

Les mousses

Chacun en a fait l'expérience : les mousses, bulles de gaz emprisonnées dans des parois liquides, se comportent parfois comme des solides, parfois comme des liquides. Mais les physiciens viennent seulement d'élaborer des méthodes simples pour décrire ces matériaux familiers. En prime, ces études ont des retombées dans des domaines tels que l'écoulement des glaciers ou des tas de sable.

François Graner et Catherine Quilliet

travaillent ensemble au laboratoire de spectrométrie physique du CNRS et de l'université Joseph-Fourier à Grenoble. François Graner a publié *Physique de la vie quotidienne* (Springer, 2003). graner@ujf-grenoble.fr

En physique, le XX^e siècle est riche de découvertes aux frontières les plus extrêmes : les plus petites dimensions ou les plus grandes, les énergies les plus élevées, les vitesses les plus proches de celle de la lumière. Pendant longtemps, il a semblé naturel, sinon nécessaire, que la recherche d'excellence soit faite aux limites de nos capacités technologiques, qui sont aussi, le plus souvent, les limites de nos moyens financiers. Le corollaire a été un certain mépris pour l'étude d'objets si familiers que les questions qu'ils engendrent paraissent enfantines.

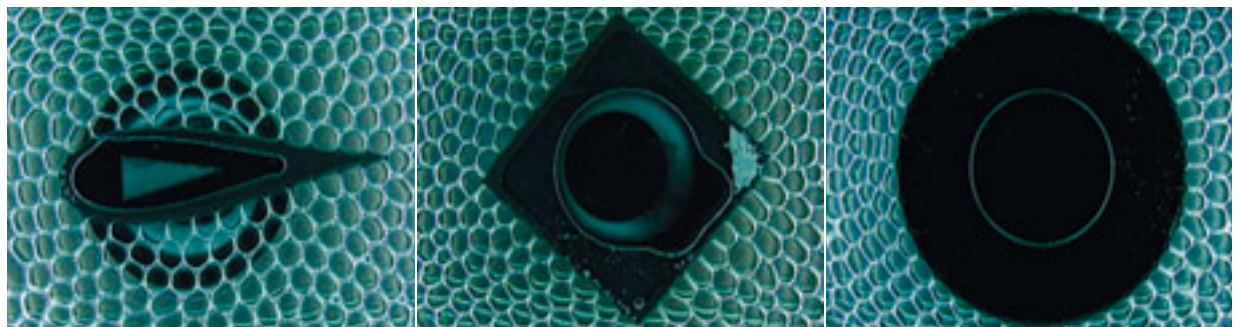
Pourtant, les grandes interrogations sont quelquefois à la portée de celui qui, simplement, sait regarder. C'est ainsi que nous assistons depuis quelques années à un retour d'intérêt pour une physique à l'échelle humaine. L'étude de phénomènes quotidiens requiert en effet un réel talent d'observation et d'expérimentation. Parce qu'elle se cantonne rarement à un seul domaine, elle se nourrit d'échanges interdisciplinaires ; elle devient aussi passionnante et riche que celle de l'infiniment petit ou de l'infiniment grand, parce qu'elle impose parfois des changements radicaux de point de vue.

Les mousses de savon (ou de blanc d'œuf ou de bière) illustrent de manière frappante cette trompeuse simplicité [1]. Faut-il ranger parmi les solides cet objet tremblotant qui sait

garder sa forme, que l'on peut sculpter à volonté, tel ce faux col de bière dans lequel, du doigt, le serveur irlandais creuse selon son humeur un trèfle ou un gibet ? Ou faut-il décréter qu'il s'agit d'un fluide, parce que c'est le mélange d'un liquide (l'eau) et d'un gaz (l'air), sous prétexte qu'il s'écoule dans la lance du pompier ou s'efface devant la lame du rasoir ?

