

La Rhéologie en BD – Tome I

La rhéologie est l'étude de l'écoulement de la matière (du grec *rheo* = couler et *logos* = étude).

Panta rhei : tout s'écoule !

Cette BD tire son inspiration de l'article

On the rheology of cats publié par M.A. Fardin en 2014, qui lui a valu le prix Ig Nobel.

Elle présente les bases de la rhéologie, avec l'aide de nos amis les chats.



Projet financé par le fonds *Rheology Venture Fund* de la Society of Rheology.



Pour en savoir plus sur la rhéologie, scannez ce code QR.

Cette BD est aussi disponible en :

English • 日本語
Ελληνικά • فارسی
العربية • Español

Et bientôt dans d'autres langues !

Les chats sont-ils solides ou liquides ?



La Rhéologie

des

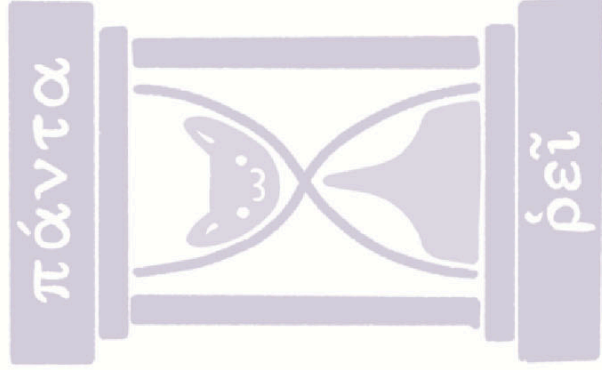
Chats



Rob Campbell et Caroline Martin

Traduction : Sandrine Burriel

Nous remercions
la Society of Rheology, M.A. Fardin,
ainsi que nos consultantes pédagogiques,
Victoria Russell et Kelsey Briselli.



2023

vi.1

GLOSSAIRE

Rhéologie : étude de l'écoulement de la matière dans différentes situations (particulièrement les matériaux qui ne sont pas purement solides, liquides ou gazeux).

Contrainte : quantité de force appliquée à un matériau.

Déformation : degré de changement de la forme d'un matériau.

Solide élastique : matériau qui conserve sa forme au repos et qui, après avoir subi une contrainte, reprend sa forme d'origine.

Solide plastique : matériau qui conserve sa forme au repos mais qui, après avoir subi une contrainte, ne reprend pas sa forme d'origine.

Limite d'élasticité : contrainte maximale qu'un matériau élastique peut supporter avant de devenir plastique.

Matériau fracturé : matériau qui a gardé sa forme mais qui s'est fissuré, cassé ou rompu.

Liquide visqueux : matériau qui s'écoule et prend la forme de son contenant.

Viscosité : « épaisseur » d'un matériau, mesure de la relation entre la contrainte et la vitesse de déformation. Cette valeur indique l'intensité de la contrainte nécessaire pour changer la vitesse de déplacement du matériau.

Vitesse de déformation : vitesse à laquelle la déformation évolue, à laquelle un matériau se déplace et change de forme.

Viscoplastique : qui se comporte comme un solide plastique à faible contrainte, et comme un liquide visqueux à forte contrainte (exemples : boue, dentifrice, mayonnaise).



Viscoélastique : dont la vitesse de déformation dépend du temps : comportement élastique sur une durée courte, écoulement visqueux sur une durée longue (exemples : tas de nouilles, ketchup).

Élastoplastique : qui présente une limite d'élasticité : comportement élastique à faible contrainte et plastique à forte contrainte (exemple : acier).

Élasto-viscoplastique : qui change de comportement selon à la fois l'intensité et la vitesse de déformation (exemple : lave).

Rhéoépaississement : phénomène observé dans le cas où la viscosité augmente avec le taux de cisaillement, et où une contrainte élevée peut provoquer des déformations faibles.

Rhéofluidification : phénomène observé dans le cas où la viscosité diminue quand le taux de cisaillement augmente, et où une contrainte faible peut provoquer une déformation importante.

Thixotropie : propriété d'un matériau dont le comportement change au fil du temps sous une contrainte constante ; retard ou « effet de mémoire » généralement causé par la structure interne du matériau.

Effet Weissenberg : phénomène observé quand un matériau mélangé par une tige en rotation remonte le long de la tige au lieu d'en être repoussé.

Confiement à la filière : phénomène où un matériau gonfle brièvement quand il s'écoule d'un robinet ou d'un contenant.

