

# Visualisation de Données de Simulations Numériques de la Digitation Visqueuse

Visualizing Ensembles of Viscous Fingers

Guillaume Favelier, Charles Gueunet, Julien Tierny

**English Abstract**—This paper is a shorter version of [1]. It presents a topological data analysis framework based on persistent homology and Morse complexes for the visualization and analysis of ensemble data-sets representing viscous fingers. Our approach quantitatively corroborates the classical description of viscous fingers. A systematic analysis across several data resolutions indicates converging statistics as the resolution increases.

## 1 INTRODUCTION

La digitation visqueuse est un phénomène bien connu dans le domaine de la mécanique des fluides. Elle se produit à l'interface entre deux fluides de viscosités différentes et est caractérisée par la formation d'un motif en forme de doigt. La digitation visqueuse peut être décomposée en trois différentes phases.

Durant le déclenchement, l'interface entre les deux fluides est plane.

Pendant le mûrissement, les motifs en forme de doigts apparaissent et les doigts les plus larges vont accélérer et grandir plus vite que les doigts les plus petits.

Les doigts atteignent la limite du domaine à la phase de terminaison. Dans cette phase, les deux fluides se mélangent et les motifs en forme de doigts disparaissent.

## 2 PROCÉDURE D'ANALYSE DES DONNÉES

Nous présentons une procédure d'analyse du phénomène de digitation visqueuse sur des jeux de données obtenus dans le cadre du concours de visualisation scientifique de 2016 [3]. Ces données sont sous forme de nuages de points (Fig. 1a) évoluant dans un domaine cylindrique et dans le temps et où chaque point de l'espace est valué par la concentration en sel et la vitesse du fluide.

Dans un premier temps, on calcule l'interpolation volumétrique de ces particules sur une grille régulière. Puis on découpe cette dernière en cylindre afin de respecter la forme originelle du domaine. A ce stade, on obtient un maillage tétraédrique,

ce qui nous donne accès à un plus grand nombre d'algorithmes d'analyses.

Par la suite, on sépare le sel qui se dissout de l'eau en appliquant un seuillage sur la concentration à une valeur empirique (Fig. 1b).

On considère comme candidats à être des doigts les maxima locaux de la fonction de distance géodésique depuis le haut du domaine. Mais comme cette méthode introduit énormément de bruit, on utilise la simplification par valeur de persistance de l'arbre de contour [2] afin de filtrer les maxima locaux et garder ceux ayant les plus fortes valeurs de persistance (Fig. 1c).

Enfin, depuis l'extrémité de chaque doigt on calcule une fonction de distance géodésique (Fig. 1d) telle que chaque sommet du maillage sera étiqueté par son doigt le plus proche. En théorie, la segmentation obtenue correspond aux cellules du complexe de Morse (Fig. 1e).

Un doigt détecté à l'instant  $t$  sera connecté au doigt à l'instant  $t + 1$  qui maximise le volume de leur intersection (Fig. 1f). Quand tous les pas de temps sont traités, un doigt dispose d'un identifiant unique.

## 3 RESULTATS ET DISCUSSION

L'implémentation de notre plateforme d'analyse est en C++. Les tâches de traitements sont architecturées comme des filtres VTK [5] et proviennent du Topology Tool Kit [6]. L'interface utilisateur de notre système est basée sur des greffons ParaView [4].

Nous analysons l'évolution de la descente du sel en dissolution en observant la coordonnée  $z$  des doigts détectés. Ainsi, les trois phases sont clairement visibles.

Nous fournissons de même des statistiques globales dans la Figure 3 où nous présentons toutes les courbes de toutes les simulations à toutes les résolutions, chaque résolution avec une couleur différente. On remarque que chaque résolution peut facilement être

- Guillaume Favelier: UPMC, CNRS, LIP6  
E-mail: guillaume.favelier@lip6.fr.
- Charles Gueunet: Kitware, UPMC, CNRS, LIP6  
E-mail: charles.gueunet@kitware.com.
- Julien Tierny: UPMC, CNRS, LIP6  
E-mail: julien.tierny@lip6.fr.

distinguée des autres car les courbes d'une même résolution tendent à se regrouper. De plus, le fait que le groupe formé par les simulations de la moyenne résolution est toujours compris entre les deux autres semble indiquer que la simulation converge.

## 4 CONCLUSION

Nous montrons que l'analyse topologique fournit les outils permettant de réduire les données brutes en des structures d'intérêt que l'on peut filtrer et analyser au cours du temps.

Nous montrons également qu'il est possible de transformer ParaView, par l'ajout de greffons logiciels, en une plate-forme spécifiquement adaptée au domaine d'étude.

## REFERENCES

- [1] G. Favelier, C. Gueunet, and J. Tierny. Visualizing Ensemble of Viscous Fingers. *IEEE SciVis Contest*, 2016.
- [2] C. Gueunet, P. Fortin, and J. Tierny. Contour forests: Fast multi-threaded augmented contour trees. *IEEE LDAV*, 2016.
- [3] IEEEVIS. Scientific visualization contest. <http://www.uni-kl.de/sciviscontest/>, 2016.
- [4] Kitware. Paraview. <http://www.paraview.org>, 2016.
- [5] Kitware. The Visualization Tool Kit (vtk). <http://www.vtk.org>, 2016.
- [6] J. Tierny, G. Favelier, J. Levine, C. Gueunet, and M. Michaux. The Topology Tool Kit (ttk). Technical report, UPMC, <https://topology-tool-kit.github.io/>, 2017.

