

**L'industrie et la recherche s'intéressent de plus en plus aux poudres et aux grains :  
Les chercheurs français relèvent le défi !**

Bien qu'omniprésente dans notre univers quotidien -c'est la deuxième priorité humaine, juste après l'eau !-, la matière en grain (les poudres, les sables des déserts, les graviers, les minerais, les céréales ...) a longtemps été considérée comme un matériau "low-tech", c'est à dire à faible valeur ajoutée. En conséquence et jusqu'à ces dernières années, les efforts de la recherche fondamentale et appliquée sont restés très limités dans ce domaine.

De ce point de vue, la dernière décennie a apportée une véritable révolution.

La sophistication croissante de l'ensemble des process industriels, la complexité croissante des matériaux composites nécessaires à l'industrie (tels que, par exemple, les aimants de moteurs de TGV, les futurs produits pharmaceutiques pulvérulents, les bétons polymères, les plastiques, les mélanges de propulsion des fusées etc.) a conduit les industries « high-Tech », à forte valeur ajoutée, à jeter un regard nouveau sur la matière granulaire. De leur côté, des équipes de chercheurs d'origines thématiques variées se sont rapidement mobilisées face au véritable défi scientifique que pose la compréhension du comportement statique et dynamique de la matière en grain. Dans ce domaine, notre pays a relevé le gant : Il se retrouve au tout premier rang à côté des Etats Unis.

Une équipe de chercheurs de l'UMR7603, le LMDH<sup>1</sup> ( Matière Désordonnée et Hétérogène), s'est tout particulièrement distinguée dans le domaine de l'expérimentation et de la modélisation de plusieurs comportements fondamentaux de la matière en grains. Parmi bien d'autres, deux exemples relatifs au difficile et redoutable phénomène d'avalanche méritent d'être cités .

Tout le monde a observé des avalanches, naturelles ou provoquées, en inclinant une boîte contenant un matériau granulaire quelconque (sel, sucre, sable, riz). On sait ainsi que l'inclinaison d'un milieu granulaire au delà d'un certain angle provoque un écoulement. En réalité, la simple définition de cet angle d'avalanche est loin d'être triviale. Elle pose des questions fondamentales qui illustrent l'originalité et la difficulté de ce type de recherche. On peut définir un angle (dit de mouvement) qui est l'angle maximum d'inclinaison du milieu granulaire juste avant l'avalanche. On définit aussi un angle de repos plus petit que le précédent d'environ 2°, qui est l'angle formé par le granulaire et la surface horizontale obtenu juste après une ou plusieurs avalanches. Entre ces deux angles se trouve un autre angle (dit neutre) caractéristique, très utile du point de vue théorique et qui caractérise un écoulement qui ne s'amplifie ni ne s'amenuise au cours de l'avalanche. D'autre part, on a démontré que ces deux derniers angles dépendent du fait qu'il existe ou non une paroi sur laquelle s'écroule l'avalanche. Il existe aussi un angle dynamique encore différent des trois précédents. On a démontré aussi, - ce qui est contraire à l'intuition- qu'une petite bosse créée sur un front avalancheux va remonter la pente et non la descendre. Ainsi, l'équipe du laboratoire LMDH a élucidé les modes de passage entre ces différents angles ainsi que la statistique des avalanches successives dont on a pensé, un temps, puis démenti, qu'elle relevait du comportement général des systèmes critiques autoorganisés<sup>2</sup>.

On sait aussi que l'angle de mouvement d'un matériau formé en cratère est différent de celui d'un cône du même matériau. Le premier est très généralement plus grand que le second. On sait encore qu'un matériau dont les grains sont de forme anguleuse (comme du verre pilé) présente des angles d'avalanche plus grands que ceux d'un matériau constitué de petits grains sphériques. Cette dernière propriété est assez intuitive. Elle permet de modéliser un phénomène qui l'est moins tel que celui qui est illustré sur la Figure 1. Il s'agit d'un mécanisme de ségrégation<sup>3</sup> granulaire qui se révèle très pénalisant dans l'industrie et qui illustre le refus au mélange des espèces granulaires. Ce processus de stratification a été invoqué pour expliquer les structures en couches successives alternées de certains paysages géologiques (roches dans les déserts, failles géologiques...)

<sup>1</sup> CNRS-Université Paris 6.

