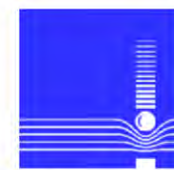




LGP₂



Laboratoire de Rhéologie

IMPACT DE GOUTTE DE FLUIDES A SEUIL



Thèse soutenue le 14 décembre 2010 par Alireza SAIDI

Sous la direction de:

M. Albert Magnin

M^{me} Céline Martin



- Introduction
- Fluide et Dispositif expérimental
- Influence de l'amplitude du seuil

Influence of yield stress on the fluid droplet impact control, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Vol. 165, Issue 11-12 (2010)

- Influence des propriétés d'interface

Effects of surface properties on the impact process of a yield stress fluid drop, Experiments in Fluids, DOI 10.1007/s00348-011-1040-3, Online First janvier 2011.

- Influence des effets visqueux

Influence of viscous effects on the drop impact of yield stress fluids, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, à soumettre.

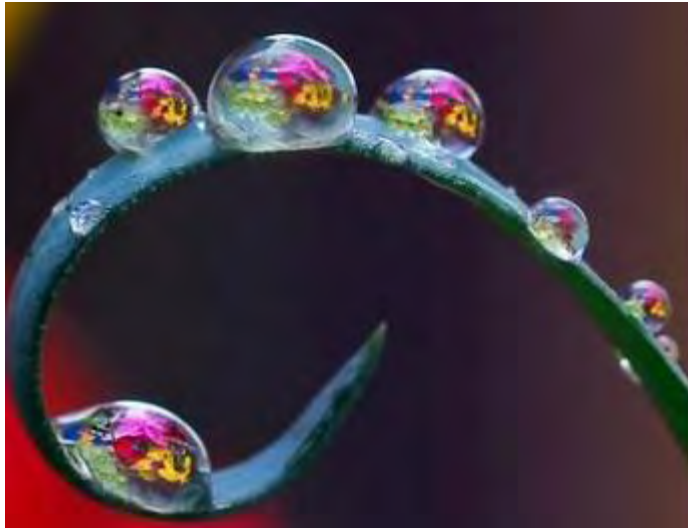
- Conclusions



Introduction

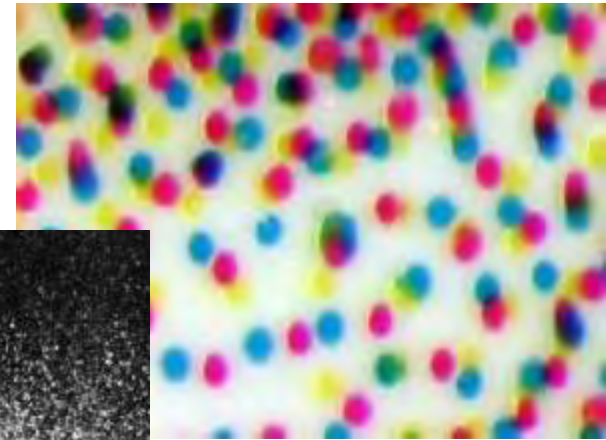
Large présence du phénomène d'impact de goutte au quotidien

Dans la nature

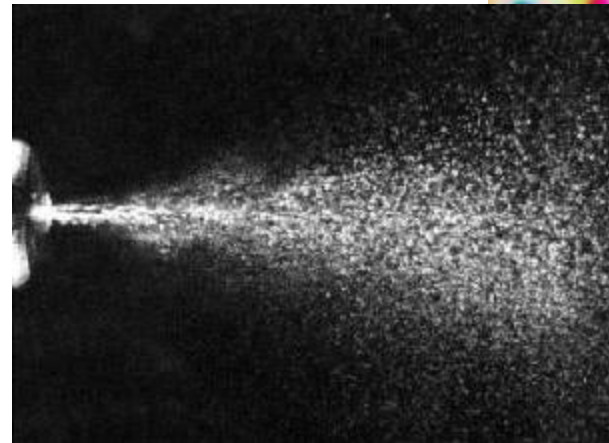


Pulvérisation d'engrais ou d'insecticide

Dans l'industrie



Impression numérique:
collection de points de couleur



Injection de carburant

Impact de goutte de fluide newtonien sur une surface solide



(Rioboo et al. 2001)

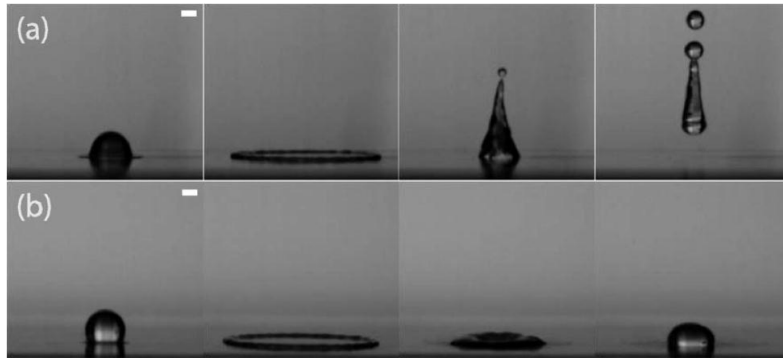


Introduction

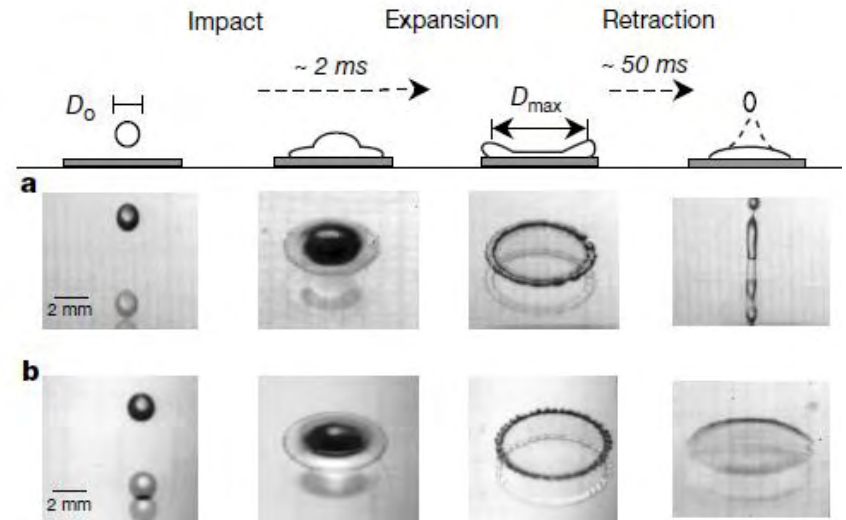
Fluide non-newtonien → Mieux contrôler le dépôt de la goutte (1)

