

TRIBOLOGIE

Le sens du contact

Depuis 40 ans, le Laboratoire de tribologie et dynamique des systèmes¹ combine le savoir-faire de l'ingénieur et la recherche fondamentale pour étudier les interactions entre les objets en mouvement. Aujourd'hui, il s'ouvre aux sciences de la vie, de l'homme et de la société.

Le langage est une peau : je frotte mon langage contre l'autre. » Cette phrase extraite des *Fragments d'un discours amoureux* de Roland Barthes, en exergue d'une œuvre d'art où apparaissent mains et visage, interpelle d'emblée le visiteur. Tout près, un tableau abstrait peint par un étudiant évoque l'usure de la matière. Un peu plus loin, une boîte couverte de messages invite à découvrir le « troisième corps », celui qui se forme à l'interface de frottement entre deux pièces mécaniques, mais qui peut aussi résulter du contact de l'art et des idées.

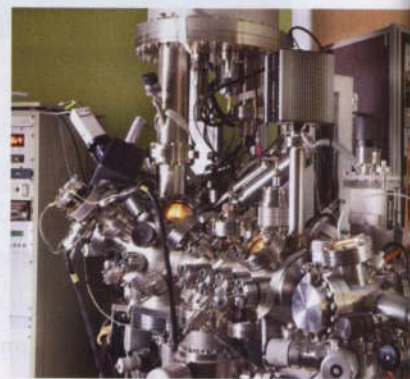
Frottement, usure, objets en mouvement, ici se situe la raison d'être du Laboratoire de tribologie et dynamique des systèmes (LTDS), implanté au cœur du campus de l'École centrale de Lyon, à Écully, une banlieue cossue de Lyon. Par nature, le labo est tourné vers les mondes de l'ingénierie et l'industrie. Pour preuve, sa forte intégration dans plusieurs pôles de compétitivité et dans le projet Institut Carnot Ingénierie@Lyon. Mais la recherche fondamentale y est aussi très forte, et se nourrit de nombreuses collaborations internationales dont Elyut Lab, un laboratoire international associé avec le Japon. « Pour résumer, on va de la nanoparticule à la turbine d'avion. Le mot-clé pour nous, c'est multi-échelle, spatiale et temporelle », souligne Denis Mazuyer, directeur du LTDS. Un large spectre que balayent les trois équipes du laboratoire.

TOUJOURS EN MOUVEMENT

« Tribologie vient du grec *tribein* qui signifie *frotter* : c'est la science du frottement, de l'usure, de l'adhérence et de la lubrification », explique Sandrine Bec, responsable de la première équipe, baptisée « Tribologie, physicochimie et dynamique des interfaces ». L'usure et les frottements ? Des problèmes très quotidiens mais complexes, et sur lesquels « il ne faut pas avoir de préjugés. Dans un moteur de voiture, on réduit au maximum les frottements

pour moins consommer. Par contre, lorsqu'on freine, il faut que ça frotte... mais pas que ça use ! ». La clé de la maîtrise de l'usure et des frottements ? Une parfaite compréhension des phénomènes qui se produisent entre les surfaces en contact. C'est aussi vrai pour la lubrification. Vous pensez à de l'huile ou de la graisse ? Ces produits ne sont pas simples. « Les huiles contiennent de nombreux additifs, antioxydants, anti-usure, modificateurs du frottement... qui se combinent de manière complexe », explique la jeune femme. Comprendre l'action des additifs est l'une des spécialités du LTDS, qui a passé un accord avec Total. Comme plusieurs autres entreprises, le groupe pétrolier finance des thèses Cifre, des postdocs et a embauché des doctorants du laboratoire. Il y trouve surtout la possibilité de mesures extrêmement fines grâce à un large éventail de matériel expérimental, dont une bonne partie est fabriquée maison et qui constitue un point fort du LTDS. Parmi les instruments les plus remarquables, on trouve un tribomètre ultraprécis dans lequel l'échantillon est déplacé avec une précision au dixième de nanomètre, qui permet de caractériser jusqu'à la monocouche moléculaire adsorbée² sur une surface ; un autre tribomètre sous atmosphère contrôlée qui permet un vide poussé pour des applications spatiales ; ou encore des nano-indenteurs capables de tester la résistance à l'abrasion des vernis des peintures automobiles en les rayant très finement.