Mais finalement, que sont les chats ?

Des mammifères !

Des gardiens de l'Autre Monde dans la tradition celtique !

Dans l'Égypte ancienne, les gens pensaient qu'ils avaient une énergie divine !

C'est le quatrième animal du zodiaque vietnamien !



Nous ne pourrions peut-être jamais comprendre pourquoi les chats se comportent comme ils le font, mais nous savons qu'ils suivent leurs propres règles, comme c'est le cas de nombreux matériaux.



Il y a encore beaucoup de choses que nous ne comprenons pas au sujet des matériaux qui sont à la fois solides et liquides. La rhéologie nous montre que ces comportements complexes dépendent de la relation entre la contrainte et la déformation, et de la manière dont elles évoluent dans le temps.

Mais chaque matériau est légèrement différent... tout comme les chats !

Lequel est ton préféré ?

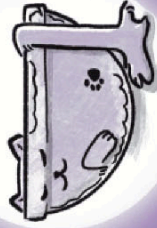
Les chats sont-ils solides ou liquides ?

Nous connaissons la matière sous trois états principaux :

SOLIDE



LIQUIDE



GAZEUX



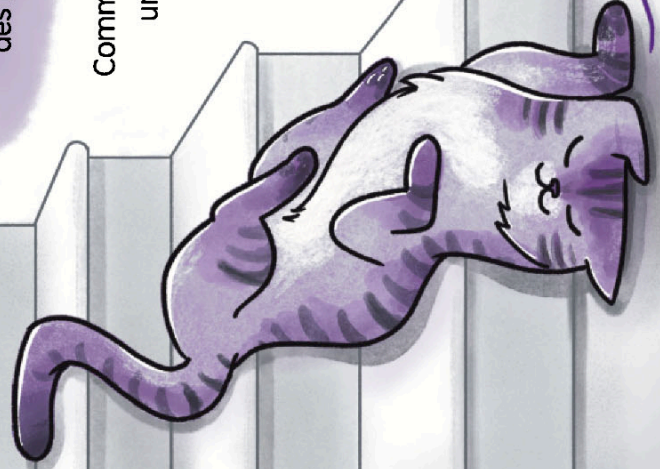
Les solides ont une forme définie.

Les liquides et les gaz prennent la forme de leur contenant.

Mais qu'en est-il des matières entre-deux ?

Comment mesurer à quel point un matériau est « solide » ou « liquide » quand il se comporte comme les deux ?

Nous pouvons faire appel à **la RHÉOLOGIE !!**

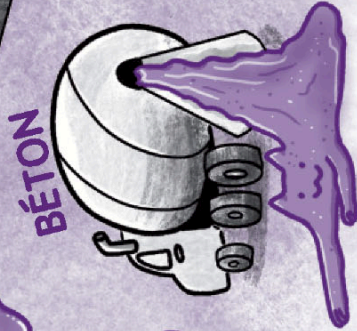
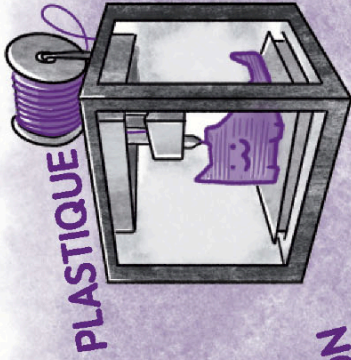


La rhéologie est l'étude de l'écoulement de la matière.

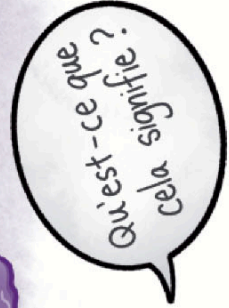
Les rhéologues étudient à quel point un matériau est « solide » ou « liquide », et utilisent ces informations pour adapter les propriétés d'élasticité de certains matériaux !



Des choses comme...



Les rhéologues mesurent comment un matériau se comporte dans le temps en étudiant la **contrainte** et la **déformation**.



