

Table des matières

Liste des auteurs	ix
Préface	xi
Avant-propos	xv
Organisation de l'ouvrage	xvii

Chapitre 1 : Concepts et outils de base en rhéologie

1.1. Grandeurs fondamentales associées aux différents écoulements ..	1
<i>1.1.1. Écoulement de cisaillement simple</i>	1
<i>1.1.2. Autres types d'écoulement et de déformation</i>	17
1.2. Appareils de mesures	17
<i>1.2.1. Viscosimètres capillaires</i>	18
<i>1.2.2. Viscosimètres à chute de bille</i>	20
<i>1.2.3. Rhéomètres rotatifs</i>	21
<i>1.2.4. Analyseurs de texture</i>	24
1.3. Conclusion	28
Références	29

Chapitre 2 : Effets inertiels en rhéométrie instationnaire

2.1. Introduction	31
2.2. Temps caractéristiques associés à la mesure	34
<i>2.2.1. Inertie d'appareillage</i>	34
<i>2.2.2. Inertie du fluide</i>	37

2.3. Temps caractéristiques associés au matériau	38
2.3.1. <i>Thixotropie</i>	39
2.3.2. <i>Viscoélasticité</i>	40
2.4. Approche analytique des effets d'inertie d'appareil en rhéométrie à contrainte imposée	42
2.4.1. <i>Fluage</i>	42
2.4.2. <i>Oscillations</i>	44
2.5. Conclusion	47
Références	48

Chapitre 3 : Glissement et fracturation dans les fluides complexes. Interpréter les essais rhéométriques

3.1. Introduction	49
3.2. Mise en évidence et illustration du glissement et de la fracturation	51
3.2.1. <i>Manifestation du glissement sur les courbes de rhéométrie</i>	51
3.2.2. <i>Mise en évidence de la fracturation</i>	54
3.3. Quelques uns des mécanismes physiques à l'origine du glissement et de la fracturation	57
3.3.1. <i>Glissement dû à une séparation de phase, une déplétion ou une migration</i>	57
3.3.2. <i>Glissement sur des parois interagissant faiblement avec le fluide</i>	58
3.3.3. <i>Glissement dans le cas d'interactions fortes entre les parois et le fluide</i>	59
3.3.4. <i>Mécanismes spécifiques à la fracturation</i>	60
3.4. Éviter et/ou détecter le glissement et la fracturation	61
3.4.1. <i>Éviter le glissement</i>	61
3.4.2. <i>Détecter un glissement</i>	62
3.4.3. <i>Glissement et localisation de la déformation : mise en évidence par marquage et visualisation</i>	64
3.5. Quantifier le glissement et/ou corriger les mesures	66
3.5.1. <i>La méthode de Yoshimura-Prud'homme (1988)</i>	66
3.5.2. <i>La méthode de Mooney (1931)</i>	68
3.5.3. <i>La méthode des parois rugueuses</i>	72
3.5.4. <i>Glissement des fluides à seuil – technique du cissomètre</i>	77
3.5.5. <i>Mesures des vitesses de glissement : vélocimétrie laser et autres alternatives</i>	78
3.6. Prendre en compte la fracture de l'échantillon	80
3.6.1. <i>Mesures en régime dynamique</i>	80
3.6.2. <i>Régimes d'écoulement et de visualisation du champ de déformation : exemple d'une dispersion thixotrope d'argile</i>	82
3.6.3. <i>Mieux analyser la fracturation : mesures locales et rhéométrie</i>	91

3.7. Conclusion	93
Références	93

Chapitre 4 : Écoulement en bandes de cisaillement (« shear banding »)

4.1. Introduction	97
4.2. Modèles théoriques	97
4.3. Rhéologie non linéaire	105
4.3.1. <i>Rhéologie en écoulement permanent</i>	105
4.3.2. <i>Rhéologie transitoire</i>	108
4.4. Instabilité de l'écoulement hétérogène	111
4.4.1. <i>Instabilité dans la direction de la vortacité</i>	111
4.4.2. <i>Instabilité azimutale de la bande induite</i>	114
4.5. Méthodes expérimentales	116
4.5.1. <i>Caractérisation macroscopique du champ des vitesses en écoulement hétérogène</i>	116
4.5.2. <i>Structure de l'écoulement hétérogène</i>	120
4.6. Conclusion	124
Références	124

Chapitre 5 : Caractérisation rhéologique des fluides à seuil

5.1. Introduction	133
5.2. Rhéologie des fluides à seuil	134
5.2.1. <i>Fluides à seuil simples</i>	135
5.2.2. <i>Fluides à seuil thixotropes</i>	142
5.3. Problèmes rhéométriques spécifiques aux fluides à seuil	148
5.3.1. <i>Choix d'une géométrie de mesure et précautions à prendre</i>	149
5.3.2. <i>Facteurs géométriques pour les mesures de contrainte seuil</i>	149
5.3.3. <i>Hétérogénéités d'écoulements</i>	151
5.4. Conclusion	155
Références	156