Viscoélasticité, viscosité élongationnelle, efforts normaux

⇒ Inhibition du rebond ou ralentissement du retrait de la goutte



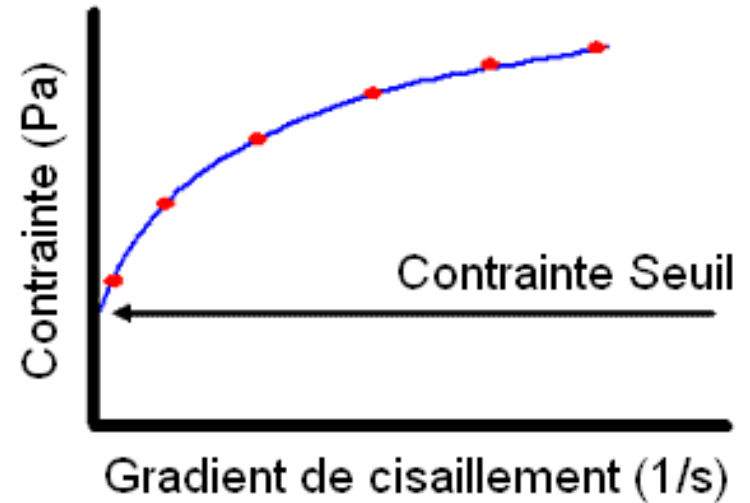
(Bartolo et al. 2007)



(Bergeron et al. 2000)

Introduction

Fluide non-newtonien → Mieux contrôler le dépôt de la goutte (2)



Fluides à seuil : Nigen (2005)

⇒ **Suppression du retrait**

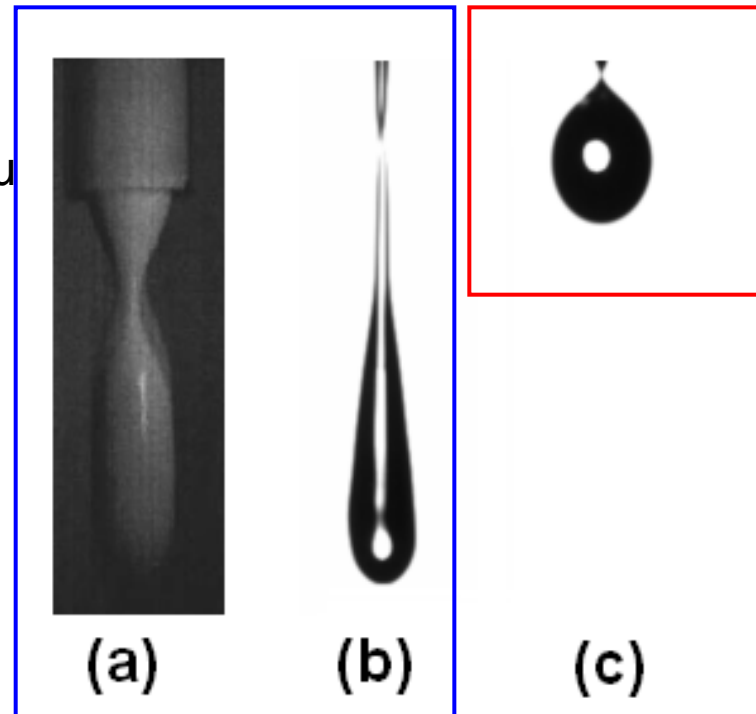
Germain et Bartola (2009), Luu et Forterre (2009)

Gouttes de fluide à seuil

Le seuil d'écoulement s'oppose à la formation de la goutte

A des valeurs élevées du seuil :

Formation d'une goutte d'un aspect cylindrique



Choix d'un capillaire et valeurs de seuil appropriés:

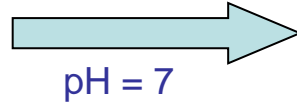
Tension de surface jamais négligeable dans formation de la goutte



