

Pourquoi des modèles de calcul d'avalanche plus complexes n'amènent pas à de meilleurs résultats ?

Christophe Ancey, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

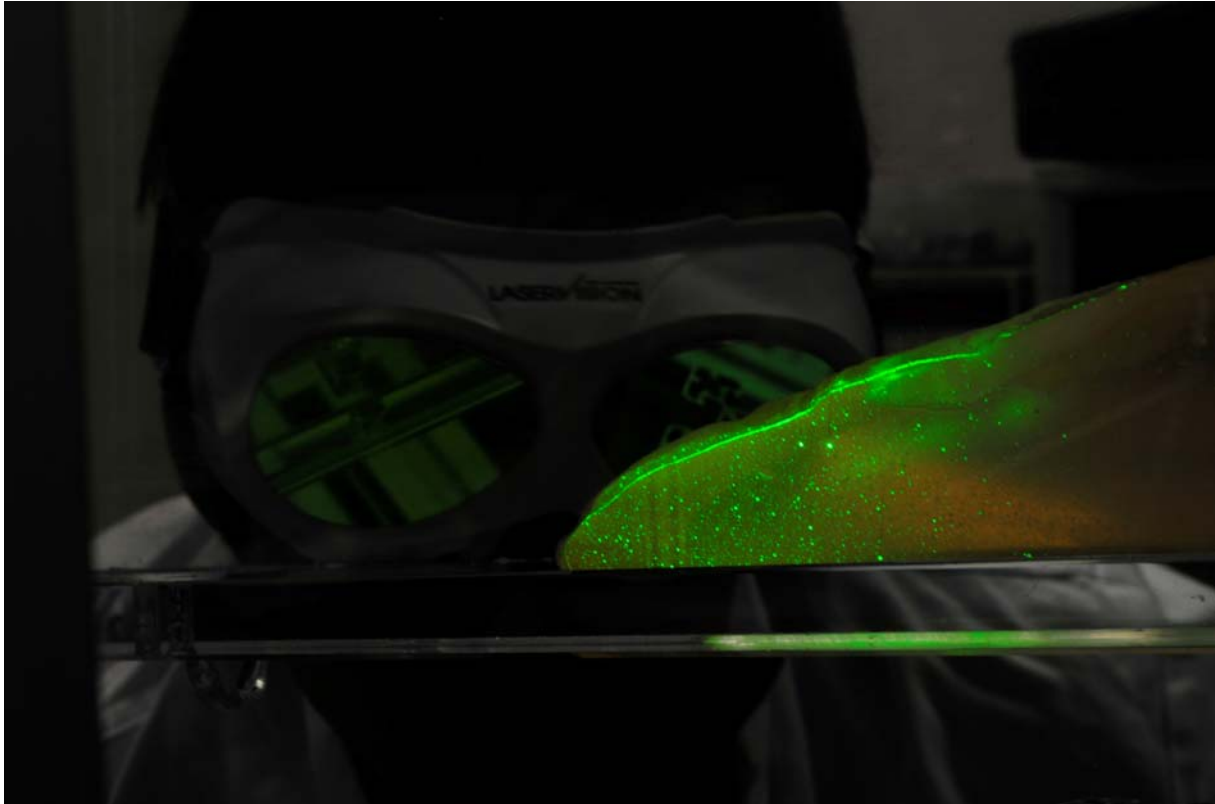


Figure 1 : visualisation par tranche laser du cœur d'un écoulement de fluide viscoplastique (ici, du Carbopol, un fluide proche du gel pour cheveux). Par traitement d'images, nous pouvons déterminer toutes les caractéristiques (vitesses, hauteurs, etc.) de cette avalanche de fluide en laboratoire. Cliché : G. Epely-Chauvin, EPFL.

