

**NOTRE CONTRIBUTEUR**



DR

**Dr Matthias Wangenheim,** responsable du groupe de recherche « Friction et tribologie » à l'IDS, université Leibniz de Hanovre.

# MouldTex : une méthodologie innovante pour réduire les frottements

**MOULES ET OUTILLAGES** Grâce à des outils d'optimisation numérique, le projet européen MouldTex permet de réduire les frottements subis par les joints dynamiques en élastomères et caoutchouc.

Les joints dynamiques en élastomères et caoutchouc, largement utilisés dans les moteurs et les équipements dynamiques, doivent remplir la fonction de prévention des fuites, une mission qui peut être affectée par des niveaux extrêmes de frottement qu'ils subissent sur des millions de cycles de charge avec des contraintes élevées. Le frottement génère de la chaleur et accélère leur usure, entraînant des dommages physiques du joint, des fuites prématurées et même des situations catastrophiques, qui ne peuvent être évités que par un entretien de routine adéquat et rigoureux. En conséquence, les coûts de maintenance et les temps d'arrêt des équipements peuvent être élevés et leurs performances globales diminuent.

Dans ce contexte, le projet européen MouldTex s'est engagé à améliorer la durabilité des procédés en réduisant les frottements dans les joints dynamiques en élastomères et caoutchouc. À cette fin, une méthodologie a été développée pour la conception et la fabrication sur mesure de composants polymères en grands volumes qui, au moyen de la technologie laser, peuvent atteindre une réduction de frottement de plus de 20 % dans des conditions de fonctionnement cibles pour un coût supplémentaire contrôlé de moins de 10 %.

## Expertises complémentaires

Le projet MouldTex rassemble un consortium d'expertises complémentaires pour réaliser cet ambitieux développement d'innovation. Le consortium est composé de quatre établissements académiques : Foundation for Research

and Technology Hellas (Forth) et plus spécifiquement l'Institut de structure électronique et laser, université Leibniz de Hanovre (LUH) et plus particulièrement l'Institut de recherche sur la dynamique et les vibrations, Funditec et Itainnova ; quatre PME : ORP Stampi, SKM Aeronautics, Optimal Optik et ML Engraving et le pôle de compétitivité français de la plasturgie, du caoutchouc et des composites Polymeris.

Forth a apporté son expertise en interaction laser-matière, LUH ses connaissances en tribologie, Itainnova ses compétences en modélisation et développement logiciel et Funditec ses aptitudes en solutions sol-gel pour le démoulage.

ORP Stampi est un fabricant et producteur d'outils de moulage pour les produits en caoutchouc, ML Engraving est une société de traitement technique au laser, Optimal Optik développe des solutions de contrôle de vision haut de gamme et SKM Aeronautics est un producteur de joints, notamment dynamiques. Polymeris a fourni un soutien pour la communication et la dissémination, ainsi que pour les activités d'exploitation.

La solution technique par laquelle le frottement est réduit consiste à appliquer une microtexturation sur certaines surfaces du joint d'étanchéité sans affecter les propriétés fonctionnelles de celui-ci. De plus, d'autres fonctions implicites des microcavités ont été identifiées : elles agissent comme des réservoirs pour le lubrifiant, généralement utilisé dans les systèmes d'étanchéité, et servent même à piéger les débris d'usure, à améliorer la pression hydrodynamique entre les surfaces de contact et à réduire le composant adhésif entre les surfaces caoutchouc-métal en

raison de la réduction de la zone de contact. Face au manque initial de connaissances sur ce à quoi devrait ressembler la microtexture, des procédés disruptifs technologiques ont été développés pour la conception de microtextures. Ces développements innovants permettent de passer d'un processus de conception traditionnel, lent et coûteux « par essais/erreurs » à des outils d'optimisation numérique. Grâce à une modélisation avancée des phénomènes de frottement complexes, le modèle optimal peut être déterminé pour chaque type de système de contact et les conditions de fonctionnement spécifiques à chaque application, permettant ainsi de designer à façon une microstructure au joint dynamique et ses conditions opérationnelles.

