



CAPSULE SCIENTIFIQUE N°1 : LA RHÉOLOGIE

Quel est le point commun rhéologique entre
le caramel, le béton et le dentifrice ?



Capsule scientifique n°1 : LA RHÉOLOGIE

Quel est le point commun rhéologique entre le caramel, le béton et le dentifrice ?

Pour trouver ce point commun, intéressons-nous à la **rhéologie des caramels**.

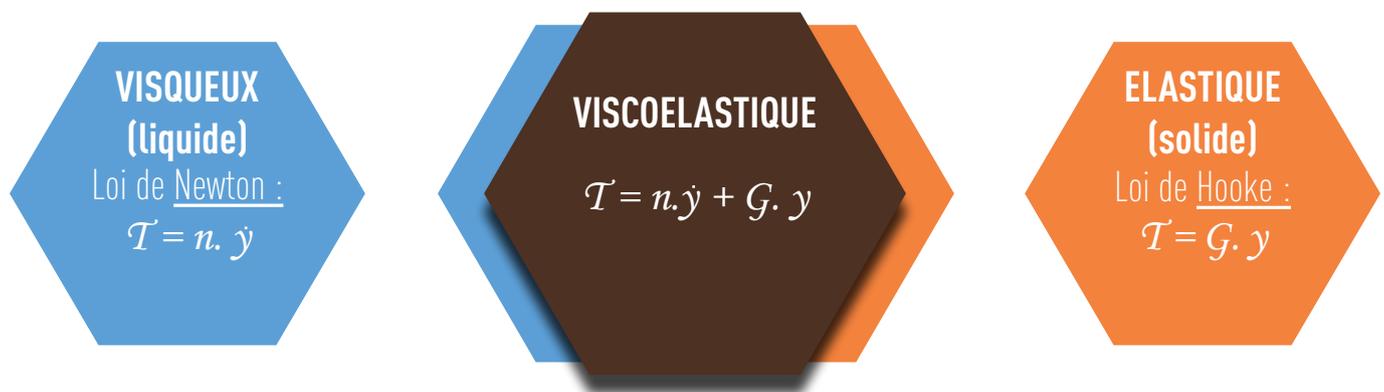
Depuis plus de 5 ans, l'équipe R&D Caramel de METAROM met la rhéologie de ses caramels au centre de ses **projets scientifiques**. En complément de la veille bibliographique, des études sont menées en partenariat avec l'**Université de Technologie de Compiègne** afin d'approfondir nos connaissances sur les propriétés rhéologiques de nos fourrages.

La rhéologie, pas simplement une mesure de viscosité

La rhéologie est la science qui **étudie et décrit l'écoulement, la déformation et la rupture de corps sous l'effet d'une contrainte**. Par abus de langage, le terme de **viscosité** est souvent employé pour décrire la texture d'un produit. Or il est plus judicieux de parler de sa **rhéologie**. En effet la rhéologie d'un caramel englobe tout un ensemble de paramètres utiles à la compréhension de sa texture : la viscosité n'est qu'un de ces paramètres.

Le caramel fourrage, un fluide viscoélastique

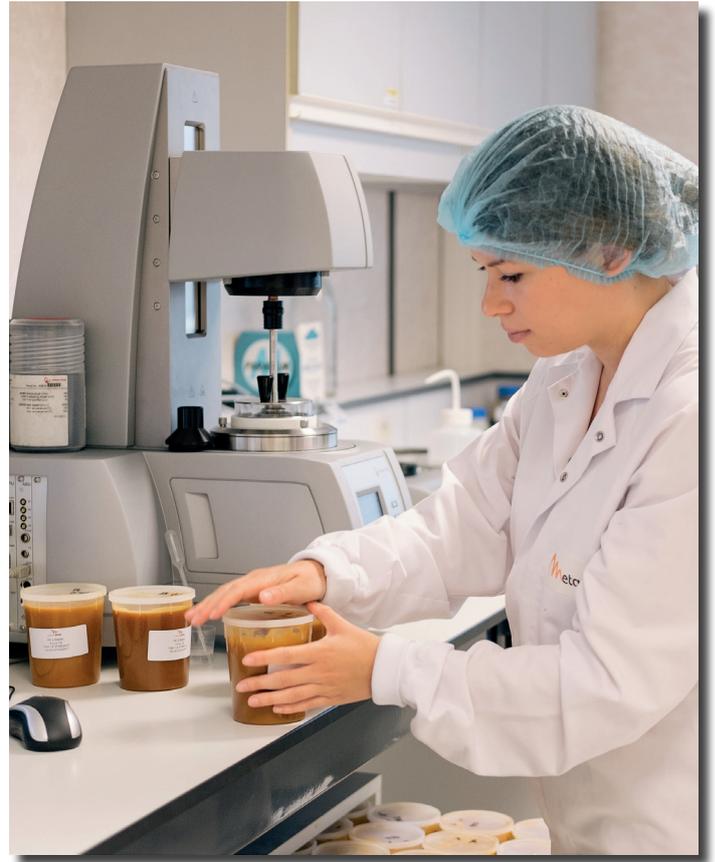
Comme beaucoup de fluides alimentaires, le caramel fourrage est un fluide **viscoélastique**. Ces fluides se situent entre les liquides visqueux, comme le miel, et les solides élastiques, comme les gels :