Fluide et dispositif expérimental

Fluide modèle: gel de Carbopol

Résines réticulées de polyacrylique acide polydispersées dans une phase aqueuse

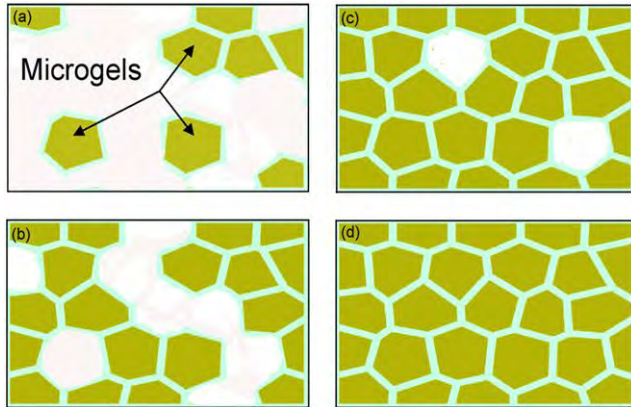


Groupes carboxylate ionisés

Répulsion mutuelle ionique



Suspension de microgels



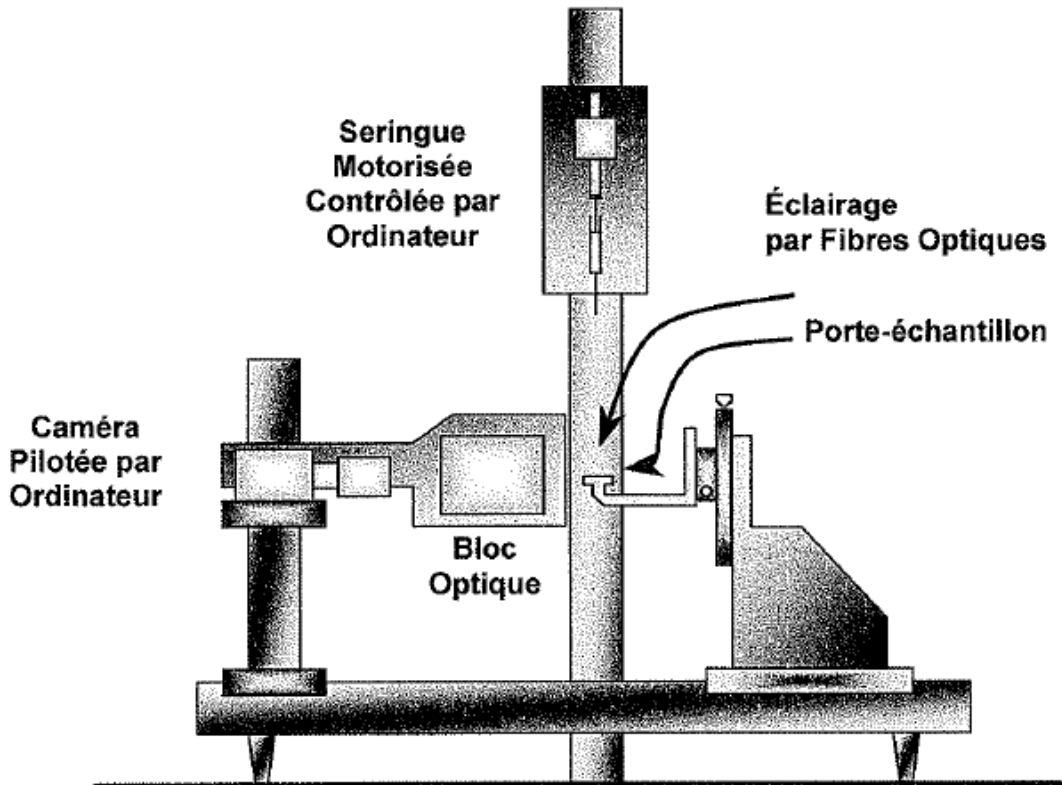
(Piau 2007)

- Comportement élastoviscoplastique
- Pas de thixotropie et de propriétés élongationnelles particulières
- Propriétés macroscopiques ~ concentration en microgels
- Glissement à la paroi

Comportement rhéologique modélisé par la loi de Hershel-Bulkley

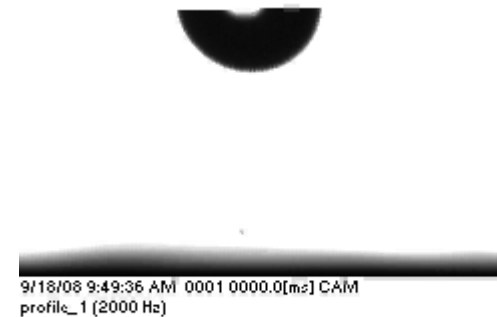
$$\begin{cases} \underline{\underline{\tau}} = 2 \left(k(\sqrt{-4D_{II}})^{n-1} + \frac{\tau_0}{\sqrt{-4D_{II}}} \right) \underline{\underline{D}} & \text{si } -\tau_{II} > \tau_0^2 \\ \underline{\underline{D}} = 0 & \text{si } -\tau_{II} \leq \tau_0^2 \end{cases}$$





Dispositif DMD (Centre Technique du Papier)

- Gouttes générées sous leur propre poids
- Hauteur de chute des gouttes
↳ Vitesse d'impact (V_0)



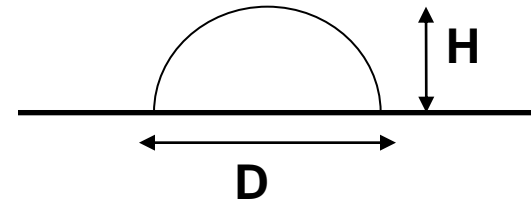
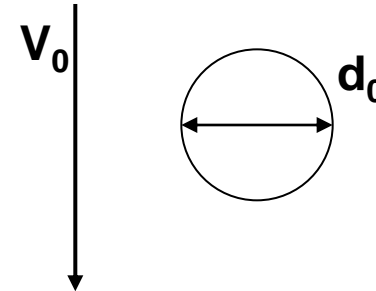
Logiciel de traitement d'image