### Méthodologies de simulation

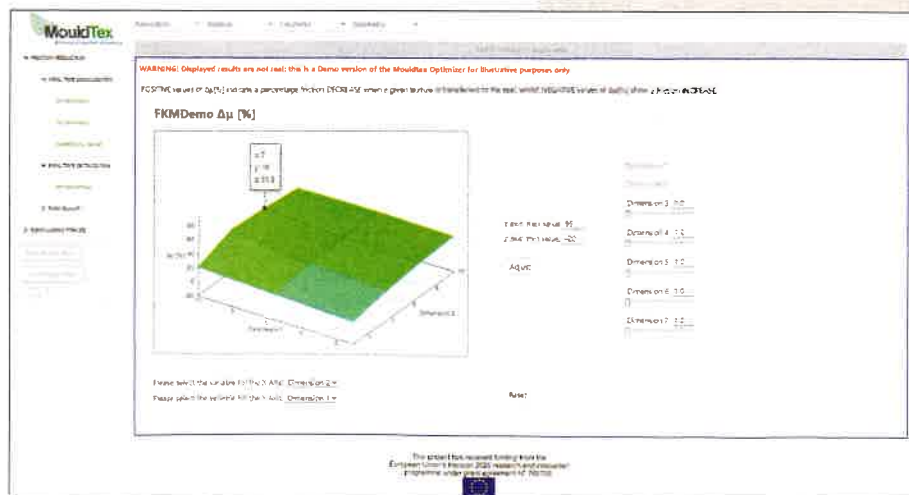
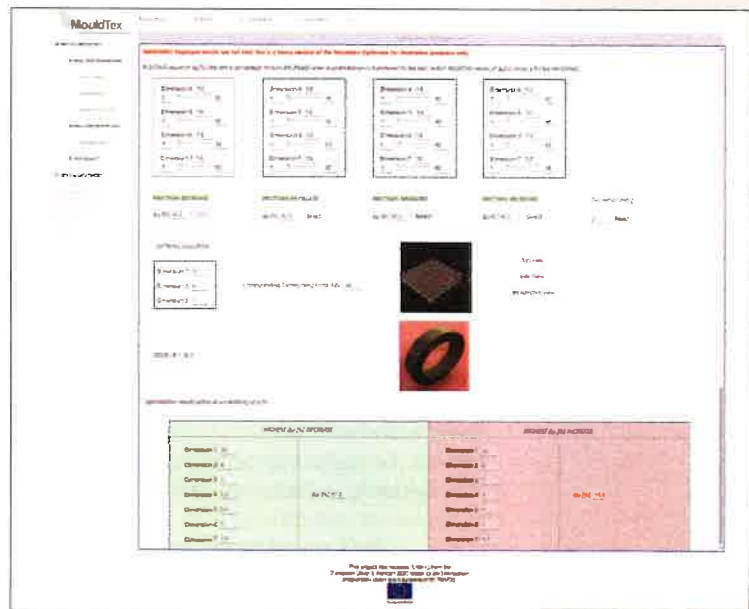
Plus particulièrement, des méthodologies de simulation ont été développées pour estimer la variation de frottement produite par une texture donnée, en considérant les mécanismes les plus pertinents qui influencent le frottement dans les composants de joints élastomères dynamiques. Cependant, le coût de calcul de ces méthodes est très élevé, empêchant leur usage dans l'utilisation quotidienne de la conception de la texture de surface. Pour surmonter ces coûts de calcul élevés, notre approche consiste à utiliser une modélisation et une optimisation d'ordre réduit. La modélisation d'ordre réduit (en anglais Reduced Order Modelling ou ROM) est une technique qui transforme des modèles de simulation ou des ensembles de données complexes et coûteux en calculs de fonctions mathématiques nettement moins complexes. Les modèles ROM peuvent être exécutés sur les plateformes les plus simples, telles que les ordinateurs personnels et en temps réel, pour fournir des solutions de modèles précises qui peuvent être rapidement déterminées à partir de ces fonctions. Les ROM fonctionnent en réduisant la portée complète des fonctions du modèle à un ensemble beaucoup plus petit qui encapsule la plupart des dynamiques fondamentales des systèmes.

La génération de ROM est basée sur la factorisation de l'information en construisant une approximation de la solution, au moyen d'une séquence de produits de fonctions séparables, qui peuvent être résolues instantanément. De cette manière, il est possible d'avoir une fonction de transfert qui relie la solution et les paramètres d'entrée. En réduisant considérablement la complexité des modèles de friction, les modèles de calculs ROM permettent de développer des

techniques d'optimisation de solution de modèle de friction efficaces.

La nouveauté de notre proposition innovante est d'utiliser les modèles de calculs ROM pour développer un outil paramétrique qui permet de prédire le comportement de frottement d'un système dynamique en fonction des paramètres d'entrée (propriétés du matériau, lubrifiant et paramètres de texture de surface) et d'obtenir les paramètres optimaux pour minimiser le frottement. Il permet aux fabricants de joints dynamiques de concevoir des motifs de texture de surface grâce à l'utilisation d'un modèle instantané paramétrique qui leur permet de visualiser en temps réel les effets de la modification de la texture de la surface.

Figure 1 - Interface de notre logiciel de design holistique des textures.