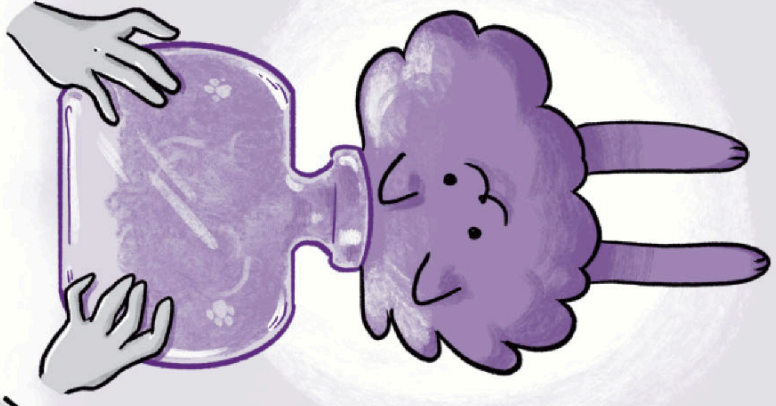
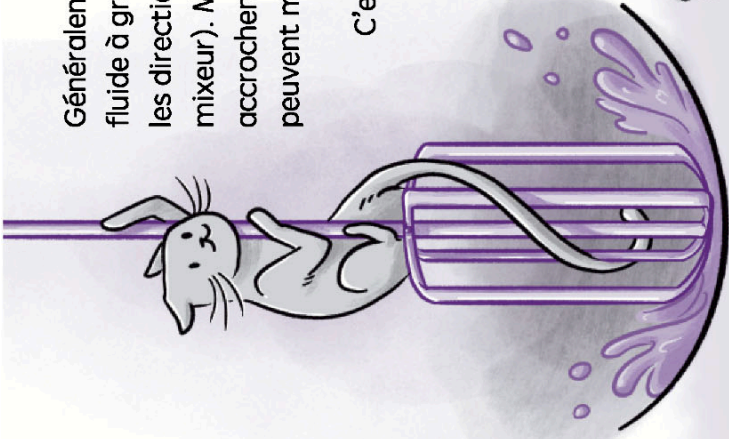
Généralement, quand vous mélangez un fluide à grande vitesse, il vole dans toutes les directions (comme des œufs dans un mixeur). Mais certains matériaux accrochent au mixeur, comme un chat, et peuvent même remonter le long de la tige !

C'est ce que l'on appelle

L'EFFET WEISSENBERG

L'eau s'écoule d'un robinet de façon plutôt régulière, mais certains fluides viscoélastiques changent de volume et gonflent lorsqu'ils s'écoulent d'un contenant.

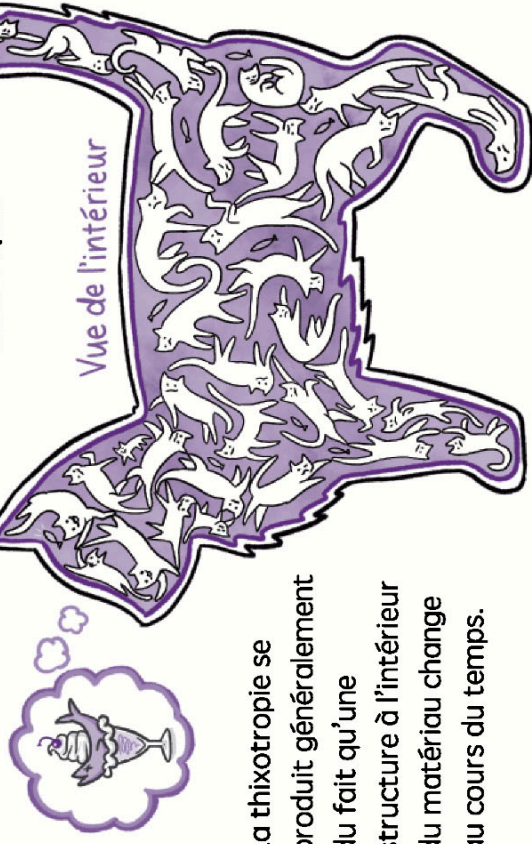
C'est ce que l'on appelle le
**GONFLEMENT À
LA FILIÈRE**



Si vous appliquez la même contrainte à la même vitesse pour une longue durée, parfois le comportement du chat change ! C'est comme s'il y avait un retard pendant que le chat choisit comment réagir à la contrainte.

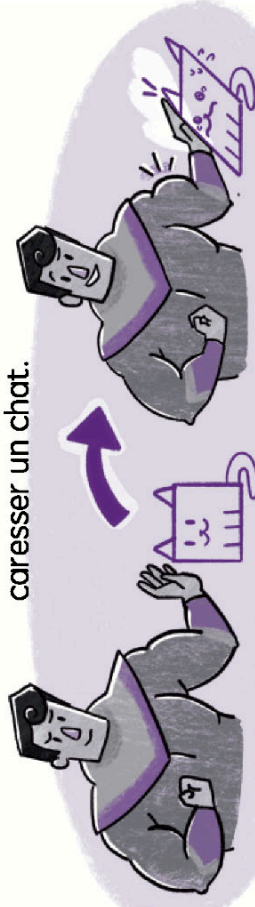


Quand les matériaux ont un comportement dépendant du temps comme celui-ci, nous appelons ce phénomène **thixotropie**.



