

Simulation Numérique de *l'Effet de Cheerios*

BRAUN-DELVOYE Baptiste et ÇAN Erdi

Sorbonne Université, CMI Mécanique

6 décembre 2022



Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Motivation
- 3 Modélisation de l'Effet de Cheerios
- 4 Méthodes Utilisées
- 5 Algorithme du code
- 6 Résultats
- 7 Conclusion

Introduction

Motivation

Erdi aime trop la mécanique des fluides. Vous lui avez refusé son idée, on a pris cela à la place

Modélisation de l'Effet de Cheerios

Méthodes Utilisées

Algorithme du code

Résultats

Conclusion

Références I

- [1] F. CRIVELLI, "The Störmer-Verlet method," , p. 14, 8 mai 2008.
- [2] R. P. AGARWAL, K. PERERA et S. PINELAS, *An Introduction to Complex Analysis*. New York : Springer, 2011, 331 p., ISBN : 978-1-4614-0194-0.
- [3] F. BOWMAN, *Introduction to Bessel functions / by Frank Bowman*, eng. New York : Dover Publications, 1958, ISBN : 0-486-60462-4.
- [4] G. K. BATCHELOR, *An introduction to fluid dynamics / by G.K. Batchelor,...* (Cambridge mathematical library), eng. Cambridge New York : Cambridge University Press, 2000, ISBN : 0-521-66396-2.

Références II

- [5] R. BENZI, S. SUCCI et M. VERGASSOLA, "Introduction to the Lattice Boltzmann Equation for Fluid Dynamics," in *Relaxation in Complex Systems and Related Topics*, sér. NATO ASI Series, I. A. CAMPBELL et C. GIOVANNELLA, éd., Boston, MA : Springer US, 1990, p. 329-334, ISBN : 978-1-4899-2136-9. DOI : 10.1007/978-1-4899-2136-9_45. adresse : https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2136-9_45 (visité le 03/10/2022).
- [6] D. CHAN, J. HENRY et L. WHITE, "The interaction of colloidal particles collected at fluid interfaces," *Journal of Colloid and Interface Science*, t. 79, n° 2, p. 410-418, fév. 1981, ISSN : 00219797. DOI : 10.1016/0021-9797(81)90092-8. adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0021979781900928> (visité le 29/11/2022).

Références III

- [7] N. CHARLTON, "Drawing and Animating Shapes with Matplotlib," (s. d.),
adresse : <https://nickcharlton.net/posts/drawing-animating-shapes-matplotlib.html> (visité le 16/11/2022).
- [8] K. D. DANOV, R. DIMOVA et B. POULIGNY, "Viscous drag of a solid sphere straddling a spherical or flat surface," *Physics of Fluids*, t. 12, n° 11, p. 2711, 2000, ISSN : 10706631. DOI : 10.1063/1.1289692. adresse :
<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/pof2/12/11/10.1063/1.1289692> (visité le 29/11/2022).

Références IV

- [9] H. N. DIXIT et G. M. HOMSY, "Capillary effects on floating cylindrical particles," *Physics of Fluids*, t. 24, n° 12, p. 122 102, déc. 2012, ISSN : 1070-6631, 1089-7666. DOI : 10.1063/1.4769758. adresse : <http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.4769758> (visité le 29/11/2022).
- [10] D.-x. FENG et A. V. NGUYEN, "Contact angle variation on single floating spheres and its impact on the stability analysis of floating particles," *Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineering Aspects*, t. 520, p. 442-447, mai 2017, ISSN : 09277757. DOI : 10.1016/j.colsurfa.2017.01.057. adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927775717300948> (visité le 29/11/2022).

Références V

- [11] M. A. FORTES, "Attraction and repulsion of floating particles," *Canadian Journal of Chemistry*, t. 60, n° 23, p. 2889-2895, 1^{er} déc. 1982, ISSN : 0008-4042, 1480-3291. DOI : 10.1139/v82-414. adresse : <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/v82-414> (visité le 29/11/2022).
- [12] W. GIFFORD et L. SCRIVEN, "On the attraction of floating particles," *Chemical Engineering Science*, t. 26, n° 3, p. 287-297, mars 1971, ISSN : 00092509. DOI : 10.1016/0009-2509(71)83003-8. adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0009250971830038> (visité le 29/11/2022).

Références VI

- [13] J. B. KELLER, "Surface tension force on a partly submerged body," *Physics of Fluids*, t. 10, n° 11, p. 3009-3010, nov. 1998, ISSN : 1070-6631, 1089-7666.
DOI : 10.1063/1.869820. adresse :
<http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.869820> (visité le 29/11/2022).
- [14] P. A. KRALCHEVSKY et K. NAGAYAMA, "Capillary interactions between particles bound to interfaces, liquid films and biomembranes," *Advances in Colloid and Interface Science*, t. 85, n° 2-3, p. 145-192, mars 2000, ISSN : 00018686. DOI : 10.1016/S0001-8686(99)00016-0. adresse :
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0001868699000160> (visité le 29/11/2022).

Références VII

- [15] J. .-. LOUDET, M. QIU, J. HEMAUER et J. J. FENG, “Drag force on a particle straddling a fluid interface : Influence of interfacial deformations,” *The European Physical Journal E*, t. 43, n° 2, p. 13, fév. 2020, ISSN : 1292-8941, 1292-895X. DOI : 10.1140/epje/i2020-11936-1. adresse : <http://link.springer.com/10.1140/epje/i2020-11936-1> (visité le 29/11/2022).