↳ Calcul de **D**, **H**

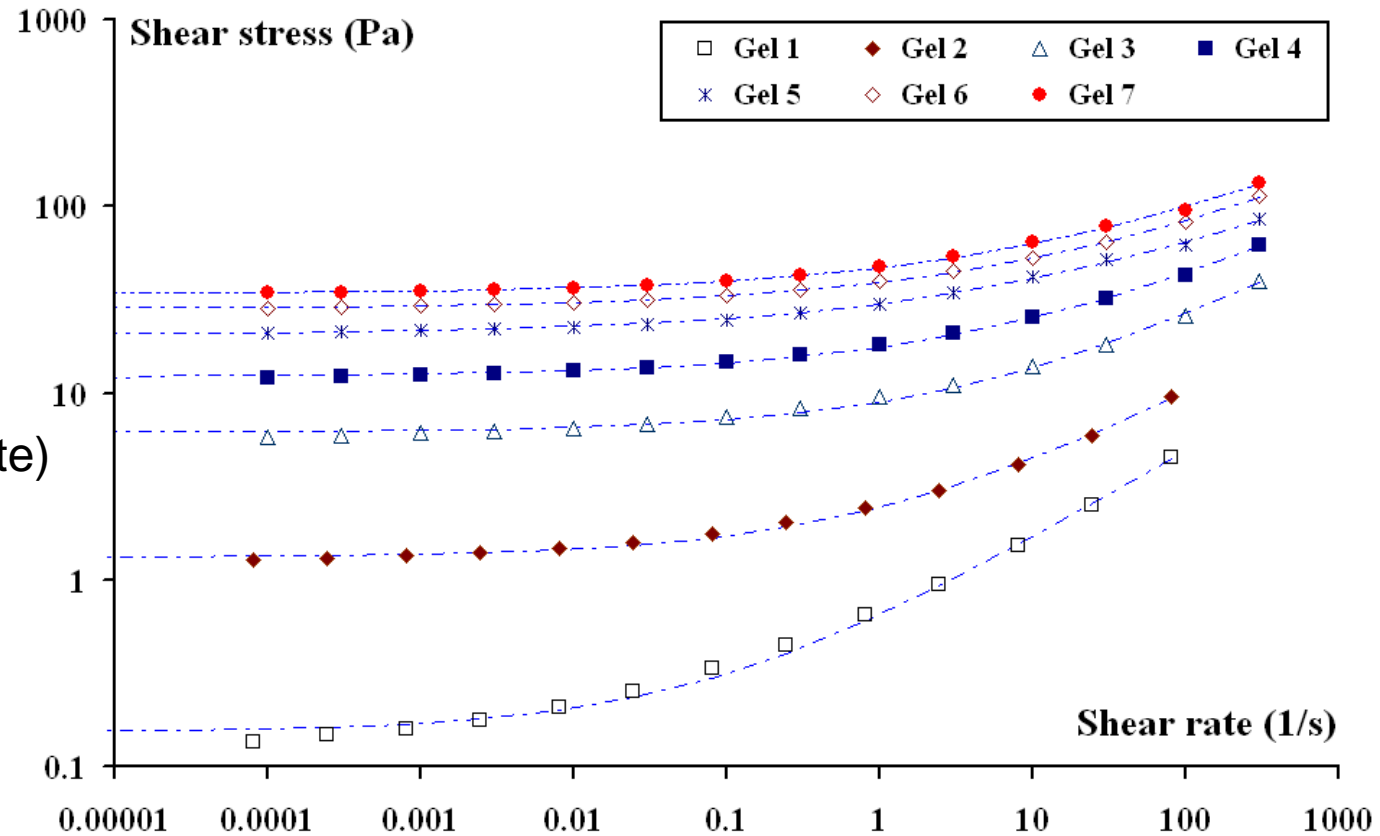
Suivi de l'évolution dynamique de la goutte

↳ $D^* = D/d_0$ $H^* = H/d_0$

d_0 : diamètre de la sphère équivalente du même volume que la goutte



Substrat
assez hydrophobe
PMMA
(polyméthylméthacrylate)



Gel	1	2	3	4	5	6	7
τ_0 (Pa)	0.14	1.3	5.8	12	21.1	28.3	34.3
k (Pa.s ⁿ)	0.5	1.2	3	5.5	9.1	10.8	12.8
n	0.49	0.43	0.42	0.38	0.37	0.36	0.35
G' (Pa)	5.5	19	40	99.4	234	270	337

Courbes d'écoulement des gels de Carbopol à 25°C et modélisées par l'équation d'Herschel-Bulkley (lignes en pointillé)



