

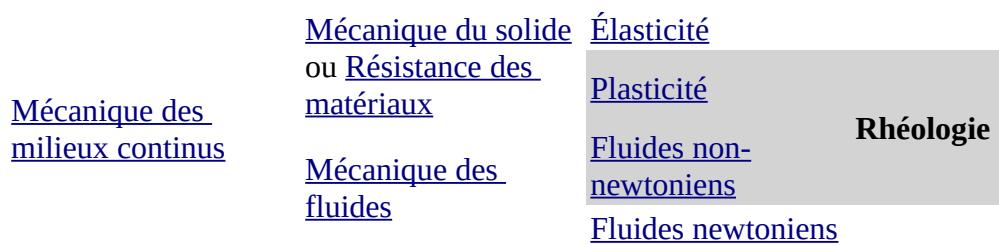
## Annexe : Fluides newtoniens – versus non newtoniens - Rhéologie

Wikipedia

La rhéologie (du grec rheo, couler et logos, étude) est l'étude de la déformation et de l'écoulement de la matière sous l'effet d'une contrainte appliquée.

Le terme rhéologie a été introduit en 1920 par Eugene Bingham, professeur à l'Université de Lehigh sur une suggestion de son collègue Markus Reiner. Le terme est emprunté à la fameuse expression d'Héraclite d'Éphèse « panta rei », « Tout s'écoule ».

Dans la pratique, la rhéologie est une extension des disciplines telles que l'élasticité et la mécanique des fluides newtoniens, aux matériaux dont le comportement mécanique ne peut être décrit par ces théories classiques. Elle permet également de déterminer les propriétés mécaniques macroscopiques à partir d'une étude basée sur la structure micro ou nanoscopique du matériau, par exemple la taille moléculaire et l'architecture d'un polymère en solution ou encore la distribution de taille de particules dans une suspension solide



La rhéologie unit des champs d'application apparemment sans rapport, les matériaux plastiques et les fluides non newtoniens, en supposant que les deux types de matériaux sont incapables de supporter une contrainte de cisaillement en équilibre statique, ce qui fait du solide plastique un fluide.