On dispose, depuis le XIX^e siècle, d'équations pertinentes pour décrire le comportement de ces deux cas limites, celui des solides élastiques comme celui des liquides visqueux : elles sous-tendent toute l'ingénierie mécanique actuelle. Combinant ces deux cas simples, la mousse est complexe : c'est un fluide dit « viscoélastique », au même titre que des liquides polymères, par exemple. Mais nous voulons plus. Nous voulons comprendre comment le « microscopique », c'est-à-dire l'organisation des éléments de la mousse, détermine le comportement mécanique « macroscopique » du bloc de matériau que nous observons.

Que cherche-t-on donc ? Il s'agit de trouver comment la mousse se déforme en réponse à une sollicitation mécanique : on cherche la « loi de comportement » mécanique de la mousse. Comment procéder ? En rassemblant des situations très différentes concernant des mousses de composition et de finesse variées, dans des écoulements de vitesse et de géométrie particuliers, pour les ramener à un comportement essentiel commun.



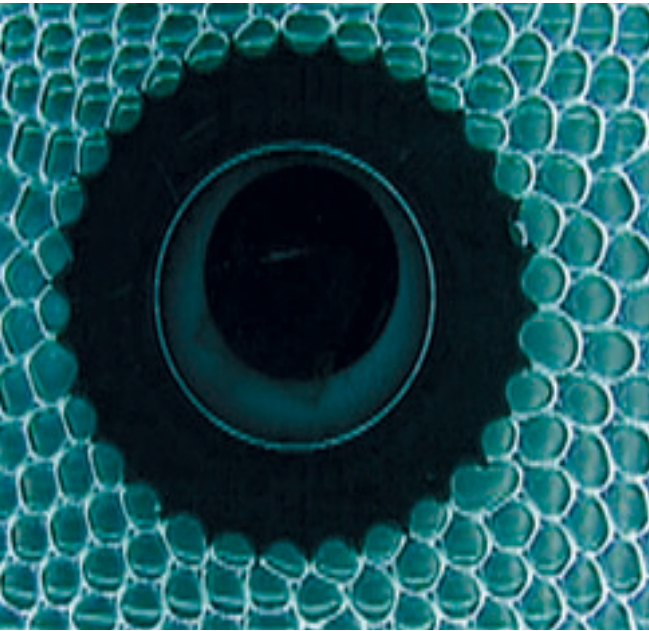
LA PRÉSENCE D'UN OBSTACLE PERTURBE L'ÉCOULEMENT d'une mousse à deux dimensions (ici, de gauche à droite). Ces obstacles peuvent avoir des tailles et des formes variées : aile d'avion, cercle, cercle dentelé, carré (figure 1, ci-contre). Réciproquement, la mousse exerce une force sur l'obstacle, que l'on mesure grâce à un capteur sensible. © G. NEYRET, L.CISTAC, B. DOLLET/LAB. DE SPECTROMÉTRIE PHYSIQUE/UNIVERSITÉ JOSEPH-FOURIER

[1] F. Graner, « Les mousses », *La Recherche*, septembre 2001, p. 46.

[2] P. Colas et B. Tuchming, « Qui attrapera le Higgs ? », *La Recherche*, mai 2003, p. 30.

[3] M. Asipauskas *et al.*, *Granular Matter*, 5, 71, 2003.

à l'œil nu



Deux avancées importantes ont été récemment réalisées dans cette direction. D'abord, depuis quatre ou cinq ans, on a constaté qu'il est plus facile d'observer l'écoulement de la mousse si on la confine entre deux plaques, réalisant ainsi une unique couche de bulles au lieu d'un objet opaque en trois dimensions. Plusieurs expériences, aux États-Unis et en France, soumettent de telles « mousses à deux dimensions » à différentes avanies : écoulement forcé, compression, cisaillement, interactions avec un obstacle ou une bulle (photos, p. 48), etc. Il suffit désormais de moyens expérimentaux relativement modestes, tenant sur un coin de table, et d'une caméra vidéo usuelle pour accéder à toutes les informations structurales : plus rien n'est caché. Même si une part importante revient au traitement d'image, auquel on demande notamment de mesurer la vitesse et la forme de milliers de bulles passant par un endroit donné, on est très loin des moyens techniques mis en œuvre pour traquer, par exemple, le boson de Higgs [2].

