

Micronageurs

Q D W X U H O V H V

/H SODQFWRQ RX OHV FRORQLHV GH EDFW«ULHV VRQW GHV H[HPSOHV
GH VH PRXYRLU GH ID©RQ DXWRQRPH HW FRK«UHQWH RQ SDUOH GH r
OHV SK\VLFLHQV TXL RQW FKHUFK« ¢ HQ UDWLRQDOLVHU OD SK«QRP
GDQV XQ GRVVLHU SOXVLHXUV DUWLFOHV TXL LOOXVUHQW OHV FRP

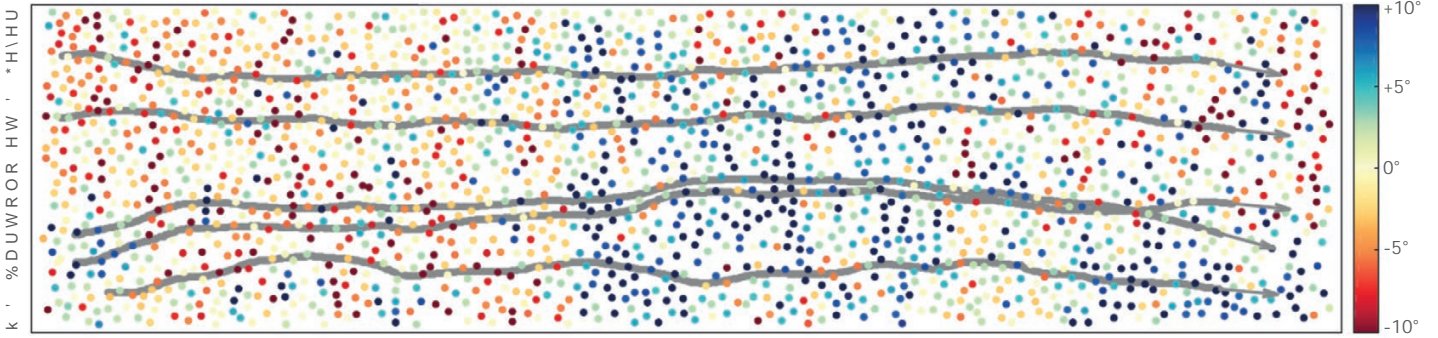
L'idée d'une vie indécélable présente aux échelles microscopiques et capable d'envahir le corps humain remonte à plus de vingt-six siècles. Elle apparaît pour la première fois en Inde dans les écritures de Jain. Cette croyance se renforce aussi en Occident jusqu'au Moyen Âge, où les premières théories de la contagion reposent sur le transport de minuscules créatures entre nos corps. L'existence définitive des micro-organismes a été établie dès 1675 par Antonie Van Leeuwenhoek [1] qui, en concevant un microscope pour inspecter la qualité de ses étoffes, découvre les premiers mouvements de ce qu'il décrivait comme des essaims de vers et d'anguilles microscopiques agitant l'eau dans laquelle ils évoluent, lui donnant l'aspect d'un « liquide vivant » [2]. Van Leeuwenhoek découvrait

les premiers micronageurs. En dépit du développement constant de la microbiologie, ce n'est qu'au milieu du 20^e siècle que les physiciens purent décrire la locomotion de microstructures déformables incapables d'exploiter leur inertie pour se propulser. Aux petites échelles, les forces visqueuses stoppent instantanément un corps qui cesse de se déformer. C'est seulement au début des années 2000 que les travaux conjoints des biologistes et des physiciens permirent de comprendre les mouvements de micro-organismes qui ont évolué ou perduré, en ne limitant jamais leurs trajectoires à des lignes droites. Encore plus récemment, depuis les années 2010, c'est le comportement collectif des micronageurs et ses conséquences sur les écoulements des fluides dans lesquels ils se propulsent qui concentrent les efforts de physiciens dans un domaine connu sous un nom qui résonne avec l'émerveillement de Van Leeuwenhoek : la « physique de la matière active ».

La physique de la matière active est en partie née de l'idée assez provocatrice de décrire les troupeaux, les nuées, les essaims ou les bancs d'animaux comme on décrirait des matériaux. La pertinence d'une description à grande échelle d'un groupe d'animaux comme la phase ordonnée d'un ensemble de spins motiles s'est vue être confirmée ces dix dernières années par des mesures quantitatives sur des nuées d'oiseaux et des essaims d'insectes. Ainsi, en utilisant des concepts et des outils de la physique de la matière condensée et de la physique statistique, une ligne de recherche importante consacre à décrire des tissus cellulaires, des bactéries et le cytosquelette intracellulaire comme des matériaux actifs obéissant à d'autres lois de conservation, montrant des dynamiques inaccessibles aux systèmes passifs.