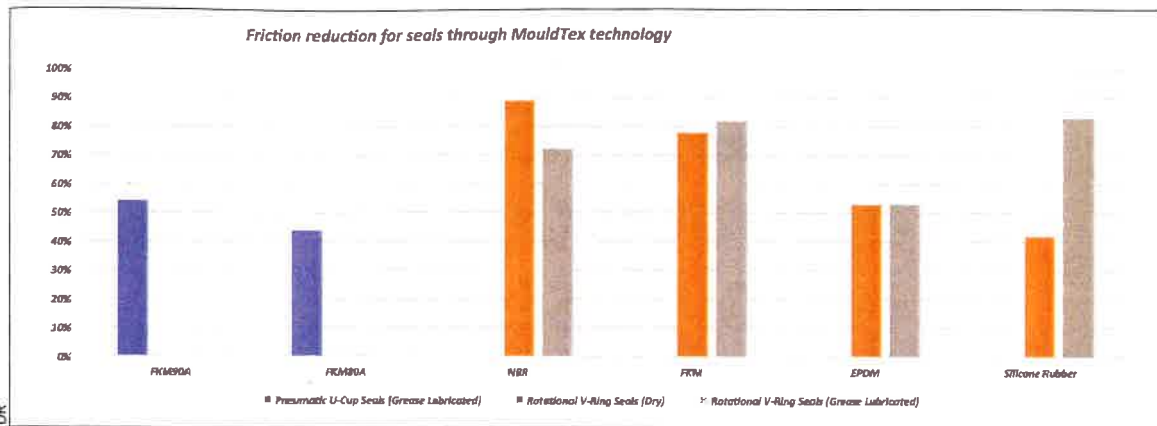


Figure 4

à créer une conception de joint dynamique optimale pour une application définie en tenant compte de différents motifs de texture de surface, de la rugosité de la surface de contact et de l'application finale et ses conditions de fonctionnement.

Le concept de microtexturation dans les joints dynamiques élastomères et caoutchouc est possible en appliquant un procédé de finition laser directement sur la surface du composant dans un processus additionnel après le moulage des joints, où les joints devaient être traités un par un. Cependant, l'impossibilité d'intégrer un tel procédé dans des processus de production de masse est une barrière infranchissable pour les utilisateurs et les fabricants de tels composants en matière de coût d'investissement matériel et du maintien des cadences de production. Dans ce cadre, le projet MouldTex surmonte également les barrières technologiques à la production de masse de composants : notre solution a été démontrée sur des lignes de production réelles au moyen de trois lignes pilotes pour la conception et la fabrication de moules pour joints élastomères rotatifs et translationnels.

### Un surinvestissement réduit

Notre procédé de fabrication innovant consiste à appliquer une seule fois la technologie laser directement sur la surface du moule, créant des microprotubérances au lieu de microcavités, de sorte que la fabrication de joints microtexturés se fasse en transférant le micromotif du moule au composant. Afin d'assurer la conception du moule, un logiciel de conception est utilisé pour assurer un remplissage adéquat et un transfert correct du motif de microtexture du moule au composant, et des procédures sont définies pour l'utilisation d'agents de démoulage. Les défis majeurs supplémentaires abordés dans le projet ont été le développement d'un système laser qui permet l'application contrôlée

de modèles de microtexture hiérarchiques sur le moule ainsi que la conception, la fabrication et la mise en œuvre d'un système d'inspection optique en ligne pour contrôler la qualité du motif texturé.

L'application de notre technique innovante de microtexturation dans des composants dynamiques en caoutchouc conduit, sous certaines conditions, à réduire les frottements de plus de 20 % et à diminuer l'usure en doublant la durée de vie des composants. Notre projet permet donc l'amélioration de l'efficacité de l'exploitation de systèmes dynamiques comportant des joints grâce à la réduction des temps d'arrêt dus à la maintenance ou au remplacement d'éléments endommagés grâce aux réductions de frottement obtenues, tout en consolidant une plus grande fiabilité des systèmes. Sur le plan économique, miser sur cette technologie implique un investissement pour la fabrication du moule texturé qui, réparti sur les milliers de pièces produites en série, représente une augmentation de coût de moins de 10 %.

Au cours de notre projet, nous avons démontré d'excellents résultats pour certains joints dynamiques : une réduction du frottement de plus de 40 % pour les joints dits « U-Cup » en matériau FKM, et une réduction du frottement entre 40 et 80 % pour les joints dits « V-Ring » en différents matériaux (NBR, FKM, EPDM et silicone). Dans ce contexte, les industries automobile, éolienne et aéronautique, entre autres, qui optent pour cette technologie, pourront bénéficier d'un impact économique positif important ainsi que d'une réduction de l'impact environnemental non négligeable grâce au prolongement de la durée de vie des composants.

De cette manière, les innovations technologiques de MouldTex, dans le cadre d'une économie verte, se positionnent comme une stratégie révolutionnaire vers la durabilité dans l'industrie des joints dynamiques élastomères et caoutchouc.



Plus d'informations :  
[www.mouldtex-project.eu](http://www.mouldtex-project.eu)