

RESUME :

La présente thèse comporte les trois parties :

Etude bibliographique, Modélisation mathématique et Etude expérimentale qui se subdivisent en neuf chapitres. Cette thèse est la suite logique de notre travail de recherche déjà réalisé et soutenu en 1987 à l'Institut Supérieur des Matériaux et de construction Mécanique (I.S.M.C.M), SAINT-OUEN, PARIS, dans lequel nous avons étudié l'usure abrasive des chemises de cylindres en fonte grise contre les segments types en fonte chromée (490 pages, 135 références bibliographiques, 240 figures, 90 formules, 87 tableaux). Pour la température ambiante des essais sur le tribomètre alternatif (vitesse de glissement 0,06m/s, charge appliquée de 60 à 100 N, taille de grains de sable saharien dispersés dans l'huile commerciale de lubrification de 20 à 100 μm), nous avons révélé le coefficient de frottement modéré de l'ordre de 0,13 et une usure très intense des fontes types. L'usure abrasive des fontes, en présence de grains abrasifs de sable saharien même dans le régime du frottement lubrifié, est en quelques ordres de grandeurs supérieure aux valeurs de l'usure normale de mêmes couples classiques de frottement des moteurs Diesel industriels. Donc le problème à résoudre se pose bien précisément : il faut chercher un nouveau matériau surtout pour la haute partie de la chemise de cylindre des moteurs Diesel exploités dans les conditions sahariennes.

Parmi les nouveaux matériaux connus actuellement pour tel genre particulier de leurs usages industriels, les céramiques thermomécaniques représentent les possibilités réelles et les avantages les plus encourageants. D'autre part, l'étude bibliographique critique, que nous avons entreprise comme investigation détaillée et synthétique de tous les problèmes tribologiques liés aux essais expérimentaux et aux modélisations mathématiques du comportement en frottement des céramiques thermomécaniques, nous a permis de décrire les propriétés tribologiques des céramiques, leur fabrication comme des pièces de forme ou comme des dépôts de revêtement projetés par plasma, les particularités des essais expérimentaux y compris les types connus de tribomètres, la variation des paramètres d'essai, la détermination expérimentale de l'usure et l'étude instrumentale des surfaces de frottement. Nous avons décrit en détail tous les types de frottement et d'usure mis en évidence pour de divers couples étudiés céramique-céramique et céramique-métal : frottement sec et frottement lubrifié aux charges petites et aux charges moyennes et fortes, à la température ambiante et aux hautes températures, à partir des vitesses très faibles et jusqu'aux vitesses élevées, frottement aux divers environnements, etc. Nous avons étudié tous les mécanismes éventuels d'usure rencontrés aux cours du frottement des céramiques contre elles-mêmes et les métaux : usure douce et sévère, usure adhésive et par fatigue, usure compliquée par la microfissuration fragile des céramiques, usure abrasive et usure dans de divers environnements (air humide, gaz inerte sec, eau distillée, etc.). Une attention bien particulière nous a poussé d'entrer dans le détail des modélisations mathématiques du frottement et de l'usure des céramiques.

Et sur cette base nous avons entreprise une tentative de synthétiser la discussion générale des paramètres de frottement des céramiques (cinquième chapitre de la thèse). Nous argumentons une forte influence sur le frottement et l'usure des céramiques de nombreux paramètres tribologiques et surtout de la température, de la charge et de la vitesse de glissement. Nous avons détaillé aussi l'influence de la lubrification, de la ténacité des céramiques, des débris d'usure et des particules abrasives extérieures. Nous avons envisagé d'une manière critique l'état des éléments de calcul du frottement et de l'usure des céramiques et même l'état de recherche dans la tribologie moderne des céramiques. Enfin nous argumentons le choix de la zirconie pour le revêtement de la haute partie de chemise de cylindre des moteurs Diesel fonctionnant dans les conditions sahariennes.

La deuxième partie de la thèse représente une étude théorique et analytique de l'usure abrasive dans l'intention de proposer un modèle mathématique ou une méthode pratique de calcul de l'usure des surfaces frottées en présence des particules abrasives extérieures. Dans le sixième chapitre nous donnons un bref aperçu sur les modèles mathématiques connus de l'usure abrasive. Aux fortes charges, l'usure abrasive des surfaces frottées est liée avec le concassage intensif des particules abrasives. Le mécanisme du concassage des particules abrasives sous les charges moyennes possède de ces propres particularités. L'objectif de septième chapitre est d'élaborer la méthode de calcul du concassage des particules abrasives en fonction de la valeur de la charge et de taille de particules abrasives. Nous proposons une méthode mathématique analytique du calcul de l'usure par plusieurs générations de particules abrasives apparues dans le jeu interfacial. L'équation analytique trouvée pour le cas général est résolue pour un cas particulier sur la base de nos données expérimentales. Cela sert en même temps de bonne vérification de notre modèle mathématique proposé.

La dernière partie de la thèse est consacrée à l'étude expérimentale du frottement et de l'usure abrasive aux températures élevées du couple Zircône-fonte chromée en présence de grains de sable saharien dispersés dans l'huile de lubrification en simulant les conditions de fonctionnement désertiques au Sahara Algérien des moteurs Diesel Industriels. Dans le huitième chapitre nous décrivons en détail notre banc d'essai du frottement et de l'usure après ses modifications faites spécialement pour chauffer le couple de frottement et pour préparer en continu la suspension huile-grains de sable saharien tamisés. Nous décrivons toute la procédure expérimentale et notre programme d'essai basé sur la planification des expériences. Le dernier neuvième chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus sur le tribomètre rotatif. Les polynômes d'approximation du calcul de l'usure sont obtenus avec une haute précision, plusieurs courbes d'usure de la zircône et du chrome sont tracées ainsi que les observations par MEB des faciès d'usure de la zircône sont aussi obtenues. En interprétant cette information expérimentale nous constatons une forte influence de principaux paramètres tribologiques étudiés dans notre cas : de la température, de la charge et de la taille des particules abrasives

($20 \leq T \leq 300^\circ \text{C}$, $60 \leq W \leq 100 \text{ N}$, $20 \leq D \leq 100 \mu\text{m}$) sur le taux d'usure de la zircône qui est obtenu, pour l'intervalle essayé de variation des paramètres, égal de $2,5 (10^{-7} \text{ à } 10^{-9}) \text{ mm}^3 / \text{N.m}$. Nous proposons un mécanisme d'usure de la zircône dans le régime de lubrification limite aux températures élevées à trois corps. L'analyse comparative spéciale de nos résultats expérimentaux avec ceux de calcul et ceux publiés montre la validité de nos recherches et justifie, d'autre part, la possibilité efficace de l'utilisation de la zircône comme le revêtement anti-usure de la haute partie des chemises de cylindre des moteurs Diesel industriels exploités dans les sévères conditions désertiques du Sahara Algérien.

La présente thèse, orientée vers les problèmes sérieux, compliqués et pas encore bien résolus précisément, englobe une étude bibliographique très approfondie critique et synthétique, une étude théorique analytique de la modélisation mathématique de l'usure abrasive et enfin l'étude expérimentale du frottement et de l'usure des céramiques et porte une grande actualité scientifique et pratique. Les résultats de la thèse représentent l'importance comme pour les études théoriques et expérimentales dans la tribologie des céramiques ainsi que pour les applications industrielles dans les moteurs Diesel exploités au Sahara Algérien.

La thèse comporte 290 pages, 59 références bibliographiques, 73 figures, 157 formules et 27 tableaux