Mais il y a aussi d'imposants bancs d'essai qui sont le domaine de l'équipe « Dynamique, fiabilité, durabilité ». C'est le royaume de la pièce en mouvement. Pour preuve, d'imposantes machines de *fretting* (test d'usure par frottement), un banc d'essais de boîtes de vitesses



Grâce à cet appareil, on peut appliquer un vide poussé à des échantillons pour des applications spatiales, ou injecter des gaz pour étudier les effets de l'environnement sur le frottement.

LE LABORATOIRE DE TRIBOLOGIE ET DYNAMIQUE DES SYSTÈMES EN CHIFFRES

220 personnes / 60 chercheurs et enseignants-chercheurs /
36 ingénieurs, techniciens et administratifs / 95 doctorants
dont 39 Cifre / 17 postdoctorants / 5 millions d'euros de projets
dont 40 % en partenariat direct avec l'industrie / 100 articles publiés
chaque année dans des revues scientifiques internationales



La plateforme « Durabilité, fretting et fatigue » soumet des pièces à de très nombreux cycles de frottement pour simuler leur durée de vie et prédire l'usure et le risque de rupture.

torturées par d'énormes contraintes mécaniques, ou celui d'un pantographe du TGV – la pièce qui fait contact avec la caténaire pour transmettre l'électricité vers la motrice. Un peu plus loin, un outil original de caractérisation des turbines permet de faire le vide pour s'affranchir de l'aérodynamique et n'étudier que les vibrations. « Sur les réacteurs d'avion, le constructeur veut gagner du poids, augmenter la fiabilité et limiter la maintenance. Mais il y a une contrepartie : les pièces deviennent plus souples et leur comportement mécanique beaucoup plus compliqué. C'est là où nous intervenons : nous pouvons prédire le comportement de structures complexes, bien qu'il soit parfois instable ou chaotique », explique Fabrice Thouverez, responsable de l'équipe. Celle-ci teste aussi sur un banc de nouvelles architectures de moteurs d'avions. Mais comme pour la turbine, pas de détail, secret industriel oblige... Le LTDS est en effet pôle externe de recherche de Safran (Snecma) pour la dynamique des systèmes. Et l'aéronautique représente plus de 30 % des contrats industriels.

LA MÉCANIQUE DANS LA PEAU

Avant de construire de nouveaux moteurs, il faut en façonner les pièces, ce qui pose d'autres problèmes lors de l'usinage. C'est là qu'intervient l'équipe « Mécanique des milieux hétérogènes, géomatériaux et procédés de fabrication ». « Lors de la coupe ou du soudage, la surface peut chauffer fortement et changer de nature, avec comme conséquence, par exemple, des microfissures », explique Jean-Michel Bergheau, responsable du second site du LTDS, basé à Saint-Étienne. Comprendre les phénomènes durant l'usinage, en anticiper les effets, modéliser avec une forte compétence en simulation numérique, est le point fort du site stéphanois. Plus inattendu au LTDS : une incursion dans le domaine du vivant. « Tout est parti il y a dix ans d'une demande de l'industrie cosmétique et de la dermatologie qui souhaitait utiliser nos compétences en tribologie pour étudier la surface de la peau humaine », explique Hassan Zahouani, responsable de l'équipe « Mécanique des milieux hétérogènes ». Résultat : une spécialisation en « mécanique de la peau », avec des applications sur le vieillissement naturel et certaines maladies génétiques (vieillesse accélérée). Au labo, on mesure avec précision l'élasticité et la résistance à la traction de la peau, on tente de comprendre comment se comportent les fibres d'élastine de l'épiderme au fil du temps. Plus sensuel : on mesure la douceur de la peau, un critère pourtant très subjectif. Et ce grâce à une sonde triboacoustique inspirée du vivant³. En effet, passer la main sur la peau pour en éprouver la douceur provoque une vibration que l'on peut mesurer. Le succès scientifique et médiatique a été au rendez-vous, avec à la clé les manifestations d'intérêts de nouveaux industriels. « Il y a des applications dans le textile que nous allons breveter. Et nous créons une start-up nommée Touchlogy. C'est aujourd'hui un domaine important pour le LTDS », souligne Roberto Vargiolu, ingénieur de la plateforme « Ingénierie du vivant ».