Morphologie des gouttes

Gouttes de plus en plus allongées avec l'augmentation du seuil

Formes de plus en plus sphériques au cours du vol

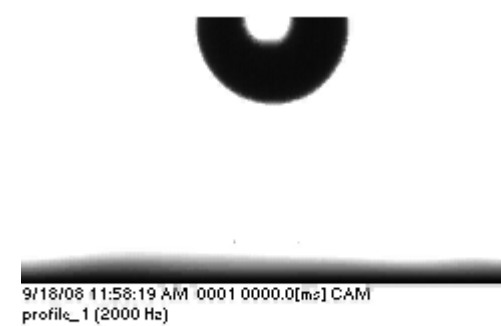
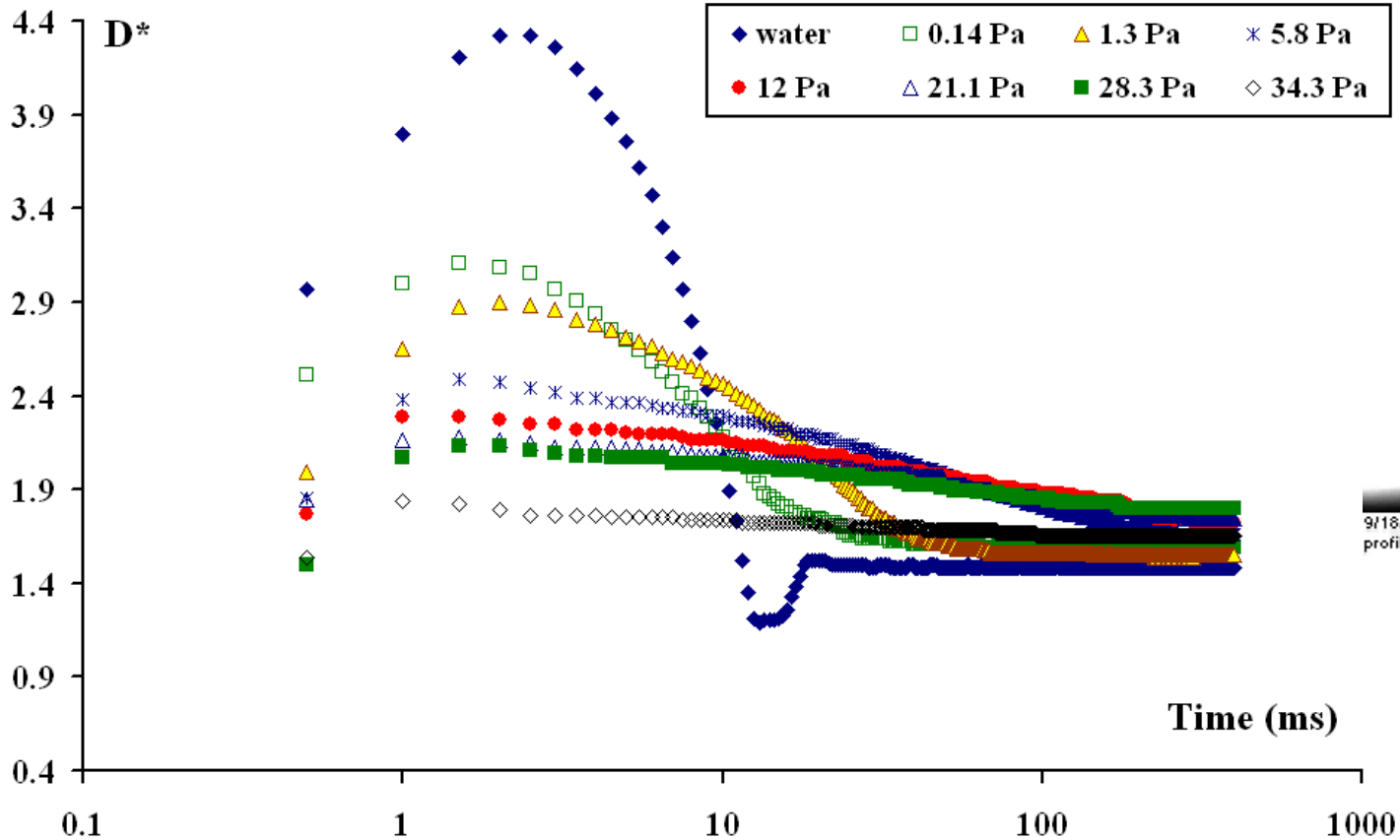
	0.14 Pa	1.3 Pa	5.8 Pa	12 Pa	21.1 Pa	28.3 Pa	34.3 Pa
Pinch-off (a)							
0.3 m/s (b)							
0.6 m/s (c)							
1.4 m/s (d)							
2 m/s (e)							
3 m/s (f)							

(a) 1ms après détachement et (b-f) 1ms avant impact



Influence de l'amplitude du seuil

Comportement dynamique à Weber élevé



Seuil \uparrow \Rightarrow étalement inertiel \downarrow et Retrait \downarrow


Propriétés des substrats

Hydrophobe : PMMA (polymethylmetacrylate)


Hydrophile : PA (polyamide)

Rugosités différentes à nature chimique similaire

Substrat	Energie de surface (mJ/m²)	Composante dispersive (mJ/m²)	Composante polaire (mJ/m²)
PMMA0.03	32.9±0.2	24.6±0.11	8.3±0.17
PA0.02	48.7±0.6	28.9±0.26	19.7±0.7