Les modèles de calcul des avalanches ont une longue histoire puisque juste pour la France, on retrouve trace de formulations de modèle dynamique et de leur utilisation pour des problèmes d'ingénierie dans les années 1920 avec la construction d'ouvrages de protection à Chamonix. Pendant longtemps, scientifiques et ingénieurs se sont contentés de modèles très idéalisés, où l'avalanche était assimilée à un bloc rigide glissant. Le modèle de Voellmy, qui a connu de nombreuses variantes, est sans doute le plus emblématique de cette première génération de modèles. L'absence de moyens de calcul lourds (assistés par ordinateur) a conduit les ingénieurs à développer des approches globales de calcul pour les problèmes d'ingénierie et à y intégrer des règles empiriques tirées de l'observation des avalanches et de leurs conditions de formation ; la rusticité du cadre de calcul était contrebalancée par l'expertise humaine. Dès cette époque, il était clair que malgré leur rusticité, des modèles fondés sur des équations fondamentales de la physique pouvaient apporter une réelle plus-value dans le travail d'expertise.

Pour améliorer ces premiers modèles, les scientifiques ont exploré deux voies complémentaires. La première a été d'offrir une vision plus réaliste de la physique des écoulements. C'est à Bruno Salm que l'on doit la description d'une avalanche comme un fluide plutôt que comme un corps rigide dans les années 1960. Le travail de Salm a annoncé l'arrivée d'une nouvelle génération de modèles (tous les modèles actuellement sont de fait calqués sur les idées de Salm), mais il a fallu attendre l'arrivée des ordinateurs individuels et l'augmentation de la puissance de calcul pour que cette nouvelle génération voie vraiment le jour. La seconde voie explorée par les scientifiques a donc été justement le développement de modèles numériques de calcul, où l'avalanche est décrite comme l'écoulement d'un fluide homogène. Dès la fin des années 1980, les Français ont été particulièrement actifs dans le domaine et depuis cette époque, une multitude de modèles numériques reposant sur les mêmes équations fondamentales (Saint-Venant) ont été développés dans le monde. Paradoxalement, la plus grande complexité des modèles a fait perdre de vue que bien des hypothèses reposent sur des lois empiriques et des vues spéculatives. L'expertise humaine devrait donc être plus que jamais nécessaire pour manipuler les résultats de modèles. Toutefois, constatant l'absence d'un tel regard critique, Salm tira le signal d'alarme en pointant les dangers d'une confiance excessive dans les modèles numériques.

Pour étudier le degré de précision et le pouvoir prédictif des équations de Saint Venant, nous nous sommes focalisés non pas sur des avalanches réelles, mais sur des avalanches de fluide en laboratoire. Les conditions expérimentales et la technologie actuelle permettent non seulement d'imposer à la fois les caractéristiques du fluide et les conditions d'écoulement, mais également de mesurer avec précision les vitesses au sein de l'écoulement et la dynamique de l'écoulement. Les résultats expérimentaux peuvent être ensuite comparés à des prédictions de modèles d'écoulement de complexité croissante et cela indépendamment de tout calage de paramètres. Les tests réalisés avec des fluides simples (newtoniens, donc avec un comportement linéaire) montrent que plus le modèle est sophistiqué, meilleure est la capacité de prédiction de ce modèle. En revanche, dès que l'on travaille avec des fluides non linéaires (dans notre cas, des fluides viscoplastiques), les modèles numériques fondés sur les équations de Saint-Venant sont d'une piètre précision et, paradoxalement, leurs prédictions sont moins bonnes qu'avec des modèles plus simples. On touche là un aspect bien connu dans d'autres domaines (en météorologie par exemple) : la non-linéarité des processus physiques (et donc des équations) peut amener à des erreurs conséquentes. Complexité ne rime pas avec précision. Il y a peu de raison de penser que ce qui ne marche pas bien dans l'environnement bien contrôlé du laboratoire marcherait mieux dans le milieu naturel.

Comme des exemples récents ont pu le montrer (les modèles mathématiques de gestion des risques des portefeuilles de titres lors du crash de 2008), la confiance excessive dans la précision des outils numériques et l'absence de vision critique des biais introduits par la modélisation constituent des problèmes majeurs dans notre société toujours plus avide de prédictions scientifiques.