporter toujours plus de fonctionnalités dans un environnement qui reste convivial.

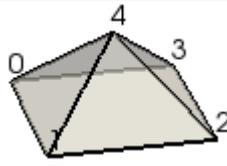
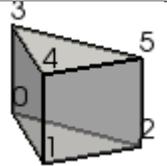
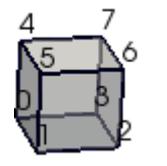
Remerciements

Les auteurs aimeraient remercier les nombreuses personnes qui ont contribué à réaliser la plateforme OpenFlow (principalement en Java) qui sert de base aux expérimentations qui sont décrites dans cet article. Nous remercions aussi tous les chercheurs avec lesquels nous avons échangé sur différents sujets dont la qualité des maillages et plus particulièrement Laurent Astart, Stéphane de Chaisemartin, Julien Coatleven, Julien Coulet, Christophe Cornet, Thomas Crabié, Christophe Delage, Isabelle Faille, Jean-Marc Gratien, Pascal Havé, Anthony Michel, Olivier Ricois, Jean-François Rainaud, Adrien Roussel, Quang Huy Tran et Françoise Willien.

Références

- [1] T. Möller, "A fast triangle-triangle intersection test", in *Journal of graphics tools*, 1997, vol. 2, no. 2, pp. 25-30.
- [2] P.P. Pébay, D.C. Thompson, J. Shepherd, P. Knupp, C. Lisle, V.A. Magnotta, and N.M. Grosland, "New Applications of the Verdict Library for Standardized Mesh Verification. Pre, Post, and End-to-End Processing", in *16th International Meshing Roundtable*, 2007, pp. 535-552.
- [3] J.L. Peyrot, L. Duval, S. Schneider, F. Payan, M. Antonini, "(H)EXASHRINK : Multiresolution compression of large structured hexahedric meshes with discontinuities in geosciences", in *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2016.

TABLE 1
Quelques types de mailles dans les maillages non-structurés

Type	Sommets	Faces
Tetraèdre		0 2 1 0 3 2 0 1 3 1 2 3
Pyramide		0 3 2 1 0 4 3 0 1 4 1 2 4 2 3 4
Prisme		0 1 2 0 3 5 2 0 1 4 3 3 4 5 1 2 5 4
Hexaèdre		0 3 2 1 0 4 7 3 0 1 5 4 4 5 6 7 1 2 6 5 2 3 7 6

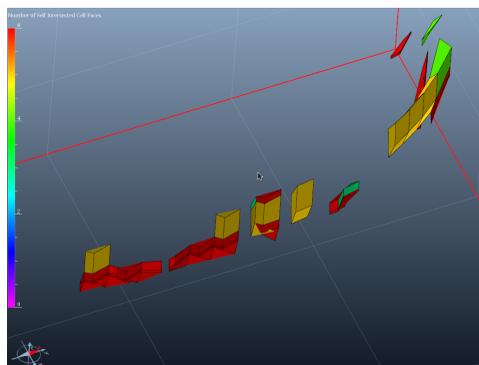


FIGURE 2. Visualisation des cellules papillons

TABLE 2
Cas particuliers de cellules papillons

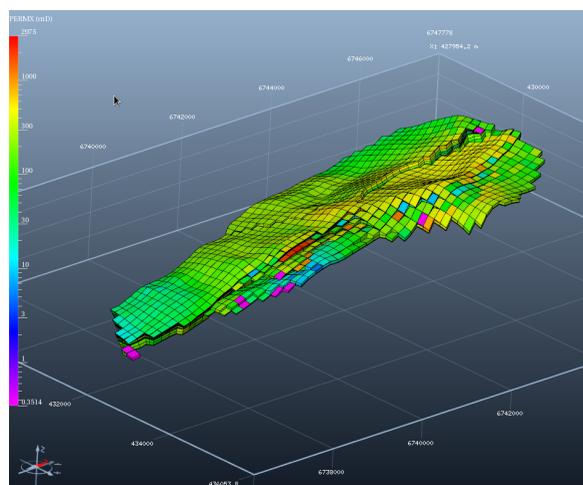
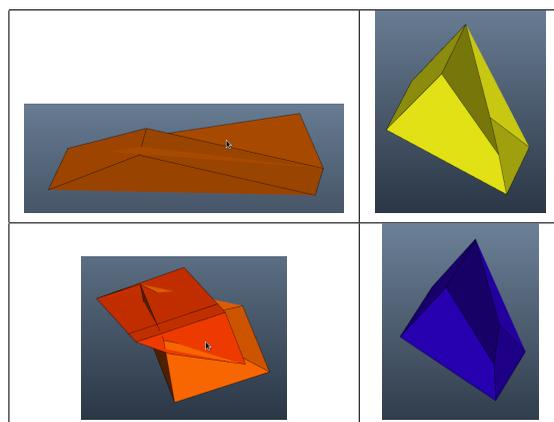


FIGURE 1. Maillage d'un réservoir pétrolier (Alwyn) avec comme propriété la perméabilité en X

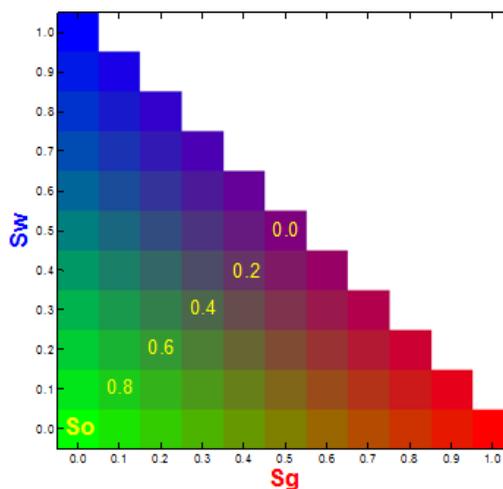


FIGURE 3. Table de couleur ternaire