Références VIII

- [16] E. H. MANSFIELD, H. R. SEPANGI et E. A. EASTWOOD, "Equilibrium and mutual attraction or repulsion of objects supported by surface tension," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, t. 355, n° 1726, p. 869-919, 15 mai 1997, ISSN : 1364-503X, 1471-2962. DOI : 10.1098/rsta.1997.0049. adresse : <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.1997.0049> (visité le 29/11/2022).

Références IX

- [17] A. MARCHAND, J. H. WEIJS, J. H. SNOEIJER et B. ANDREOTTI, "Why is surface tension a force parallel to the interface?" *American Journal of Physics*, t. 79, n° 10, p. 999-1008, oct. 2011, ISSN : 0002-9505, 1943-2909. DOI : 10.1119/1.3619866. adresse : <http://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.3619866> (visité le 29/11/2022).
- [18] J. C. MAXWELL, *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, 1^{re} éd., W. D. NIVEN, éd. Cambridge University Press, 20 jan. 2011, ISBN : 978-1-108-01538-7. DOI : 10.1017/CB09780511710377. adresse : <https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9780511710377/type/book> (visité le 29/11/2022).

Références X

- [19] M. M. NICOLSON, "The interaction between floating particles," *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, t. 45, n° 2, p. 288-295, avr. 1949, ISSN : 0305-0041, 1469-8064. DOI : 10.1017/S0305004100024841. adresse : https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0305004100024841/type/journal_article (visité le 29/11/2022).
- [20] "Calculateur de Tension Superficielle d'une Aiguille é Flottante é Hydraulique Fluides Convertisseurs d'unités En Ligne," (s. d.), adresse : <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/fr-FR/calculator/surface-tension/> (visité le 07/11/2022).

Références XI

- [21] “Compressible Lattice Boltzmann Method and Applications | SpringerLink,” (s. d.), adresse : https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-11842-5_3 (visité le 01/10/2022).
- [22] *Computational Physics*. s. d. adresse : <https://link-springer-com.accesdistant.sorbonne-universite.fr/book/10.1007/978-3-319-00401-3> (visité le 01/12/2022).

Références XII

- [23] T. ONDARÇUHU, P. FABRE, E. RAPHAËL et M. VEYSSIÉ, "Specific properties of amphiphilic particles at fluid interfaces," *Journal de Physique*, t. 51, n° 14, p. 1527-1536, 1990, ISSN : 0302-0738. DOI : 10.1051/jphys:0199000510140152700. adresse : <http://www.edpsciences.org/10.1051/jphys:0199000510140152700> (visité le 29/11/2022).
- [24] J. ONISHI, A. KAWASAKI, Y. CHEN et H. OHASHI, "Lattice Boltzmann simulation of capillary interactions among colloidal particles," *Computers & Mathematics with Applications*, t. 55, n° 7, p. 1541-1553, avr. 2008, ISSN : 08981221. DOI : 10.1016/j.camwa.2007.08.027. adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0898122107006463> (visité le 29/11/2022).

Références XIII

- [25] REDUCIBLE, director, *Building Collision Simulations : An Introduction to Computer Graphics*, 19 jan. 2021. adresse : https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=eED4bSkYCB8&ab_channel=Reducible (visité le 03/10/2022).
- [26] F. BOWMAN, *Introduction to Bessel functions / by Frank Bowman*, eng. New York : Dover Publications, 1958, ISBN : 0-486-60462-4.
- [27] N. B. VARGAFTIK, B. N. VOLKOV et L. D. VOLJAK, "International Tables of the Surface Tension of Water," *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, t. 12, n° 3, p. 817-820, juill. 1983, ISSN : 0047-2689, 1529-7845. DOI : 10.1063/1.555688. adresse : <http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.555688> (visité le 29/11/2022).

Références XIV

- [28] N. D. VASSILEVA, D. van den ENDE, F. MUGELE et J. MELLEMA, "Capillary Forces between Spherical Particles Floating at a Liquid-Liquid Interface," *Langmuir*, t. 21, n° 24, p. 11 190-11 200, 1^{er} nov. 2005, ISSN : 0743-7463, 1520-5827. DOI : 10.1021/la051186o. adresse : <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/la051186o> (visité le 29/11/2022).
- [29] D. VELLA et L. MAHADEVAN, "The Cheerios effect," *American Journal of Physics*, t. 73, n° 9, p. 817-825, sept. 2005, ISSN : 0002-9505, 1943-2909. DOI : 10.1119/1.1898523. adresse : <http://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.1898523> (visité le 29/11/2022).

Références XV

- [30] D. VELLA et L. MAHADEVAN, "The 'Cheerios effect'," *American Journal of Physics*, t. 73, n° 9, p. 817-825, sept. 2005, ISSN : 0002-9505, 1943-2909. DOI : 10.1119/1.1898523. arXiv : cond-mat/0411688. adresse : <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0411688> (visité le 29/11/2022).
- [31] D. VELLA, P. D. METCALFE et R. J. WHITTAKER, "Equilibrium conditions for the floating of multiple interfacial objects," *Journal of Fluid Mechanics*, t. 549, p. 215, -1 8 fév. 2006, ISSN : 0022-1120, 1469-7645. DOI : 10.1017/S0022112005008013. adresse : http://www.journals.cambridge.org/abstract_S0022112005008013 (visité le 29/11/2022).
- [32] D. J. R. VELLA, "The Fluid Mechanics of Floating and Sinking," , p. 143, s. d.