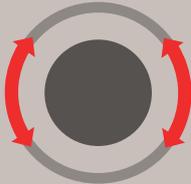
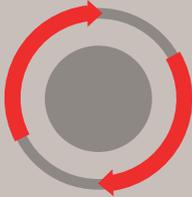


En fonction des contraintes appliquées, le caramel pourra donc se comporter plutôt comme un liquide, visqueux, ou plutôt comme un solide, élastique. Une contrainte est une force appliquée sur une surface donnée du produit mesuré, ici le caramel.

Un rhéomètre, deux méthodes de mesures

L'outil de mesure utilisé est un **rhéomètre** (Anton Paar). Le rhéomètre possède une enceinte thermo-réglée et permet la réalisation d'essais soit en **rotation** simple, soit en **oscillation**. Lors d'une mesure, le module du rhéomètre enregistre la **contrainte de cisaillement**, en Pa, c'est-à-dire la résistance qu'exerce le caramel pour sa mise en mouvement à une certaine vitesse, convertie en **gradient ou vitesse de cisaillement**, en s^{-1} . Pour les essais en **rotation**, cette contrainte est traduite en **viscosité**, par la **loi de Newton**. Pour les essais en **oscillation**, cette contrainte est traduite en **module de perte G''** et en **module de stockage G'** . Le module de perte G'' caractérise le comportement visqueux (liquide) tandis que le module de stockage G' caractérise le comportement élastique (solide), c'est-à-dire la rigidité du matériau viscoélastique.

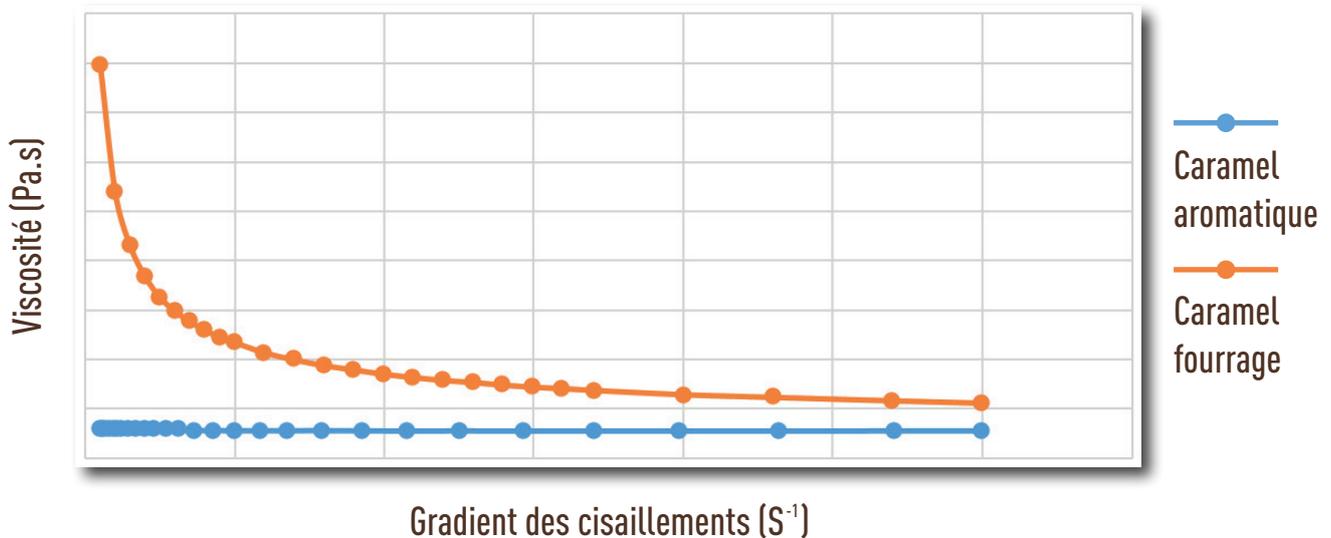


	OSCILLATION	ROTATION
Type de mouvement provoqué		
Principaux paramètres d'entrée	Fréquence d'oscillation (Hz) Amplitude de la déformation (%) Température (°C)	Vitesse de cisaillement $\dot{\gamma}$ (s^{-1}) Température (°C)
Principaux paramètres de sortie	Module de perte G'' Module de stockage G'	Contrainte de cisaillement τ (Pa)

Les tests en rotation, un outil standard d'étude

Les tests en rotation permettent de **déterminer la viscosité à une température spécifique, en fonction de la vitesse de cisaillement**. Dans le cas des caramels, les types de comportement observés peuvent être :

