

Préface

Si la définition de la rhéologie est très simple : science de la matière en écoulement, son contenu mérite quelques explications. En effet, la rhéologie recouvre des activités scientifiques majeures et se trouve associée à des technologies irremplaçables. Mais elle n'est pas assez enseignée ni prise en compte à ce jour en France, où elle reste encore mystérieuse pour beaucoup, même pour certains scientifiques.

Le Groupe Français de Rhéologie (GFR), association sans but lucratif à vocation purement scientifique, régie par la loi de 1901, et la Société EDP Sciences se sont donné pour objectif de publier une série de documents en français dédiés à la rhéologie. Ce premier ouvrage contient essentiellement les textes rédigés par un groupe d'amis réunis à cette occasion sous la conduite de leurs cêlestes Ph. Coussot et J.-L. Grossiord. Chacun vient parler d'un sujet qu'il affectionne, sans souci d'exhaustivité. À l'heure où le livre, selon Bernard Pivot, ne fait plus même un dixième de l'audience TV des spectacles humains organisés sur M6, le GFR fait dans le très sérieux du point de vue médiatique. Il vise pour l'heure un public qui apprécie encore l'effort de la lecture. Mais d'autres opportunités pourront être saisies pour produire des images, d'autant plus que le sujet s'y prête bien. Finalement le présent ouvrage s'adresse aux étudiants scientifiques des Universités et des Écoles, aux industriels, et à la société en général. Je pense en effet que l'intérêt des exposés et le talent des différents auteurs faciliteront une meilleure perception de la rhéologie auprès du public le plus large, ainsi que l'appropriation de son vocabulaire, deux points essentiels pour cette activité interdisciplinaire.

Il est à mon sens crucial que les chercheurs et les enseignants soutiennent les activités interdisciplinaires dans la mesure où les problèmes les plus pertinents et les voies de leur résolution n'ont pas de raison d'appartenir à l'une des disciplines décrétées par Auguste Comte, penseur, philosophe, mais farfelu extrême à ses heures. Il faut que les étudiants soient avertis que l'ouverture disciplinaire est une voie essentielle de l'excellence et de la réussite professionnelle, et qu'ils puissent faire d'autres choix que ceux des seules orientations étroites dans lesquelles trop d'organismes et de responsables pourraient encore plus ou moins les maintenir, compte tenu de leurs rattachements administratifs officiels.

Interdisciplinaire par essence même, la rhéologie fait appel à la chimie, à la physique, à la mécanique, aux mathématiques et à la biologie, qui lui fournissent

des instruments de base, et se montre utile à chacune de ces disciplines. La façon dont elle est née ne laisse aucune doute à ce sujet. C'est aux États-Unis qu'Eugène Cook Bingham (1878-1945) a proposé en 1929 de créer le mot savant rhéologie, composé de deux racines grecques $\rho\epsilon\omega$ et $\lambda\omicron\gamma\omicron\sigma$, en même temps qu'une revue dédiée et un congrès. L'émergence de la rhéologie était liée à l'épanouissement de l'industrie des polymères, et à des coopérations avec le *National Bureau of Standards* à Washington, ainsi qu'à l'*American Institute of Physics*. Par la suite, c'est en 1940 que fut fondé le Club des Rhéologues Britanniques, par des scientifiques qui réalisèrent la similitude entre les difficultés rencontrées par ceux d'entre eux qui voulaient mesurer les propriétés d'écoulement des sécrétions cervicales de vaches, et ceux qui étudiaient les encres d'imprimerie.

À l'issue de la Seconde Guerre mondiale, la rhéologie s'est développée rapidement au niveau international. Depuis 1948 ont été mis en place à la fois un grand Congrès international périodique et un Comité international de rhéologie formel.

Le dernier en date de ces grands congrès a été organisé à Cambridge en Angleterre en août 2000, avec 700 propositions d'articles et autant de participants. Les sociétés de rhéologie de la planète qui totalisent actuellement environ 7 000 membres actifs sont regroupées en trois zones géographiques distinctes : Amériques, Europe, Pacifique.

L'idée européenne ayant conduit à l'organisation périodique de congrès européens de rhéologie depuis 1982, la Société Européenne de Rhéologie a été créée en 1996. Elle décerne en particulier le prix Weissenberg, d'après le nom du savant illustre Karl Weissenberg (1893-1976), renommé dans le domaine des mathématiques, ainsi que pour ses études théoriques et expérimentales sur les rayons X en cristallographie et en médecine, et bien sûr pour ses travaux en rhéologie. Son nom est associé en rhéologie :

1. à l'effet Weissenberg, par lequel de nombreuses substances telles les préparations culinaires grimpent le long d'un axe en rotation malgré les forces de pesanteur et les forces centrifuges,
2. au rhéogoniomètre Weissenberg, qui permet de mesurer les différentes composantes des contraintes en écoulement de cisaillement,
3. à l'hypothèse de Weissenberg, selon laquelle l'une des différences de contraintes normales s'annule en cisaillement simple stationnaire,
4. au nombre de Weissenberg We , le nombre absolument capital de la rhéologie, qui mesure le rapport de l'échelle de temps typique du matériau à l'échelle de temps représentative de l'expérience que l'on fait avec ce matériau.

Le nombre de Weissenberg vient compléter d'autres nombres sans dimension célèbres (par exemple, les hydrodynamiciens ont le nombre de Reynolds et la turbulence inertielle). Comme eux, il se décline de multiples façons dans les

applications de l'ingénieur, ainsi bien sûr que dans les équations, ou au sujet des instabilités.

