

TABLE DES MATIERES

Notations.....	19
Introduction générale.....	23
Chapitre 1 : Situation du problème	25
I- Introduction. La lubrification fluide dans les mécanismes spatiaux	26
1- Généralités. Caractéristiques de l'ambiance spatiale	26
a- L'environnement spatial	26
Phases de pré-vol et de vol	26
L'environnement spatial.....	26
b- La lubrification fluide	28
c- Avantages de la lubrification fluide	30
2- Les roulements	31
a- Généralités	31
b- Caractéristiques et lubrification.....	31
Caractéristiques	31
La lubrification	32
c- Cas particulier des applications spatiales.....	33
II- Objectifs et démarche de l'étude.....	33
1- Positionnement du problème. Objectifs	33
2- Démarche expérimentale	34
a- Préparation des surfaces.....	34
b- Comportement rhéologique et tribologique de lubrifiants.....	35
c- Migration et confinement du lubrifiant.....	35
d- Rôle d'une structure poreuse dans l'alimentation d'un mécanisme	37
e- Perspectives d'applications aux roulements à billes	37
Chapitre 2 : La préparation des surfaces	39
I- Le nettoyage des surfaces. Implication sur la lubrification fluide.	40
1- Les objectifs du nettoyage. Les contraintes de la législation.....	40
2- Définition d'une surface. Classification des polluants	41
3- Les remplaçants potentiels des CFC.....	43
a- Les perfluorocarbone (PFC) et hydrofluorocarbone (HCFC)	43
b- Les perfluoropolyalkyléthers	43
c- Les méthylsiloxanes	44
d- Les hydrofluoroéthers	45
e- Les hydrofluorocarbones.....	45
f- Autres solvants organiques.....	47
g- Récapitulatif.....	48
II- Evaluation de trois remplaçants aux CFC.....	49
1- Approche employée	49
a- Sélection des remplaçants des CFC, des substrats et des contaminants	50

Les solvants retenus.....	50
Les substrats.....	51
Les contaminants	52
b- Méthodes d'évaluation de l'efficacité employées.....	52
2- Evaluation des remplaçants du CFC 113 au nettoyage de surfaces d'acier	53
a- Mise en place d'un état de référence	53
La tension de surface	54
L'analyse infrarouge.....	54
La contamination particulaire	54
b- Résultats avec les remplaçants des CFC 113.....	54
La procédure "quatre solvants"	56
L'hydrofluoroéther en co - solvant avec le mélange d'hydrocarbures	57
L'hydrofluorocarbure en azéotrope avec le dichloroéthylène	57
III- Discussion	58
IV- Conclusion	60

Chapitre 3 : Comportement rhéologique et tribologique de deux huiles pour ambiance spatiale61

I- Rappels des connaissances sur ces lubrifiants	62
1- Le cyclopentane ramifié.....	62
a- Structure chimique.....	62
b- Particularité du démouillage, additifs. Rhéologie.....	62
2- Le perfluoropolyalkyléther linéaire	63
a- Structure chimique.....	63
b- Comportement tribochimique.....	64
Dégradation.....	64
Transformation catalytique.....	64
Scission par cisaillement	66
c- Comportement rhéologique : fluide newtonien ou non ?	67
3- Approche expérimentale	68
II- Etude expérimentale de deux lubrifiants fluides pour applications spatiales	69
1- Comportement rhéologique à grands taux de cisaillement	69
a- Présentation du matériel.....	69
Rappels de rhéologie.....	69
Les rhéomètres.....	71
b- Essais réalisés et résultats	72
Remarques préliminaires	72
Mesures de viscosité.....	73
c- Interprétation des résultats	74
2- Aptitude à la génération de films EHD en roulement et glissement. Interférométrie en film mince	75
a- Description de la machine JEROTRIB	75
L'interférométrie optique en films minces.....	75
Banc d'essais JEROTRIB	76
b- Choix des expériences. Estimation des hauteurs de film.....	78
c- Résultats et discussion	80
Epaisseurs de film en roulement pur	80

Epaisseurs de film en roulement/glisement.....	84
III- Conclusion	87

Chapitre 4 : Les revêtements anti-migration89

I- Généralités sur le mouillage et le confinement d'un lubrifiant	90
1- <i>Phénomènes impliqués dans l'étalement d'un fluide.....</i>	91
2- <i>Nature chimique et structure des revêtements non mouillants</i>	93
a- Les produits potentiels	93
Les polyméthacrylates fluorés.....	94
Le revêtement plasma	95
b- Caractéristiques fonctionnelles et morphologiques des revêtements retenus	96
Le mouillage	96
Microscopie à force atomique (A.F.M.)	97
3- <i>Interaction entre un film barrière et un lubrifiant : synthèse bibliographique</i>	98
II- Etude de l'interaction entre film barrière et lubrifiant	99
1- <i>Immersion prolongée des revêtements dans le lubrifiant</i>	99
a- Comportement en présence d'un perfluoropolyalkyléther linéaire	99
Le polyméthacrylate fluoré	99
PTFE plasma C.V.D. radiofréquence	100
b- Comportement avec un cyclopentane ramifié	101
Le polyméthacrylate fluoré	101
PTFE plasma C.V.D. radiofréquence	102
c- Recherche de traces de l'interaction par analyse chimique élémentaire.....	103
Bilan.....	103
d- Test de longue durée.....	104
Observations	104
Mesures d'angles de goutte	104
Conclusion	105
2- <i>Cisaillement d'un film de lubrifiant sur une surface revêtue.....</i>	105
a- Comportement du polyméthacrylate fluoré avec l'huile perfluoropolyalkyléther linéaire.....	106
b- Comportement du polyméthacrylate fluoré avec le cyclopentane ramifié.....	106
3- <i>Interprétation des résultats</i>	108
III- Conclusion	110