La thixotropie se produit généralement du fait qu'une structure à l'intérieur du matériau change au cours du temps.

Imaginez qu'un super-héros géant essaie de caresser un chat.



La force de cette caresse est appelée **contrainte**. Le fait que le chat est comprimé et change de forme est appelé **déformation**. Une contrainte forte provoque une déformation importante.

Imaginez maintenant qu'une petite fée essaie de caresser un chat.



Comme la contrainte est minimale, le chat subit très peu de déformation. Une contrainte faible provoque une petite déformation.

Qu'en est-il si l'intensité de la contrainte change dans le temps ?



En rhéologie, il est important de savoir comment la contrainte et la déformation évoluent dans le temps, et si ce changement est rapide ou lent.

Généralement, la contrainte et la déformation sont liées : plus la contrainte est forte, plus la déformation est grande. Mais ce n'est pas toujours le cas ! Nous y reviendrons plus loin.

Quel est le rapport avec les solides et les liquides ?

Commençons par les solides. Sur une courte durée, un chat se comporte comme un solide.



Il peut être :

ÉLASTIQUE ET TENDRE

Lorsqu'un chat est surpris, il se comporte comme un solide **élastique**.



Comme une balle anti-stress, un chat reprend sa forme d'origine après avoir subi une contrainte et une déformation.

Cette capacité à retrouver sa forme d'origine est appelée « élasticité ».



Parfois, une contrainte plus forte ne se traduit pas par une déformation plus importante.

Si vous augmentez la contrainte sur un chat, cela n'augmente pas toujours sa déformation. En revanche, le chat peut passer de l'état détendu...



RHÉOÉPAISSISSEMENT

... à une raideur soudaine : il est prêt à attaquer ! Sa viscosité grandit avec l'augmentation du taux de cisaillement, et une contrainte forte ne cause alors qu'une déformation faible : ce phénomène est appelé **rhéoépaississement**.



Mais l'application d'une contrainte peut aussi aider le chat à passer d'un état raide à un état super détendu...



Sa viscosité diminue à mesure que le taux de cisaillement augmente, et une contrainte faible peut causer une déformation importante : ce phénomène est appelé **rhéofluidification**.

De nombreux matériaux présentent une combinaison de comportements élastiques, plastiques et visqueux, exactement comme un chat.

VISCOPLASTIQUE



Matériau qui est un solide plastique à faible contrainte et un liquide visqueux à forte contrainte (exemples : boue, dentifrice, mayonnaise)

VISCOÉLASTIQUE



Matériau dont la vitesse de déformation dépend du temps : il est élastique sur une durée courte, et un fluide visqueux sur une durée longue (exemples : tas de nouilles, ketchup)

ÉLASTOPLASTIQUE



Matériau solide présentant une limite d'élasticité : il est élastique quand la contrainte est faible, et plastique quand la contrainte est élevée (exemple : acier)

ÉLASTO-VISCOPLASTIQUE

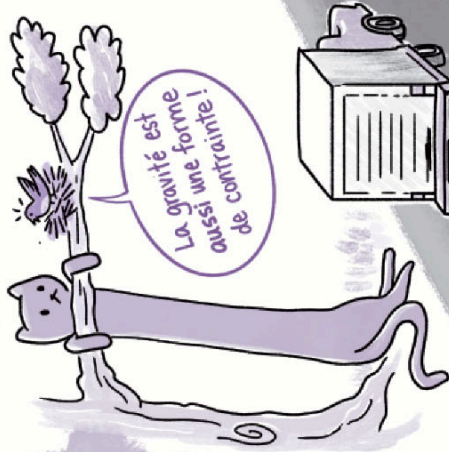


Matériau dont le comportement dépend à la fois de l'intensité et de la vitesse de déformation (exemple : lave)

Le comportement d'un tel matériau dépend des relations complexes entre contrainte et déformation, il peut donc avoir des résultats inattendus et imprévisibles.



