

## Approche micro-macro

*Lyderic Bocquet, Professeur de Physique, Institut Lumière Matière, Université de Lyon.*

### **Enjeux environnementaux**

Des liens intéressants entre l'échelle microscopique et l'échelle macroscopique apparaissent dans de nombreuses applications liées à l'environnement ou plus généralement au monde qui nous entoure.

Les énergies renouvelables, la prévention des risques d'avalanches ou de glissements de terrain, et les mouvements de foule peuvent bénéficier de la recherche sur les approches micro-macro. Par exemple, la nano-physique a permis d'améliorer le rendement de l'énergie osmotique qui est maintenant une potentielle aux énergies non-renouvelables.

Plus généralement, les domaines d'intérêt sont l'énergie osmotique, l'énergie photovoltaïque organique, les écoulements de milieux granulaires, les écoulements de plasticité, le comportement d'interface entre un fluide et une surface.

### **Besoins mathématiques**

Tout d'abord, il convient de noter les différences de points de vue entre un physicien et un mathématicien.

Pour un physicien, peu importe le chemin, l'important est la question. Être créatif, c'est poser une bonne question. En mathématiques, le chemin est le plus important.

Face à un problème, le physicien va donc chercher à répondre à la question. La réponse ne nécessitera pas forcément l'aide des mathématiciens. Mais parfois, sur certains problèmes, il y a un besoin de mathématiques.

Par exemple, sur les problèmes d'énergie osmotique, y a-t'il un besoin de mathématiques ?

L'énergie osmotique est créée par une différence de salinité. Il faut installer, à l'embouchure des fleuves, une membrane spéciale permettant le passage de l'eau douce mais non de l'eau salée. Les molécules d'eau douce sont alors attirées par effet d'osmose vers l'eau salée et traversent la membrane. La surpression induite par le mélange est utilisée pour créer de l'énergie. Cette technologie souffre d'un rendement peu intéressant et de la difficulté de réalisation de la membrane. La nano-physique a permis de créer un dispositif améliorant le rendement en augmentant la diffusion du mélange et en transformant la membrane en source directe d'énergie électrique. Mais les problèmes principaux actuels sont d'ordre technologiques. La rigueur des mathématiques n'apparaît pas nécessaire pour l'instant. À l'inverse des problèmes d'optimisation de réseaux avec les « smart-grids », où là les besoins mathématiques sont importants.

D'autres domaines font intervenir les mathématiques de manière plus marquée.

Les écoulements des milieux granulaires, par exemple, peuvent être modélisés par un ensemble d'entités en interaction les unes avec les autres. Cela rejoint les mouvements de foule où là aussi, les problématiques micro-macro sont importantes. La difficulté est que ces problèmes ne peuvent pas être traités par la physique statistique classique, car ils ne vérifient pas le second principe d'entropie. Les mathématiques ont beaucoup contribué à la physique statistique et il est évident qu'il y a, dans ces nouvelles thématiques, un grand besoin de nouveaux théorèmes et de nouveaux modèles. Des approches proposant de généraliser le second principe ont été proposées dans le cas de milieux granulaires (le modèle Keller-Segel étudié entre autre par Vincent Calvez, les travaux de Gallavotti et Cohen, ceux de Jardingzski). Le lien n'est pas direct avec les mouvements de foule, mais il est à construire.

Les approches micro-macro apparaissent dans l'étude des écoulements de fluides complexes en général, c'est à dire, les gels (dentifrice) et les milieux granulaires. Ce sont des fluides à seuil qui ont un comportement très proche des milieux vitreux considérés plus « nobles » par les physiciens. Au niveau microscopique, ce sont des grains, qui sont au repos « gelés » mais de façon désordonnée. Dans ces thématiques, Thierry Colin et Didier Bresch peuvent aider à définir les défis mathématiques.

Les écoulements de plasticité font aussi appel à l'équation de Boltzmann et à une approche micro-macro. Des modèles en éléments finis ont été développés pour décrire ces écoulements associés à l'usure non réversible. Les mathématiques seraient utiles pour analyser les équations de ces nouveaux modèles.

Toujours dans les approches micro-macro, le comportement d'un fluide avec une surface peut être intrigant. Si une bille est lâchée sur un plan d'eau, le comportement de l'eau va varier selon la nature de la surface de la bille (hydrophile ou hydrophobe). Un détail microscopique de la bille peut modifier l'écoulement jusqu'à une échelle macroscopique. Après des travaux expérimentaux, nous avons proposé un modèle physique et compris quels paramètres étaient importants. Il y a là un problème de singularité où il peut être intéressant d'échanger avec les mathématiciens.

Cet exemple illustre la démarche d'un physicien qui va chercher à valider son modèle, ou plutôt à le confronter à la réalité et à trouver dans quels cas il n'est plus valable, pour mieux comprendre les mécanismes en jeu, alors que le mathématicien ne travaille pas de manière empirique et va plutôt chercher à augmenter le potentiel d'un modèle, à analyser son comportement de façon abstraite.

### **Besoins en HPC**

Pour la simulation réaliste des fluides complexes, nous avons de gros besoins de parallélisation; Xavier Blase à l'Institut Néel également, pour sa recherche en photovoltaïque organique (avec les calculs *ab initio*). Enfin, à l'UJF, Jean Louis Barrat qui étudie les propriétés des matériaux, travaille beaucoup sur les énergies renouvelables et a de vrais problèmes de parallélisation pour simuler le comportement à grande échelle de millions d'atomes. Il y a peut être un besoin d'approches méta-dynamiques, ou d'analyse d'échelle de temps multiples.

### **Sur le travail multi-disciplinaire maths-physique**

En France, il n'y a pas de dialogue, pas d'interface entre ces deux disciplines. Il y a un problème de contacts : qu'est ce qu'un problème mathématique ? qu'est-ce qu'une conférence en mathématique ?

Il y a un vrai souci de manque de connaissance du milieu. Si nous ne savons pas ce que les mathématiciens font, et ce qui les intéresse, comment leur présenter notre travail ?

Cela peut être amélioré par l'organisation de séminaires en commun. Ce que fait l'IHP est très bien, mais elle est focalisée sur les interactions physique-mathématique au sens de Poincaré. Il manque un lien entre les mathématiques et la physique, qui soit tourné vers des applications moins nobles, plus concrètes.

Lorsque nous participons à quelques GdR de mathématiques, nous réalisons que les problématiques des mathématiciens sont parfois naïves, n'ont pas d'intérêt en physique, ne sont pas d'actualité. Réciproquement, les problèmes de physique où les mathématiques apparaissent sont peut être naïfs ou déjà faits...

Je travaille en ce moment aux Etats-Unis où il y a plus d'enthousiasme et de curiosités entre les disciplines. Rien que le fait de discuter crée des idées mais cela demande des efforts et un non conservatisme. En France, la déconnection entre les mondes n'aide pas au mélange et aux interactions.