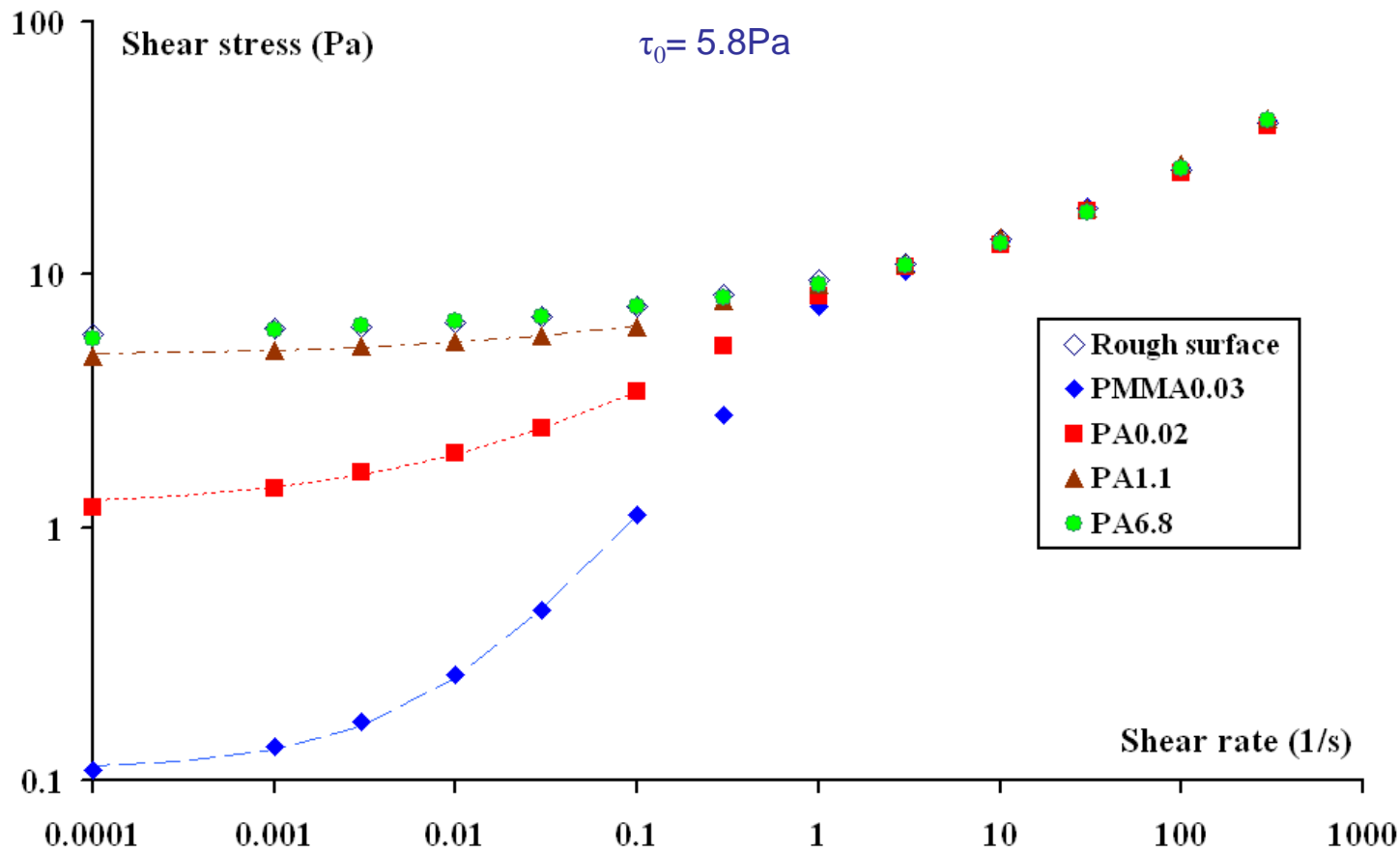


Substrat	PMMA0.03	PA0.02	PA1.1	PA6.8
Ra (µm)	0.03	0.02	1.1	6.8



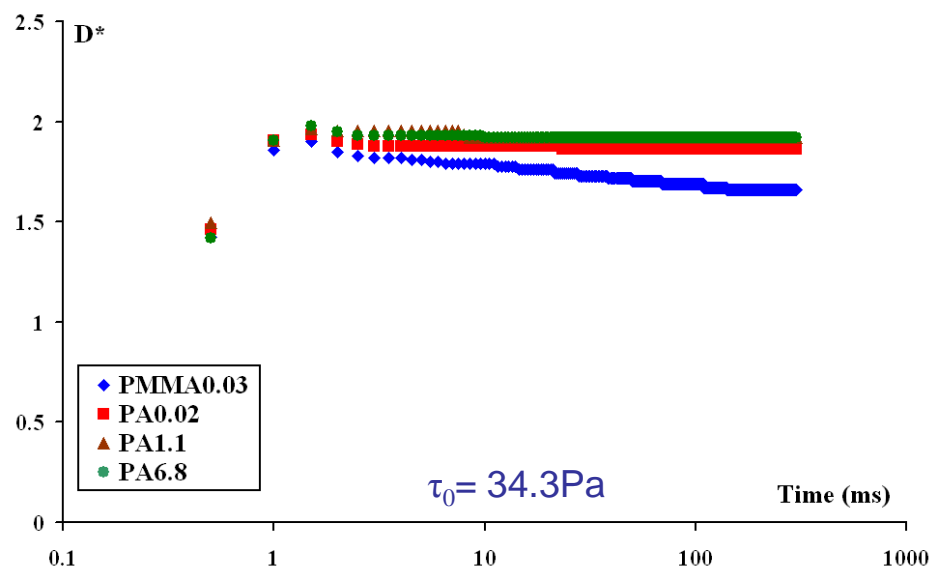
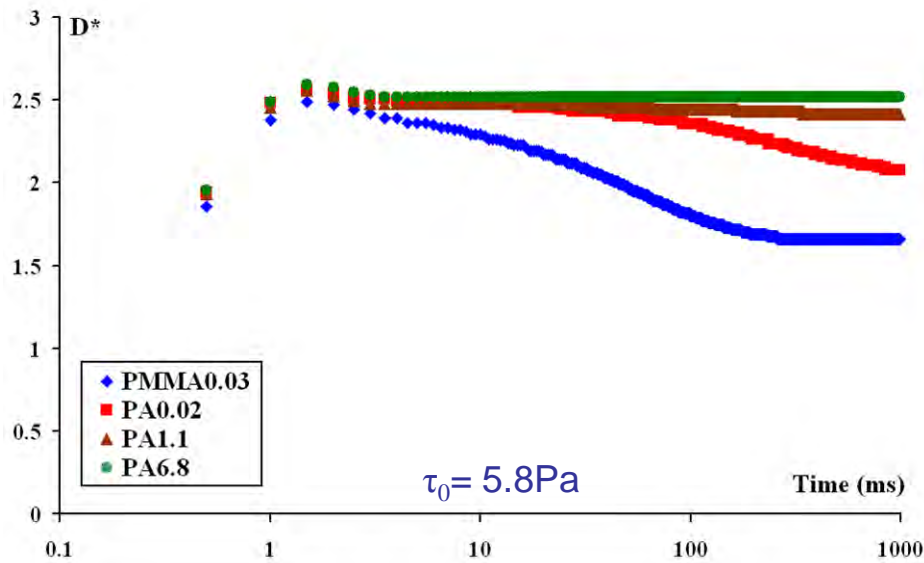
Influence des propriétés d'interface