Chapitre 6 : Systèmes évolutifs

6.1. Introduction	159
6.2. Thixotropie	161

6.2.1. Définition et phénoménologie	161
6.2.2. Origine microscopique	163
6.2.3. Caractérisation rhéologique	164
6.2.4. Modélisation	179
6.3. Gélification	182
6.3.1. Définition et phénoménologie	182
6.3.2. Description microscopique	183
6.3.3. Caractérisation rhéologique	189
6.3.4. Modélisation	194
6.4. Conclusion	197
Références	198

Chapitre 7 : De l'intérêt d'une caractérisation rhéologique empirique et relative

7.1. Introduction	205
7.2. Caractérisation des propriétés rhéologiques	208
7.2.1. Viscosité ou comment caractériser l'aptitude à l'écoulement	208
7.2.2. Propriétés plastiques/seuil d'écoulement	220
7.2.3. Thixotropie – sensibilité au cisaillement	230
7.2.4. Élasticité et rigidité	231
7.2.5. Viscoélasticité	232
7.3. Analyse critique : quelques exemples	236
7.3.1. Exemple de la mesure de viscosité avec un viscosimètre Brookfield	236
7.3.2. Analyse de texture par le test TPA	238
7.3.3. Courbes d'écoulement : cas des cylindres coaxiaux	240
7.4. Conclusion	242
Références	243

Chapitre 8 : La rhéologie systémique ou une rhéologie au service d'un génie des procédés et des produits

8.1. Introduction	249
8.2. Analogie Couette et concept de rhéo-réacteur	251
8.2.1. Analogie Couette	251
8.2.2. Concept de rhéo-réacteur	255
8.3. Quelques applications de la rhéologie systémique	257
8.3.1. Formulation de bitumes additivés (consolidés)	257

8.3.2.	<i>Suivi des processus d'émulsification et des processus d'inversion de phase dynamique</i>	258
8.3.3.	<i>Préparation semi-continue de dispersions concentrées</i>	263
8.3.4.	<i>Incorporation de CO₂ supercritique dans un polymère fondu</i>	264
8.3.5.	<i>Conclusions</i>	267
8.4.	Études fondamentales en rhéologie systémique : application aux milieux granulaires denses	268
8.4.1.	<i>Introduction</i>	268
8.4.2.	<i>Rhéométrie des milieux granulaires</i>	269
8.4.3.	<i>Viscoélasticité des milieux granulaires : modélisation</i>	270
8.4.4.	<i>Confrontations expérimentales : réponse à des sollicitations mécaniques canoniques</i>	272
8.4.5.	<i>Conclusions</i>	278
8.5.	Conclusion	278
	Références	279

Chapitre 9 : Rhéométrie interfaciale

9.1.	Introduction	283
9.2.	Principe des analyses par cisaillement et dilatation/compression	284
9.2.1.	<i>Analyse par cisaillement</i>	284
9.2.2.	<i>Analyse par dilatation/compression</i>	286
9.3.	Mises en œuvre expérimentale	289
9.3.1.	<i>Analyse par cisaillement</i>	289
9.3.2.	<i>Analyse par dilatation/compression</i>	300
9.4.	Autres techniques	305
9.4.1.	<i>Viscosimètre de surface à canal</i>	305
9.4.2.	<i>Viscosimètre de surface à cylindres concentriques</i>	306
9.4.3.	<i>Anneau à bord tranchant</i>	306
9.4.4.	<i>Disque</i>	307
9.4.5.	<i>Coupelle plate à bord tranchant</i>	307
9.4.6.	<i>Goutte tournante</i>	308
9.4.7.	<i>Mesure avec ondes capillaires</i>	308
9.5.	Conclusion	309
	Références	310

Chapitre 10 : Apport de techniques couplées (diffusion de rayonnements, résonance magnétique, vélocimétrie ultrasonore) à la rhéologie

10.1. Introduction	313
10.2. Diffusion de rayonnements et rhéologie	317
10.2.1. <i>Principe de la diffusion de rayonnement</i>	318
10.2.2. <i>Structures induites sous cisaillement</i>	322
10.2.3. <i>Dynamique d'orientation de colloïdes anisotropes sous écoulement d'élongation</i>	325
10.2.4. <i>Conclusion et perspectives</i>	328
10.3. IRM et rhéologie	328
10.3.1. <i>Principe de l'IRM/de la RMN</i>	328
10.3.2. <i>Mesures de vitesse : principe et application</i>	331
10.3.3. <i>Mesures de concentration : principe et application</i>	335
10.3.4. <i>Indicateurs de microstructure</i>	340
10.3.5. <i>Conclusion</i>	342
10.4. Vélocimétrie ultrasonore et rhéologie	343
10.4.1. <i>Introduction</i>	343
10.4.2. <i>Vélocimétrie ultrasonore couplée à la rhéométrie standard</i>	343
10.4.3. <i>Rhéologie « en ligne » par vélocimétrie ultrasonore</i>	353
10.4.4. <i>Conclusions et perspectives</i>	357
10.5. Conclusions et perspectives sur l'apport des techniques rhéophysiques sur la rhéométrie et le comportement rhéologique	357
Références	360