	Type de comportement	
	Newtonien	Non Newtonien de type rhéofluidifiant
Evolution de la viscosité avec \nearrow du cisaillement	=	\searrow
Exemples	Caramel aromatique non texturé	Caramel aromatique texturé Caramel fourrage



Graphique 1 - Exemple de rhéogramme d'un caramel aromatique non texturé et d'un caramel fourrage

Un fluide **thixotrope** est caractérisé par une **diminution de la viscosité lors d'un cisaillement constant plus ou moins long**. Ce phénomène est **réversible**. Une fois que le fluide n'est **plus cisailé, il reprend totalement ou partiellement sa viscosité initiale**. Certains de nos caramels texturés sont des fluides thixotropes. En effet, après conditionnement, le caramel évolue, la cristallisation de la matière grasse ou la fonctionnalisation des texturants s'opère, sa structure se stabilise, il s'épaissit.

Néanmoins lorsque le fourrage est à nouveau soumis à une contrainte, sa structure est à nouveau désorganisée et il se liquéfie. En pratique, cela va se traduire par une liquéfaction du produit par exemple lors de l'étape d'amorçage du pompage du caramel. Néanmoins grâce à ses propriétés de thixotropie, le caramel va s'épaissir à nouveau une fois incorporé dans un biscuit, un chocolat ou une autre application.

Un fluide à **seuil** possède une **contrainte seuil** τ_0 , représentant la **contrainte minimale de cisaillement** à appliquer sur ce fluide **pour le faire s'écouler**. Cette valeur est déterminée minutieusement par modélisation : la **régression de Casson** est utilisée généralement pour nos caramels. Nos caramels texturés sont des fluides à seuil. Cette régression nous renseigne également sur la **viscosité infinie** n_∞ , viscosité minimale du fourrage sous un cisaillement **extrêmement fort**.

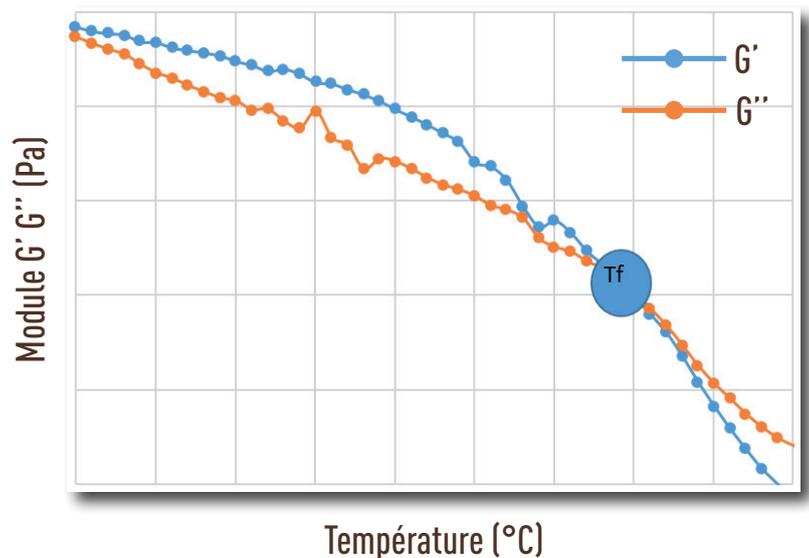
Ces mesures en rotation nous aident à garantir la conformité de nos productions et à maîtriser les éventuels changements d'échelle entre pilote et production. Ces données peuvent également être exploitées par exemple pour choisir la puissance d'une pompe à utiliser.

Les tests en oscillation, un outil prédictif

Les tests d'oscillation permettent de **prédire le comportement du caramel** et plus particulièrement **les conditions de son passage de l'état liquide à solide**. En effet :

- Dans le cas où G'' est supérieur à G' , le caramel se comportera comme un **liquide**
- Dans le cas où G' est supérieur à G'' , le caramel se comportera comme un **solide**

Prenons l'exemple d'un balayage en température (graphique 2), avec fréquence et déformation fixées. La température de fusion du caramel, à savoir le passage de son état solide à son état liquide, pourra être déterminée. Ces données nous permettent d'accompagner au mieux nos clients industriels en fonction des caractéristiques process de leur ligne de fabrication et des spécificités inhérentes aux fourrages (par exemple ici, la température idéale de traitement).



Graphique 2 - Exemple d'une mesure de balayage en température

Maintenant que vous en savez plus sur la rhéologie des caramels fourrages, voyez-vous quel est le **point commun rhéologique** entre le caramel fourrage, le béton et le dentifrice ?

En réalité, il y en a **plusieurs**. Tous les trois sont **viscoélastiques**. En effet, en fonction de la température, ils peuvent être soit plutôt liquides, soit plutôt solides. En outre, dans des conditions normales d'utilisation, ils **possèdent tous les trois une contrainte seuil**, contrainte minimale à appliquer afin de pouvoir s'écouler ! Et heureusement pour le dentifrice !



Marie RABET

Ingénieur R&D Caramel
marie.rabet@metarom.fr