<sup>2</sup> Un système critique autoorganisé est un système qui évolue de telle manière qu'il se retrouve toujours dans un état critique. Le modèle SOC (Self Organized Criticality) serait susceptible d'expliquer de manière globale un grand nombre de comportements décrits par des lois d'échelle tels que certains phénomènes météorologiques, les tremblements de terre, le scintillement des étoiles etc. Il faut dire que l'automate informatique qui a servi de base à ce modèle rappelle de manière frappante mais approximative le mécanisme des avalanches.

<sup>3</sup> Le terme « ségrégation » utilisé par les physiciens est explicite : les éléments différents (par leurs formes, leurs tailles, leurs poids...) que l'on cherche à mélanger, se séparent et tendent à se regrouper entre objets de même famille. Les chercheurs du LMDH ont ainsi introduit le terme « d'intrus » pour qualifier un grain différent des autres. En effet, celui-ci est généralement expulsé du mélange lorsque ce dernier est agité. Ce mécanisme de ségrégation est encore très pénalisant, de nos jours, par exemple lors de l'avitaillement des fusées Ariane en propergol. Il est amusant de noter que cette difficulté avait déjà été évoqué à l'époque des frères Bureau qui expliquaient ainsi les mauvaises performances balistiques de l'artillerie de Charles VII à la fin de la guerre de cent ans.

Enfin, l'équipe du LMDH s'est très récemment penchée sur la physique des poudres fines, dont le traitement pose de graves problèmes en milieu industriel. Le comportement des ensembles de tout petits grains (typiquement inférieur à 20 microns) se révèle être très sensible aux fluides (par exemple l'air) ambiants. C'est ainsi que l'on assiste à de nombreux phénomènes de blocages des écoulements et, aussi, à un certain nombre de nouvelles instabilités<sup>4</sup> telles que celle, observée et modélisée au LMDH, illustrée par la Figure 2. Cette forme d'instabilité pourrait, peut-être, expliquer le premier stade de la formation de collections d'éruptions volcaniques tels que celles que l'on observe sur la planète Io, un satellite de Jupiter.

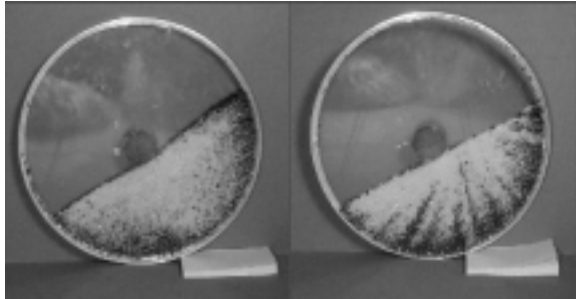


Figure 1 : L'image de gauche est obtenue après rotation rapide, autour de son axe, d'un cylindre contenant un mélange de petits grains sphériques blancs et de gros grains de verre pilé noir. Celle de droite, obtenue à partir du mélange de gauche, après quelques tours en rotation lente permet d'observer une stratification en bandes alternées noires et blanches. Il s'agit d'une autoorganisation spectaculaire du milieu granulaire due à la différence de deux angles d'avalanches des grains blancs et noirs.

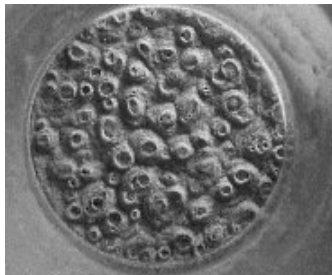


Figure 2 : Observation en vue de dessus d'une couche de poudre fine soufflée par en dessous, perpendiculairement au plan de l'image. L'instabilité se développe en créant une myriade de petits cratères qui éjectent des particules à l'image des éruptions volcaniques.

**Pour en savoir plus :**

- J. Duran, Sable, Poudres et Grains, Eyrolles (1997)
- Sands, Powder and Grains, Springer Verlag (NY) (1999)
- P.-G. de Gennes, Rev. Mod. Phys. 71, 374, (1999)
- A. Aradian, E. Raphael et Pierre-Gilles de Gennes, Phys. Rev. E, **60**, 2009, (1999)
- A. Daerr et S. Douady, Nature, **399**, 241, (1999)
- J. Duran, Phys. Rev. Lett. **84**, 5126, (2000)

<sup>4</sup> Une instabilité résulte généralement de la compétition entre deux forces qui se contrarient et qui tendraient à donner à un objet deux aspects différents. Le résultat global traduit « l'hésitation » de la nature entre ces deux possibilités. C'est ainsi que naissent les rides sur le sable, les gouttes d'eau sur une surface embuée etc...