résumé

**Performances tribologiques des nanoparticules de MoS2 utilisées en tant qu’additifs de lubrification : influence de la cristallinité et de l’environnement**

La production d’électricité, représentant environ 40% du total de CO2 émis dans l’atmosphère, est suivie de près par le secteur des transports, qui contribue à environ un quart de ces émissions. Les trois quarts des émissions du secteur des transports sont attribués au transport routier, qui inclut à la fois le transport de marchandises et les voitures de particuliers. Un tiers de l’énergie consommée par ces véhicules est utilisé pour compenser les pertes par frottement. Ainsi, face aux conséquences environnementales, il est impératif de réduire la consommation de carburant, d’optimiser l’efficacité énergétique des moteurs, et par conséquent, d’atténuer les émissions de polluants. Cela exige le développement de nouveaux lubrifiants hautement performants.

Les lubrifiants sont composés d’huile de base et d’additifs. Parmi tous ces additifs, les modificateurs de frottement et anti-usure jouent un rôle clé dans la réduction du frottement et la protection des surfaces. Ces dernières années, des nanomatériaux avancés tels que les nanoparticules inorganiques de type fullerène (IF) fabriquées à partir de disulfures métalliques (MoS2, WS2) ont été développés. Ils présentant des propriétés tribologiques avantageuses dans des conditions de lubrification bien contrôlées. Malgré de bons résultats préliminaires, des gains encore plus importants en termes de consommation (et donc en termes de réduction des émissions) pourraient être obtenus si les performances tribologiques des nanoparticules de type fullerène étaient optimisées.

L’objectif principal de cette thèse consiste à trouver les meilleures conditions d’essai visant à optimiser les performances tribologiques des nanoparticules de MoS2. Nous nous sommes focalisés à la fois sur l’influence de la cristallinité des particules (faible, moyenne ou haute) ainsi que sur l’effet de l’environnement (oxydation, température) sur les propriétés lubrifiantes des nanoparticules, ce dernier point ayant été identifié dans les études précédentes comme étant un potentiel obstacle dans le développement de nouveaux lubrifiants à haute performance et respectueux de l’environne- ment. Nous avons montré que les particules faiblement cristallisées permettent une meilleure réduction du frottement à température ambiante que les particules hautement cristallisées, lesquelles se montrent toutefois plus résistantes aux températures élevées (> 50°C).

Nous avons également vu que l’ajout d’un dispersant permettait d’améliorer les propriétés tribologiques des nano- particules à 100°C, mais entraîne une détérioration à température ambiante en perturbant la formation du tribofilm de MoS2, notamment pour les nanoparticules hautement cristallisées. Une compétition entre l’adsorption du dispersant sur les surfaces et sur les nanoparticules influence la formation du tribofilm et donc les propriétés tribologiques.

Finalement, une étude menée en environnement strictement contrôlé, à différentes pressions d’oxygène et à différentes températures a permis de déterminer précisément l’impact de l’oxydation des particules sur leurs propriétés réductrices de frottement.

**Mots-clés :** nanoparticules, additifs, MoS2, lubrification, cristallinité, environnement, dispersant, oxydation

abstract

**Tribological performance of MoS2 nanoparticles used as lubrication additives: influence of crystallinity and environment**

Electricity production, representing about 40% of the total CO2 emissions in the atmosphere, is closely followed by the transportation sector, contributing to approximately a quarter of these emissions. Three-quarters of the transportation sector emissions are attributed to road transport, which includes both freight transport and private cars. One-third of the energy consumed by these vehicles is used to compensate friction losses. In light of environmental consequences, it is imperative to reduce fuel consumption, optimize engine energy efficiency, and therefore reduce polluant emissions. This requires the development of new highly performance lubricants.

Lubricants are composed of base oil and additives. Among all additives, friction modifiers and anti-wear additives play a key role in reducing friction and protecting surfaces. Advanced nanomaterials such as inorganic fullerene nanoparticles (IF) made from metal disulfides (MoS2, WS2) have been recently developed, presenting advantageous properties under well-controlled lubrication conditions. Despite promising preliminary results, even greater gains in terms of consumption (and thus emissions reduction) could be achieved if the tribological performances of IF nanoparticles were optimized.

The main objective of this thesis is to find the best test conditions to optimize the tribological performances of MoS2 nanoparticles according to their crystallinity (low, medium, or high). In particular, the effect of the environment (oxidation, temperature) on the lubrication performances of nanoparticles is addressed, this point having been identified in previous studies as a barrier to the development of new high-performance and environmentally friendly lubricants.

We have shown that the tribological performances of nanoparticles are influenced by their crystallinity and temperature: weakly crystallized particles show better friction coefficient reduction at room temperature, while highly crystallized particles show better resistance at high temperatures (> 50°C).

We have also seen that the addition of a dispersant improves the tribological properties of nanoparticles at 100°C, but deteriorates at room temperature by disrupting the formation of the MoS2 tribofilm, especially for highly crystallized nanoparticles. A competition between dispersant adsorption on surfaces and on nanoparticles influences the tribofilm formation and thus the tribological properties.

Finally, a study conducted in a controlled environment with different oxygen pressures at room temperature demonstrated that the effect of oxygen on the tribological properties of nanoparticles was evident at 200 mbar. However, the combined effect of temperature and oxygen leads to an earlier oxidation appearance.

**Keywords :** nanoparticles, additives, MoS2, lubrication, cristallinity, environment, dispersant, oxidation