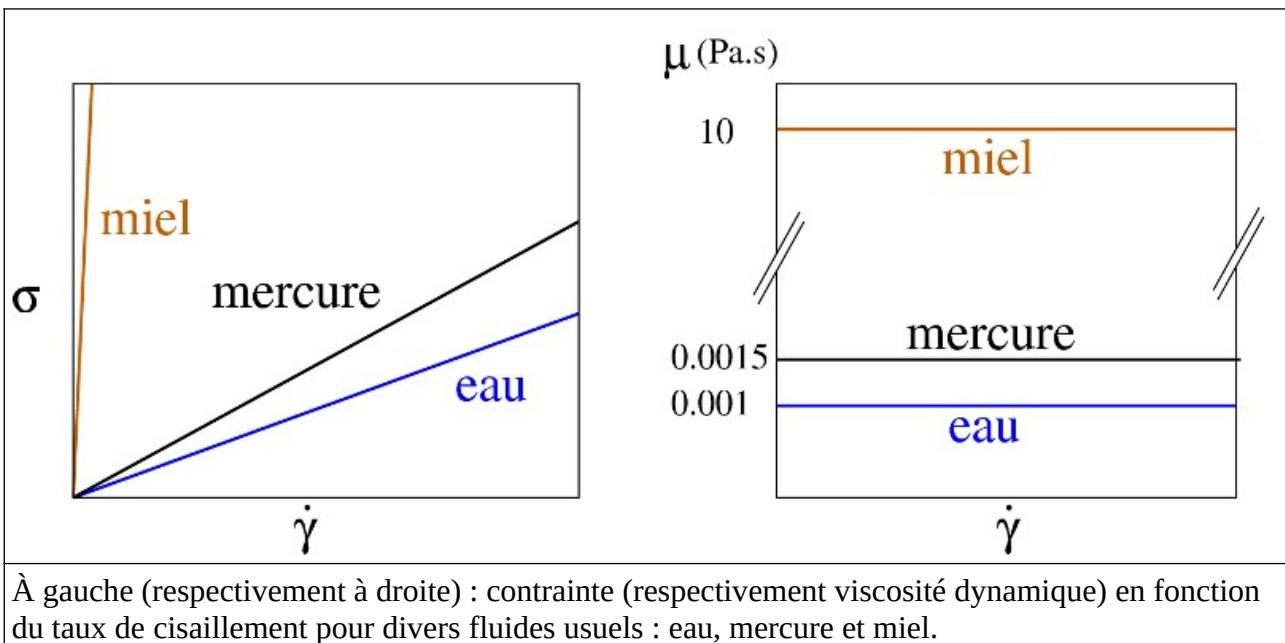
%%% adapté de

<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/comment-courent-les-fluides.xml>

### Fluides newtoniens

Les fluides usuels, dits newtoniens, présentent une relation simple entre contrainte ( $\sigma$  = force de frottement (force tangentielle) par unité de surface) et taux de cisaillement (noté ici  $\dot{\gamma}$ ; par exemple  $\dot{\gamma} = du/dz$  ou explication \*): ils sont proportionnels. Le coefficient de proportionnalité est appelé viscosité moléculaire dynamique  $\mu$  et l'on peut écrire :  $\sigma = \mu \dot{\gamma}$ . Cette viscosité se mesure en Pa.s. Les fluides qui vérifient cette relation de proportionnalité sont dit fluides newtoniens. On peut résumer ces propriétés en traçant  $\sigma$  en fonction de  $\dot{\gamma}$  (voir figure ci-dessous pour quelques fluides usuels), ou de façon équivalente en traçant la viscosité  $\mu = \sigma/\dot{\gamma}$  (qui est alors égale à une droite constante horizontale). Il faut noter que ces grandeurs peuvent varier fortement avec la température du fluide.

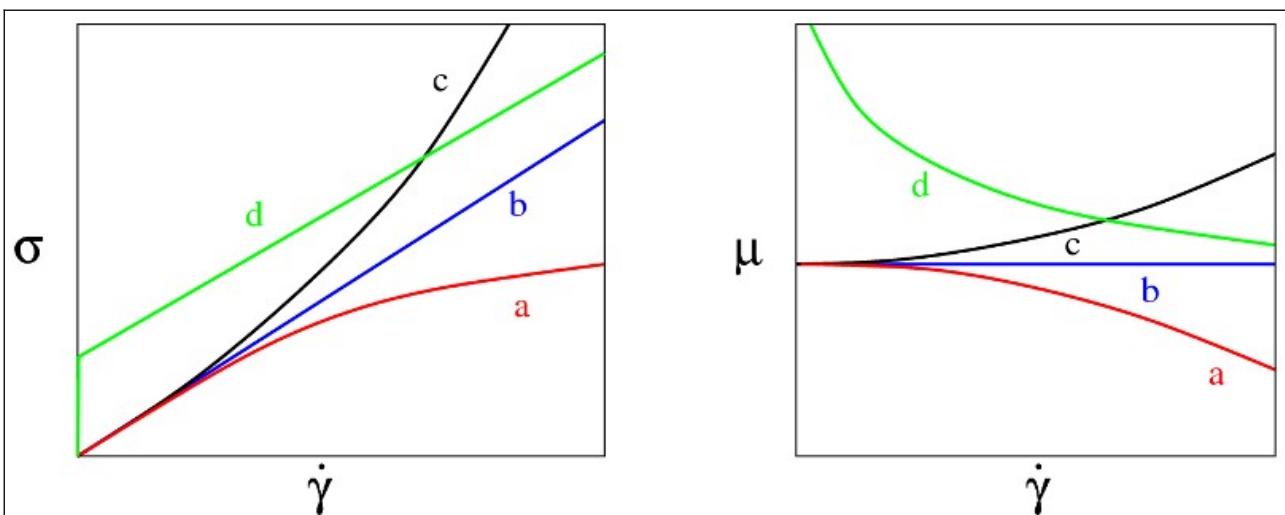
\*Note : Dans le cas de la cellule plan-plan, la force nécessaire pour cisailler le fluide est proportionnelle à la surface  $S$  des plaques et l'on définit la contrainte :  $\sigma = F / S$  (mesurée en Pascal). De plus, la grandeur pertinente pour caractériser l'intensité du cisaillement n'est pas la vitesse  $V$  mais la vitesse rapportée à l'épaisseur  $H$ . On définit ainsi le taux de cisaillement :  $\dot{\gamma} = V / H$  (mesuré en s<sup>-1</sup>).