Caractérisation des propriétés en volume des gels et de frottement à la paroi



Influence des propriétés d'interface

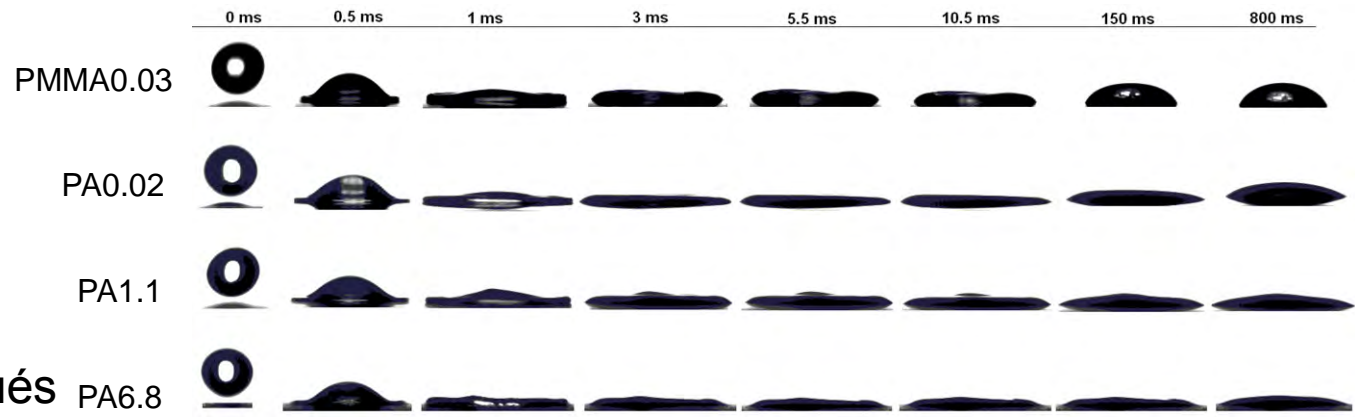
Comportement dynamique à Weber élevé



- Substrat hydrophobe :
Retrait accentué

- Substrats rugueux (PA) :
Retrait diminué

- Seuil de contrainte :
effets d'interface diminués



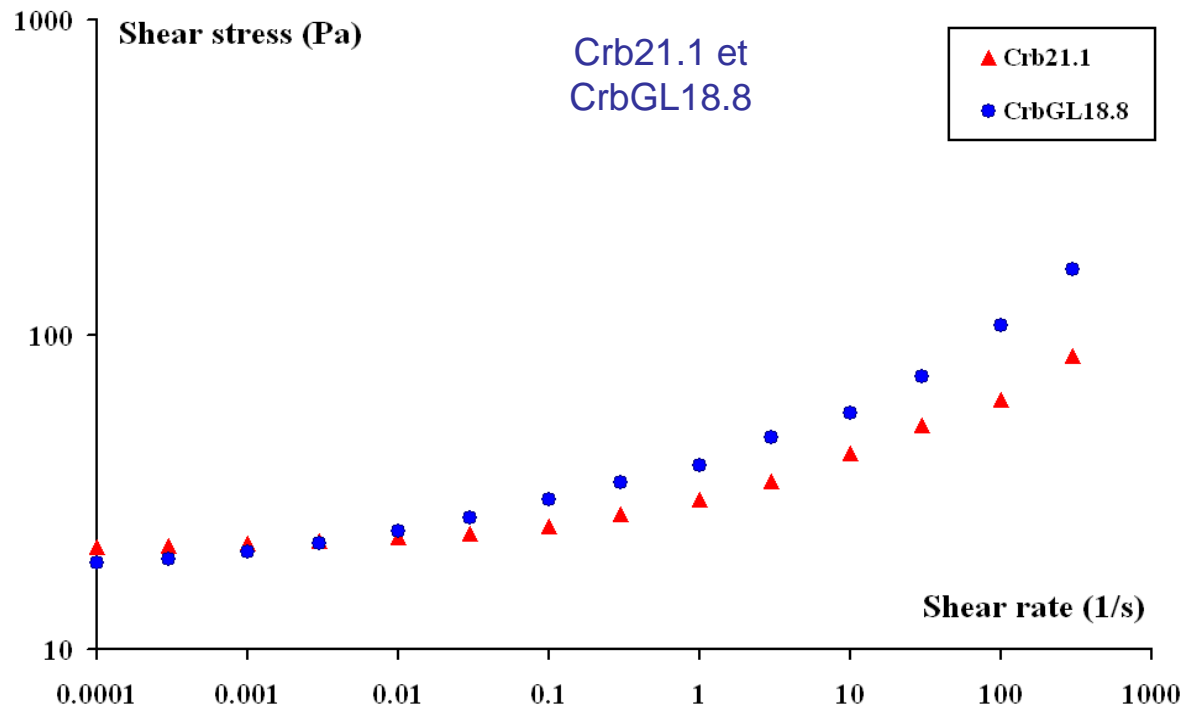
Influence des effets visqueux



Sélection des matrices aqueuses de différentes viscosités (à base de Glucose)

→ Développement des fluides de τ_0 , G' et n similaires mais k différents

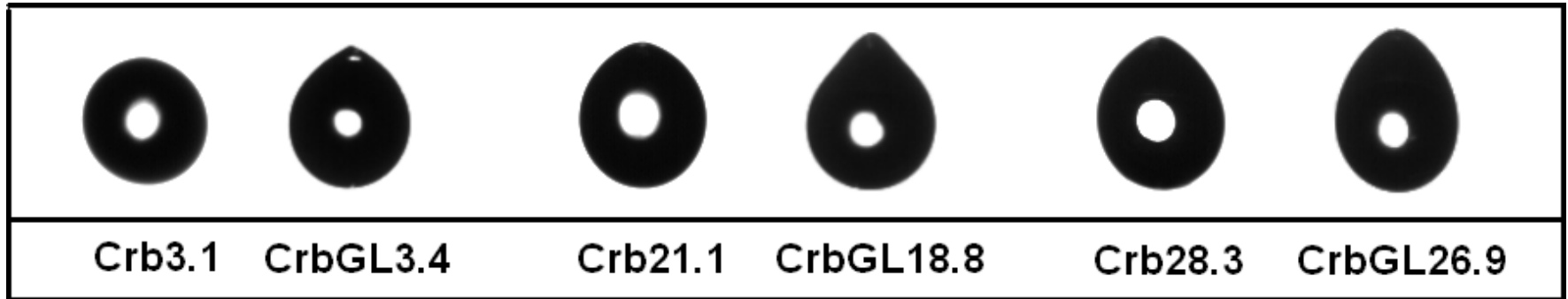
substrat assez hydrophobe (PMMA)