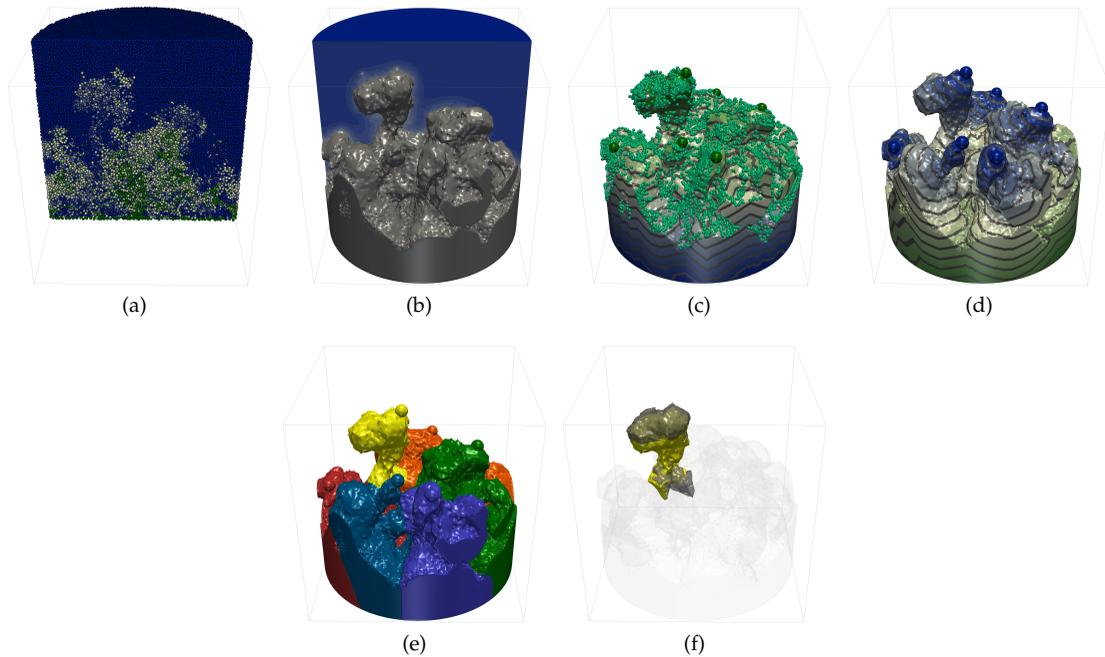


Fig. 1: Vue d'ensemble de la procédure d'analyse des données. (a) Les données exploitées sont des particules dans un domaine cylindrique. (b) Le sel qui se dissout est isolé de l'eau par seuillage et nous récupérons la plus grande composante connexe (en gris). (c) Les maxima locaux de la fonction de distance géodésique depuis le haut du domaine représentent des candidats à être identifiés comme doigts (petites sphères en vert clair). Après simplification par persistance de l'arbre de contour, nous récupérons les structures d'intérêt qui sont en fait les extrémités des doigts (sphères en vert foncé). (d) Fonction de distance géodésique depuis l'extrémité de chaque doigt  $f_t$ . (e) Complexe de Morse de la fonction  $f_t$ . (f) Chaque doigt à l'instant  $t$  (e.g. ici en jaune) est associé au doigt à l'instant  $t + 1$  qui maximise le volume de leur intersection (e.g. ici en noir transparent).

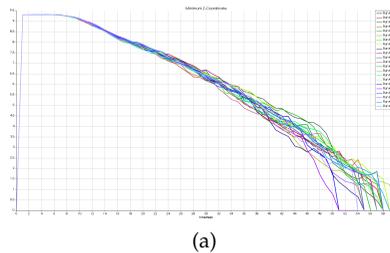


Fig. 2: Au déclenchement (pas de temps inférieur à 10), le sel demeure dans le haut du domaine. Durant la phase de mûrissement (pas de temps compris entre 10 et 50-60), les doigts descendent progressivement dans le domaine. Et finalement, toutes les courbes atteignent la limite du domaine dans la même fenêtre de temps.

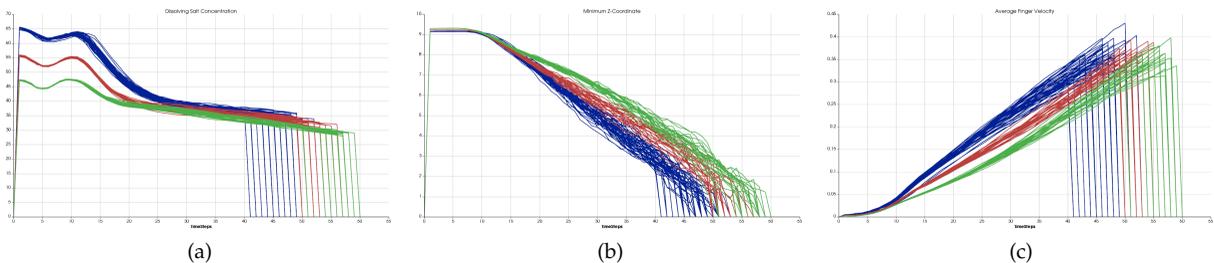


Fig. 3: Statistiques globales en fonction du temps pour la résolution haute (en vert), la résolution moyenne (en rouge) ainsi que la résolution basse (en bleu). Le groupe de courbes correspondant à la résolution moyenne est toujours compris entre les deux autres groupes, ce qui indique une possible convergence de la simulation alors que la résolution augmente.