L'eau et l'air sont de loin les fluides les plus présents dans la vie courante. Les propriétés de ces fluides usuels sont connues depuis des siècles. Il existe cependant de nombreux domaines dans lesquels des fluides dit complexes (ayant un comportement plus riche que les fluides usuels) revêtent une importance cruciale : l'écoulement du sang, du pétrole, des plastiques fondus, des gels à cheveux, du dentifrice ou encore des diverses préparations culinaires en sont des exemples.

### Fluides complexes

Si la majorité des fluides constitués de molécules simples ont un comportement newtonien, de nombreux autres fluides (dit non-newtoniens) n'obéissent pas à cette relation. Il s'agit des fluides complexes qui sont souvent constitués de molécules longues (polymères), de molécules chargées (farine de maïs comme celle vendue par la marque Maïzena) ou encore d'un mélange d'eau et de constituants « solides » (boues) ou biologiques (le sang). De façon générale, la viscosité effective de ces fluides, définie comme le rapport entre contrainte et taux de cisaillement  $\mu = \sigma/\dot{\gamma}$ , peut dépendre de nombreux paramètres physiques et peut par exemple évoluer avec le temps. Nous allons nous intéresser plus particulièrement aux fluides dont la viscosité ne dépend que du taux de cisaillement mais ne reste pas constante. On peut classifier ces fluides en trois catégories résumées sur la figure.



(a) rhéo-fluidifiant, (b) newtonien, (c) rhéo-épaisseurs et (d) à seuil. Les viscosités correspondantes ne sont plus constantes mais dépendent du taux de cisaillement.

Extrait et adapté de

<http://www.imaginascience.com/pratique/experiences-demonstrations/choix-experience-scientifique-amusante.php?choix=oobleck>

Il est assez facile de créer un fluide qui ne se comporte pas comme les fluides les plus courants. Il possède ce qu'on appelle un comportement non newtonien et sont très étudiés par les mécaniciens des fluides spécialistes de la rhéologie.

La rhéologie est la science qui étudie l'écoulement et la déformation de matière lorsque cette dernière est soumise à une contrainte (à une force en gros). "Non-newtonien" signifie que la viscosité du fluide change avec le taux de contraintes exercée sur le fluide. Bref, pour ce genre de fluide, on ne peut pas dire que sa viscosité soit constante dans les conditions CNTP (conditions normales de température et de pression) données comme l'on dirait pour l'eau par exemple.

Le fluide se comporte différemment selon la force ou le mouvement qu'on lui impose. Il existe différentes familles ensuite selon leurs caractéristiques mais on ne rentrera pas dans les détails ici. L'exemple le plus connu de ce type de fluide est la peinture acrylique en pot. Vous savez qu'il faut la tourner avec un bâton pour la fluidifier. Il s'agit d'un fluide dit thixotropique car sa viscosité (la "fluidité" diront les peintres) diminue au fur et à mesure des efforts.

De même, le Ketchup (thixotropique aussi) se fluidifie lorsqu'on agite le pot. Les sables mouvants et le sang sont aussi considérés comme des fluides non newtoniens et il existe aussi les colloïdes (comme les encres de Chine) ou les pâtes bondissantes (la pâte coule comme un liquide mais peut se rouler et rebondir sur une surface dure).