	Crb3.1	CrbGL3.4	Crb21.1	CrbGL18.8	Crb28.3	CrbGL26.9
Carbopol wt%	0.085%	0.3%	0.125%	0.4%	0.135%	0.35%
Glucose wt%	—	60%	—	50%	—	30%
τ_0 (Pa)	3.1	3.4	21.1	18.8	28.3	26.9
k (Pa.s ⁿ)	1.5	4.5	9.1	16.9	10.8	14.4
n	0.51	0.49	0.34	0.37	0.36	0.39
τ_0/k	2.1	0.8	2.3	1.1	2.6	1.9
G' (Pa)	34	38	234	221	270	252



Morphologie des gouttes

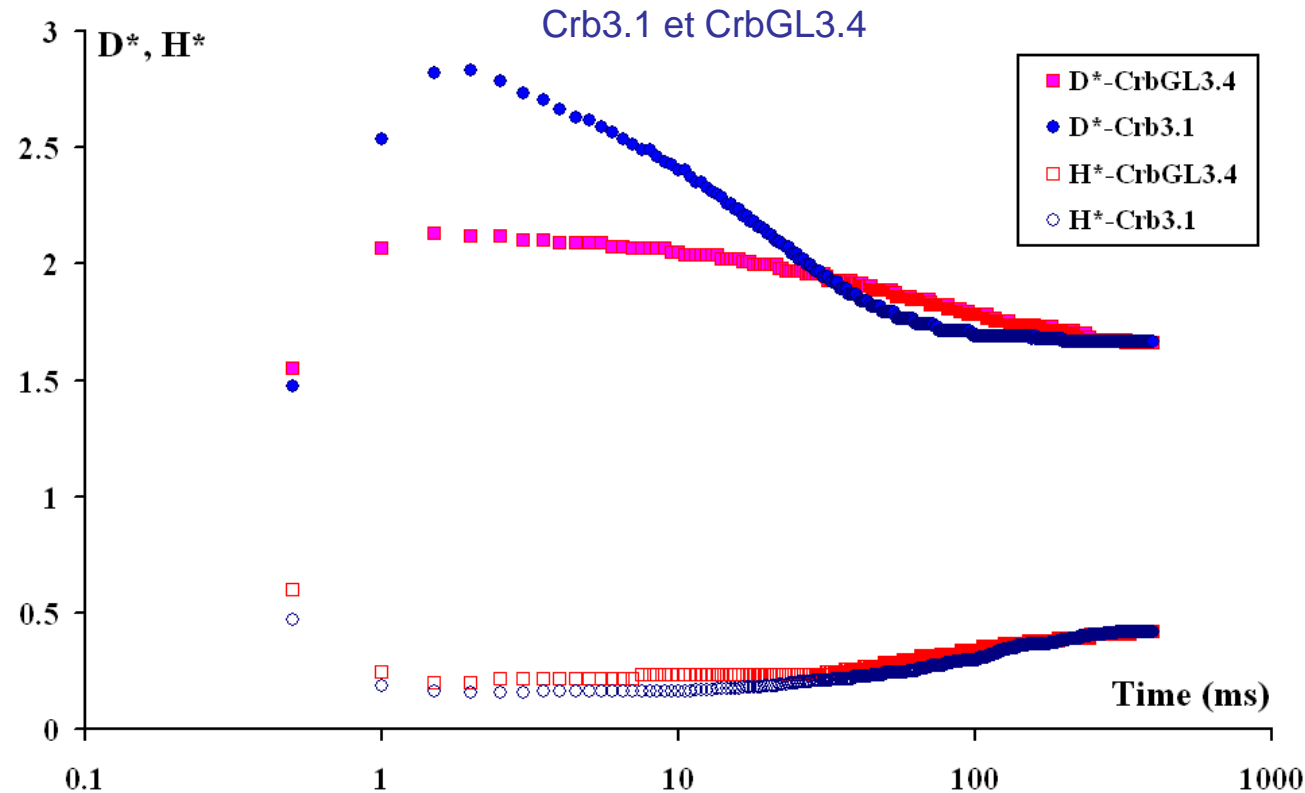
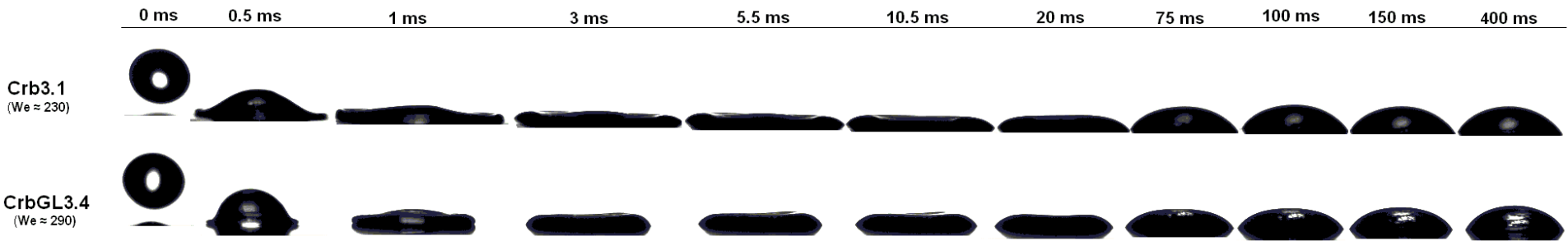


Formation de gouttes plus allongées et plus volumineuses avec :

- la hausse du seuil
- la hausse de la viscosité

Influence des effets visqueux

Comportement dynamique à Weber élevé



Gouttes plus visqueuses

→ étalement inertiel et retrait plus faibles



- Forme de la goutte influencée par :
 - le seuil de contrainte
 - les propriétés visqueuses

- A vitesse élevée :
 - l'étalement inertiel et le retrait diminuent avec la hausse du seuil
 - le retrait est influencé par les conditions à l'interface
 - l'étalement inertiel et retrait diminuent pour les gouttes visqueuses

- Diminution des effets d'interface avec la hausse du seuil



Merci de votre attention

Remerciements particuliers au CTP pour la mise à disposition du système expérimental