Pour prendre pied dans les activités de la Société Européenne de Rhéologie, et au-delà, il suffit de se connecter sur la toile. On trouvera alors toute une série de sites interconnectés. Les références aux travaux et aux ouvrages publiés par les rhéologues peuvent se trouver, elles aussi, avec les outils de la recherche informatisée, mais on ne peut manquer de signaler qu'il existe trois revues internationales de très haut niveau scientifique exclusivement dédiées à la rhéologie : le *Journal of Rheology*, *Rheologica Acta*, et le *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*.

Comme le célèbre Monsieur Jourdain de Molière découvrit qu'il avait dit de la prose depuis plus de quarante ans sans le savoir, un grand nombre de personnes avaient pratiqué la rhéologie bien avant que le nom ne soit inventé ou que des organisations soient créées. Trois points de vue sont envisageables.

Les scientifiques qui apprécient les mathématiques aiment bien dire que les premiers travaux en rhéologie sont ceux des savants des XVII^e et XIX^e siècles qui ont largement précédé son identification, tels Newton et Hooke qui sont universellement célébrés pour leurs idées sur la viscosité et l'élasticité. Au XIX^e siècle, des Français, Cauchy, Fourier, Navier et Poisson, et un Britannique, Stokes, ont apporté des contributions essentielles à la théorie du champ. Poiseuille introduisit pour sa part un manomètre et publia ses travaux sur les écoulements capillaires. À la fin du siècle, Couette poursuivit les études de Poiseuille sur les capillaires et construisit la célèbre cellule de Couette. Mais de très nombreux autres savants ont joué un rôle majeur dans l'avancement de la connaissance des problèmes d'écoulement, y compris complexes et non linéaires, dans le champ et aux frontières, et ce dès le XIX^e siècle. L'enseignement au XX^e siècle a rapidement privilégié et isolé les formes mathématiques linéaires les plus simples, et évacué tout le reste, jusqu'à offrir parfois aux étudiants un déficit de sens physique.

Le temps joue un très grand rôle en rhéologie, comme l'atteste le nombre de Weissenberg. Or c'est aussi un thème éternel qui rend quelques dérives inévitables. On rencontre ainsi dans certains travaux des références aux textes sacrés et à des croyances variées bien étrangères à toute activité scientifique. Des détails techniques comme la proximité du r et du t sur les claviers, ou l'intervention intempestive de correcteurs typographiques qui veulent absolument remplacer rhéologie par théologie, ne font qu'accentuer le phénomène. Mais au-delà, toutes les sciences n'ont-elles pas été dans leur histoire soumises à l'épreuve des comportements humains : acharnements d'origine religieuse contre l'évolution des espèces ou la rotation de la Terre, interprétations hasardeuses des paraboles ambiguës énoncées par les philosophes anciens, voire autopersuasion des rayons N, de l'effet Jacq, ou de la mémoire de l'eau. La rhéologie ne peut faire exception.

Le troisième point de vue que je propose est relatif à la connaissance de la matière, au développement des arts et des techniques qui, le plus souvent, sont

préalables aux développements scientifiques, et se sont poursuivis continûment depuis des époques si anciennes que l'on ne sait pas les identifier. Si je dis que « Lucie faisait déjà de la rhéologie en dégustant son yaourt aux fruits », l'anachronisme et le raccourci voulus attirent l'attention sur le fait que l'homme pratique (pas exclusivement) depuis toujours la rhéologie sans le savoir dans chacune de ses trois fonctions de nutrition, de relation et de reproduction.

Les astres, le globe terrestre, les métaux qui ont permis de classer les époques successives de la préhistoire, ont impliqué et impliquent des écoulements complexes, à comprendre encore aujourd'hui.

Les différentes fabrications de pâtes thixotropes fournissent une trame historique sur au moins cinq millénaires. Elles ont donné accès aux pains, modes de conservation des céréales dans un emballage consommable, la croûte, et le geindre sentait tout à fait dans ses muscles les évolutions rhéométriques des pâtes qu'on le chargeait de pétrir. Ses plaintes étaient proportionnelles à la consistance.

Un second exemple de pâte édifiant est fourni par les argiles, utilisées depuis les temps les plus reculés pour des usages domestiques, pour la construction, ou pour l'ornement. Les briques sont probablement les premiers matériaux artificiels que l'homme ait fabriqués, et elles ont traversé tous les âges jusqu'à notre époque, aussi bien sous leur forme crue que cuites. La ville andine de Moquegua au sud du Pérou qui vient d'être gravement endommagée par un séisme était construite en adobes, briques simplement séchées au soleil. Pour fabriquer une brique, on doit franchir tout d'abord deux phases où la rhéologie est l'élément clé incontournable. On commence par l'apprêt, c'est-à-dire un pétrissage de l'argile avec dégraissage au sable ou engraissement à la chaux, et détrempe avec le moins d'eau possible, et puis c'est l'opération de moulage et découpe, avec contrôle des interactions de paroi, en particulier par saupoudrage de sable. Au pied et à la main, on sent bien les propriétés obtenues, et les produits peuvent être de qualité. Une production mécanisée est plus rentable, à condition de prendre garde aux défauts, et de traiter le problème de rhéologie associé à l'extrusion par exemple.

En somme, la rhéologie est universelle, on la rencontre dans tous les domaines de l'activité humaine aussi bien que dans les phénomènes naturels. Ses applications vont de la mise en forme des produits industriels quel qu'en soit le matériau, aux comportements de la matière vivante, en passant par la tenue des pneumatiques ou la durabilité des constructions. Son impact économique est donc considérable.

Et de surcroît, la rhéologie est très vivante. Les rhéologues sont enthousiastes et ils aiment leur activité. Ils ont la satisfaction de contribuer à des travaux scientifiques significatifs, en prise sur des réalités. Pour tout dire en québécois, la rhéologie c'est le fun.

Jean-Michel PIAU
Grenoble, 9 juillet 2001