Chapitre 5 : Rôle d'une structure poreuse imprégnée dans l'alimentation en lubrifiant fluide..... 113

I- Introduction, revue bibliographique.....	114
1- <i>Généralités</i>	114
a- Utilisation des structures poreuses.....	114
b- Aspects tribologiques. Cas particulier des mécanismes spatiaux	114
2- <i>Les moyens de libération du fluide</i>	116
a- Le mouillage, la capillarité de surface	116
b- Les effets thermiques	116
c- La centrifugation	117
d- Action d'un gradient de pression hydrodynamique.....	118

e- Evaporation - condensation.....	120
Revue bibliographique.....	120
Cas d'un fluide libre.....	122
Lubrifiant emmagasiné dans une structure poreuse.....	122
3- Recensement des matériaux. Sélection pour l'étude	123
a- Polymères.....	123
Le PTFE, le Duroïd.....	123
Les résines phénoliques	123
Le nylon	125
Le polyimide	126
Le polyuréthane	127
Cas particulier d'un polyéthylène.....	129
b- Métaux et alliages	129
c- Céramiques	130
d- Choix des matériaux retenus.....	130
4- Caractérisation des structures poreuses sélectionnées.....	131
a -Morphologie des structures poreuses.....	131
Microscopie optique	131
Microscopie électronique à balayage.....	132
b- Caractérisations de la porosité.....	134
Porosité volumique.....	134
Perméabilité.....	137
II- Imprégnation des structures poreuses.....	138
1- Modèles d'imprégnation.....	138
a- Modèle classique.....	139
b- Approche diffusive	140
2- Mise en œuvre de l'imprégnation.....	140
III- Evaluation statique de l'apport par des structures poreuses imprégnées.....	143
1- Approche expérimentale	143
2- Résultats.....	144
a- Migration causée par la rugosité de surface.....	144
b- Migration causée par effet Marangoni.....	146
3- Analyse.....	147
IV- Evaluation dynamique de l'apport par des structures poreuses imprégnées.....	150
1- Etude de la centrifugation.....	150
a- Mise en œuvre expérimentale	150
b- Résultats et discussion	150
c- Développement d'un modèle analytique	152
2- Modélisation de la circulation de fluide dans une cage poreuse.....	156
a- Approche du problème.....	157
Mise en équations de l'écoulement entre la bille et la cage poreuse.....	157
Choix de la méthode de résolution numérique	160
b- Résultats numériques.....	160
V- Conclusion.....	163
Conclusion générale	167
Bibliographie.....	171

Annexe 1 : Aperçu des différentes techniques et de contrôle du nettoyage.	
Protocole expérimental	185
I- Aperçu des différentes techniques de nettoyage	187
1- <i>Nettoyage aqueux</i>	187
Acides et bases.....	188
Les tensio - actifs	188
Les émulsions	189
2- <i>Utilisation de solvants organiques</i>	189
a- Les solvants seuls.....	191
b- Les co - solvants	192
3- <i>Le bombardement d'ions lourds (plasma)</i>	193
4- <i>U.V./ozone</i>	194
5- <i>Les fluides supercritiques</i>	194
II- Méthodes de contrôle de l'état de propreté.....	195
1- <i>La pesée</i>	195
2- <i>Le mouillage</i>	195
3- <i>Autres méthodes (spectroscopiques, traceurs, ...)</i>	196
III- Protocole d'évaluation des remplaçants du CFC 113.....	197
1- <i>Matériel utilisé</i>	197
2- <i>Protocole expérimental</i>	197
a- <i>Création d'un état de référence</i>	197
b- <i>Protocole avec les remplaçants du CFC 113</i>	198
<i>Procédure quatre solvants</i>	198
<i>Procédure avec l'hydrofluoroéther ou l'hydrofluorocarbone</i>	198
Annexe 2 : Imprégnation des structures poreuses	197
I- Justification des valeurs des paramètres de l'imprégnation.....	200
1- <i>Nettoyage, étuvage</i>	200
2- <i>Choix de la température et vitesse de montée capillaire</i>	201
3- <i>Pression de travail</i>	202
II- Taux d'imprégnation obtenus	204
1- <i>Elimination du surplus de lubrifiant</i>	204
2- <i>Taux d'imprégnation des structures poreuses</i>	205
Annexe 3 : Mise en œuvre et évaluation de la lubrification dans un roulement pour ambiance spatiale avec le banc d'essais RAMI	207
I- Objectifs. Paramètres des essais	208
1- <i>Paramètres fixés</i>	209
2- <i>Paramètres variables</i>	210
II- Hiérarchisation des essais.....	211
III- Bilan	213