Certains solides, comme l'argile, ne reprennent pas leur forme d'origine. Un solide **plastique** soumis à une contrainte va être étiré ou écrasé. Il reste dans cet état jusqu'à l'application d'une nouvelle contrainte. Cette capacité à changer de forme est appelée « plasticité ».

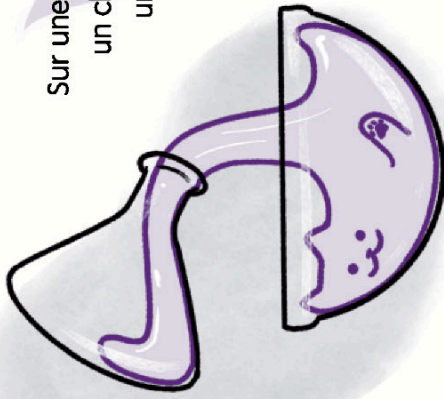


Un chat est initialement dans un état élastique, jusqu'à ce qu'il atteigne sa **limite d'élasticité** : c'est l'intensité ou la vitesse de contrainte au-delà de laquelle il ne reprend plus sa forme et devient plastique.

Mais si vous appliquez une contrainte trop forte à n'importe quel solide...

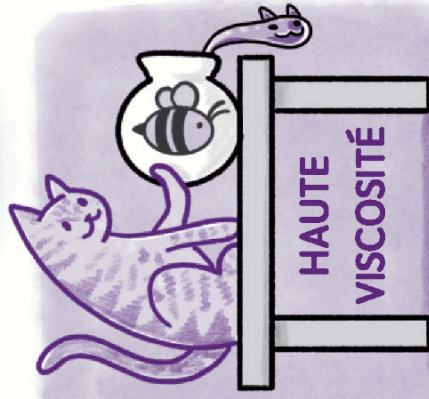


... il finit toujours par y avoir une rupture.



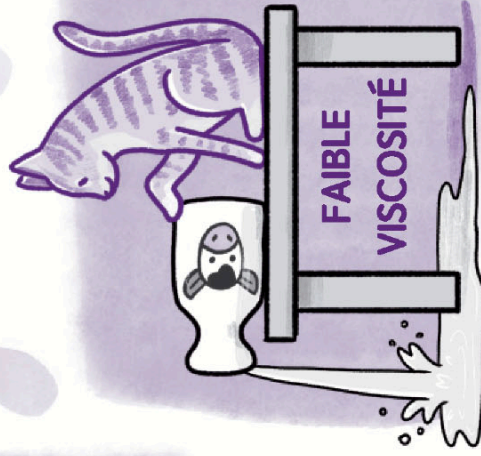
Sur une échelle de temps plus longue, un chat se comporte comme un liquide et prend la forme du contenant qu'il occupe.

Comparé à l'eau, un chat est plus **visqueux** : il est un peu plus épais.



Un liquide de faible viscosité est plus fluide et s'écoule rapidement, comme l'eau ou le lait.

Comment étudier la relation entre contrainte et déformation dans un liquide ? C'est dur !

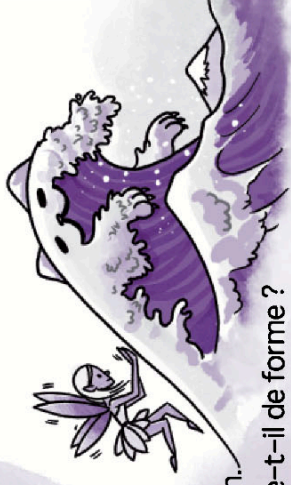


Il a une **viscosité** plus élevée et s'écoule plus lentement, comme du miel ou du sirop.

Les liquides sont toujours en mouvement : par conséquent, l'intensité de la déformation change constamment.

À la place, nous pouvons examiner la rapidité de la variation de la déformation.

À quelle vitesse le liquide change-t-il de forme ? C'est ce que l'on appelle la **vitesse de déformation**.



La viscosité traduit la relation entre la contrainte et la vitesse de déformation. Elle nous indique la contrainte qu'il faudrait appliquer pour changer la vitesse de déplacement du liquide.



Modifier la vitesse de déformation d'une matière à faible viscosité, comme l'eau, ne demande pas beaucoup d'effort. Mais pour changer la vitesse de déformation d'une matière très visqueuse, comme un chat, il faut une contrainte plus forte.

(La viscosité peut devenir encore plus compliquée quand on change l'environnement, par exemple la température. Ainsi, du miel chaud s'écoule plus vite que du miel froid.)