Fluide autant qu'élastique

Stimulés par ces progrès expérimentaux dans l'observation des mousses, nous avons accru nos efforts sur les méthodes d'analyse, et nous pouvons maintenant visualiser en tous points les contraintes d'une mousse qui s'écoule, ou déterminer localement des propriétés mécaniques comme sa rigidité et sa résistance au cisaillement. Par ailleurs, comme la mousse est tout autant élastique que fluide, nous avons dû inventer une nouvelle façon de définir sa déformation, qui soit valide dans les cas extrêmes. Nous avons utilisé pour cela le fait qu'on peut maintenant effectuer des moyennes (spatiales ou temporelles) sur un grand nombre de bulles. Nous déterminons ainsi précisément, même aux petites échelles, dans quelle mesure et dans quelle direction les bulles sont déformées, alors même qu'elles n'ont pas une forme régulière au départ [3].

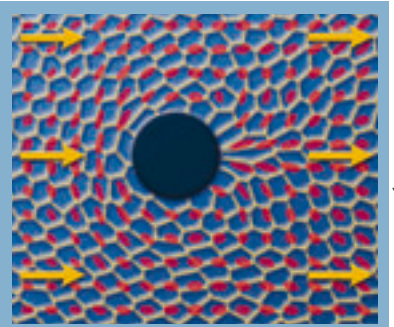
En premier lieu, ces avancées permettront d'améliorer l'utilisation des mousses dans plusieurs applications. Par exemple, il est courant, pour mieux extraire le pétrole, d'injecter une mousse qui bloque les mouvements du gaz.

Connaître la loi de comportement mécanique aiderait non seulement à simuler numériquement, mais aussi à prédire théoriquement, comment elle peut s'introduire dans une géométrie aussi confinée et contournée que celle des pores de la roche (auxquels on a difficilement accès *in situ*). Réciproquement, cette loi permettrait d'optimiser la composition de la mousse et la façon de l'injecter. Autre exemple : les mousses solides sont omniprésentes dans l'industrie à cause de leurs très grandes résistance et capacité d'isolation, rapportées à leur densité (mousse de polyuréthane bien sûr, mais aussi maintenant mousses d'aluminium pour fabriquer des pare-chocs ou des parois légères). Ici, disposer d'une loi de comportement mécanique de la mousse liquide permettrait une meilleure maîtrise de ses processus de solidification.

Mais notre méthode de mesure des déformations locales dépasse largement le seul cas des mousses. Elle est applicable à d'autres matériaux amorphes dont l'échelle microscopique – qu'il s'agisse des atomes (pour les matériaux de type verre) ou des molécules (pour les gels de polymères) –

Fig.1 Déformation locale

EN CHAQUE POINT, LA DÉFORMATION MOYENNE de milliers de bulles qui défilent autour de l'obstacle (de gauche à droite) est représentée par la forme et l'orientation d'une ellipse (en rouge). Celles-ci sont calculées à partir du traitement numérique de plus de 3 000 images dont l'une est représentée en arrière-plan. Les bulles sont comprimées devant l'obstacle et étirées en aval.



© INFOGRAPHIE : GRÉGOIRE CIRADE

ne se révèle qu'en expérimentation poussée de laboratoire : microscope à force atomique, rayons X.

Ainsi, nous collaborons actuellement avec des collègues du laboratoire de glaciologie de l'université de Grenoble pour modéliser la déformation des cristaux de la glace de l'Antarctique, déformation qui sert à dater les fluctuations passées du climat. Nous pouvons aussi l'utiliser pour décrire le comportement de matériaux granulaires (tels que le sable ou le sucre en poudre) : différents en texture et en composition, les granulaires et les mousses partagent des propriétés de désordre et d'écoulement. Sur tout, et cela est directement lié à leur nature de matériaux quotidiens, leur échelle « microscopique » est directement accessible : les grains, comme les bulles, sont visibles à l'œil nu. ■ F. G. et C. Q.

POUR EN SAVOIR PLUS

www.ujf-grenoble.fr/PHY/FOREXPER/
ou <http://graner.net/francois>
Court-métrage sur les mousses (50 Mo) disponible sur l'un de ces deux sites.