K 3LFWRULD 3UHV /WG \$ODPI 6WRFN 3KRWR

)LJXUH 0LFUR RUJDQLVPHV GHVVUQ«V SDU OH VFLHQWLTXH KROODQGDLV \$QWRQLH YDQ /HHXZHQ



1. Assemblée de colloïdes autopropulsés formant un liquide capable de s'écouler spontanément. /D FRXOHXU GHV FROOR±GHV L GH OHXU YLWHVVH SDU UDSSRUW ¢ O5D[H KRUL]RQWDO DQJOH HQ GHJU«V /HV WUDMH LOOXVWUHQW OHXU PRXYHPHQW GLULJ« GH OD JDXFKH YHUV OD GURLWH GH O5LPDJH & L

Les mécanismes de propulsion des micronageurs naturels

/HV PLFURQDJHXUV QDWXUHOV RQW GHX[VWUDW«JLHV SRXU VH proSXOVHU ¢ WUDYHUV XQ IOXLGHb VRLW LOV SRXVVHQW VXU OH IOXLGH LOV VRQW DORUV DSSHO«V mbSRXVVHXUVb} VRLW LOV OH WLUHQW YHUV HX[FH VRQW GHV mbWLUHXUVmb. (p.20) DUWLFOH GH + \$XUDGRX V5LQW«UHVVH ¢ GHV SRXVVHXUV DIDWQWLV TXH FH«XL GH 6 P.3H\OD S V5LQW«UHVVH ¢ GHV WLUHXUV /HV dJXUHV (D E LOOXVWUHQW OD WHFKQLTXH H QDJH GHV EDFW«ULHV pousseuses *Escherichia coli* >L@ &HV EDFW«ULHV SRXV«GHQW HQWUH FLQT HW GL[IODJHOHV ORQJV IODPHQWV K«OLFR±GDX[GH SURW«LQHV FRQQHFV«V ¢ OHXU FRUSV SDU GHV PRWHXUV FH«OXODLUHV &HX[FL PHWWHQW HQ URWDWLRQ OHV IODJHOHV TXL VH JURVSHQW DORUV HQ XQH WUHVVH K«OLFR±GDOH VRXPVH ¢ XQH IRUFH SURSXOVLYH RULHQW«H YHUV O5DYDQW ODTXHOH SURSXOVH OD EDFW«ULH HW FU«H XQ «FRXOHPHQW GX IOXLGH YHUV O5DUaL«UH /H FRUSV VRbPLV ¢ XQ FRXSOH GH U«DFWLRQ RSSRV« ¢ FH«XL DSSOLTX« ¢ O5K«OLFH WRXUQH HQ VHQV RSSRV« (Q DYDQ«DQW OD EDFW«ULH SRXVVH OH IOXLGH FU«H DLQVL XQ «FRXOHPHQW YHUV O DYDQW HW HVW VRXPLVH SDU U«DFWLRQ ¢ XQH IRUFH GH WUDLQ«H GLULJ«H YHUV O5DUULaUH /5HIIHW GH OD EDFW«ULH VXU OH IOXLGH ¢ XQH GLVWDQFH JUDQGH GHYDQW VD WDLQOH VH PRG«OLVH GRQF SDU GHX[IRUFHV RSSRV«HV HQ U«JLPH stationnaire pour avoir une résultante nulle et de points G5DSSOLFDFWLRQ GLII«UHQWV FH GLS[H IRUFHV LQGXLW DWWRXU GX PLFUR RUJDQLVPH O5«FRXOHPHQW VFK«F«« GDQV OD dJXUH (E 'DQV O5D[H GH OD EDFW«ULH OH IOXLGH HVW «MHFW« YHUV O5H[W«ULHXU DXVVL ELHQ ¢ O5DYDQW TX5¢ O5DUULaUH ,O HVW DX FRQWUDLUH DWWRXU« vers la bactérie dans les directions perpendiculaires. /HV dJXUHV (F G FRUHVSRQGHQW ¢ GHV PLFURDOJXHV FdPPH les *Chlamydomonas reinhardtii* TXL VRQW DX FRQWUDLUH XQ H[HPSOH GH WLUHXUV >LL@ HOHV L«P«W«XU GH OHXU GHQW HQ XWLQV DQW G IODJHOHV IURQWDX[FRPPH OH IHU«LW XQ QDJHXU GH EUDVH DYHE VHV EUDV , O5DUULaUH OH IOXLGH HVW UDPH« GHV IRUFHV ORQJ«H XQ dJXU F G 2Q D ¢ QRXYHDX XQ GLS[H IRUFHV PLV YHUV FRPSRVDFWHV VRQW HQ VHQV LQYHUVH GHV SH«F«GHQWHV

>L@ + & P.3H\OD 6SULQJHU 6FLHQFH %XVLQHVV OHGLD
>LL@ Oet aB, Bc, C, D, E