UNE SCIENCE TRÈS SOCIALE

Depuis longtemps déjà, le LTDS sort en effet de ses frontières traditionnelles, celles de la mécanique et de l'ingénierie. Les œuvres d'art disséminées dans le laboratoire – un travail « art et sciences » avec les élèves de Centrale, précise Denis Mazuyer – et une forte implication régionale dans la Fête de la science en témoignent. Mais aussi les problématiques de recherche qui, par la force des choses, intègrent des critères de développement durable. « Les additifs des huiles moteurs, soufrés et phosphorés, ou certains additifs utilisés pour le broyage des minéraux, ne respecteront bientôt plus les futures normes environnementales. Or, les industriels les utilisaient de manière plutôt empirique. Nous devons donc comprendre leur mode d'action pour réduire les quantités utilisées ou pour imaginer de nouveaux additifs non nocifs avec des performances améliorées », souligne Sandrine Bec. Concevoir des systèmes durables fait partie des priorités du laboratoire pour le futur. « Le triangle économie-culture-écologie est de plus en plus important pour l'ingénieur », résume Jean-Marie Georges, centralien et fondateur du laboratoire il y a 40 ans. Retraité, mais toujours chez lui dans les murs du labo, jamais avare d'un compliment pour tel ou tel « ingénieur remarquable » qui a permis au LTDS de progresser, il a vu le laboratoire évoluer et prône son intégration toujours plus forte dans la société. C'est déjà le cas avec l'archéotribologie. Depuis plusieurs années, le LTDS aide les archéologues à analyser les traces sur les outils antiques afin de comprendre comment ils étaient fabriqués et utilisés. Mais Denis Mazuyer souhaite aller plus loin. « Si d'ici 4 à 8 ans, le LTDS sait se doter de compétences en sciences humaines et sociales, il pourra être reconnu comme un des laboratoires de référence pour l'apport de la mécanique, de la science des matériaux et des surfaces dans le développement équilibré de nos sociétés. »

Jean-François Haït

→ En savoir plus : <http://ltds.ec-lyon.fr>

1. Laboratoire CNRS / Centrale Lyon / Éc. nat. d'ing. de Saint-Étienne (Enise) / Éc. nat. sup. des mines de Saint-Étienne.
2. Lors de l'adsorption, les molécules libres ou dissoutes d'un liquide ou d'un gaz se fixent à la surface d'un solide avec lequel elles sont en contact.
3. Lire *Le journal du CNRS* n°215, décembre 2007, www2.cnrs.fr/presse/journal/3679.htm

CONTACTS

- Sandrine Bec, sandrine.bec@ec-lyon.fr
- Denis Mazuyer, denis.mazuyer@ec-lyon.fr
- Fabrice Thouverez, fabrice.thouverez@ec-lyon.fr
- Roberto Vargiolu, roberto.vargiolu@ec-lyon.fr
- Hassan Zahouani, hassan.zahouani@ec-lyon.fr



Ce dispositif permet d'étudier la pression exercée par le pantographe d'un TGV sur la caténaire, un contact qui ne doit jamais être interrompu.

Jean-Marie Georges, fondateur du LTDS et Roberto Vargiolu, ingénieur, examinent l'usure des silex qui équipent la première machine agricole de l'humanité : le tribulum, qui permettait d'extraire les grains de blé.



Mesure de la douceur de la peau avec une sonde triboacoustique (brevet CNRS).

© Photos : S. Codelroy/CNRS Photographie