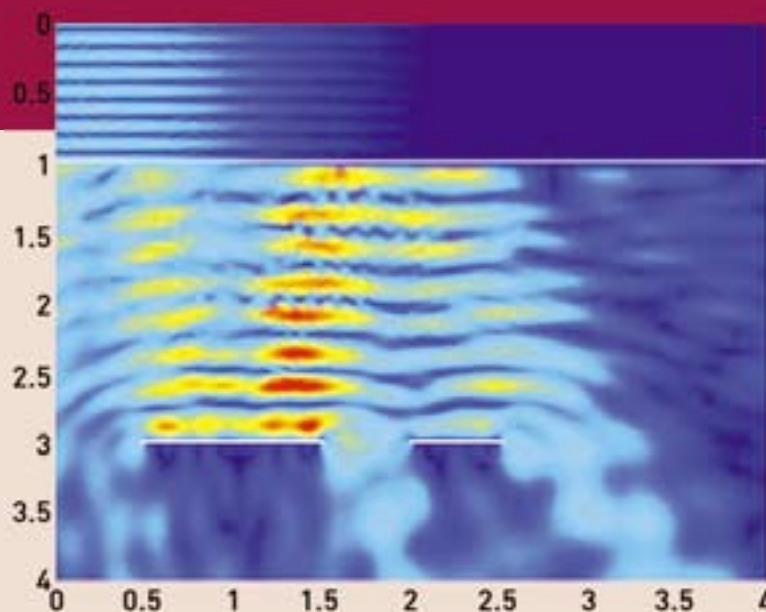




Mécanique, acoustique et matériaux



Le laboratoire Roberval de l'UTC a pour vocation le développement des méthodes et des outils d'expérimentation et de modélisation pour l'analyse, la conception et la fabrication des structures et systèmes mécaniques. Visite au sein de cette unité mixte de recherche UTC / CNRS - UMR 6253 dédiée à l'étude des matériaux, mais aussi au numérique et à l'acoustique.

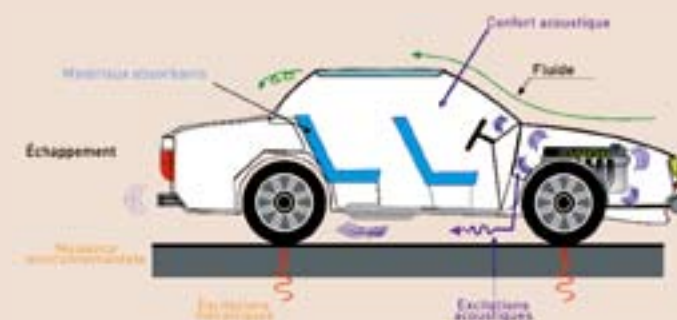
Rencontre avec son directeur, Jean-Marc Roelandt

Quelles sont les activités de recherche et de transfert du laboratoire Roberval ?

Axées sur la tenue et la durabilité des structures, la vibro-acoustique, l'utilisation optimale et le contrôle de matériaux innovants, nos recherches s'appuient sur des développements d'ordre numérique ou expérimental concernant la simulation numérique des procédés d'assemblage et de mise en forme, la réduction des nuisances sonores, la mécanique des surfaces et interfaces, l'influence de l'environnement sur le comportement mécanique et l'optimisation multidisciplinaire des systèmes mécaniques. Nos activités de recherches sont ainsi structurées en trois thèmes : *Méthodes numériques en mécanique, Acoustique et vibrations et Matériaux et surfaces.*

Ce laboratoire apparaît comme pluridisciplinaire mais également transdisciplinaire ?

Notre laboratoire a récemment été rattaché à l'Institut ST2I* du CNRS. A ce titre, nos recherches sont effectivement interdisciplinaires et abordent la science des matériaux, la mécanique non-linéaire des solides, des fluides et des systèmes couplés, l'acoustique, les techniques de mise en forme et d'usinage, les méthodes de mesures expérimentales et de la modélisation numérique. Plusieurs échelles d'étude d'un système mécanique peuvent ainsi être considérées : celle du matériau constitutif, celle de la structure et celle du procédé de fabrication. Les aspects multidisciplinaires sont souvent mis en évidence



dans les projets portant sur la conception de structures ou systèmes nécessitant des propriétés antagonistes, par exemple dans l'automobile : tenue au crash, confort acoustique, formabilité des pièces, réduction du poids et des émissions des gaz à effet de serre.

Quelles sont les applications des recherches menées au sein de votre unité mixte de recherche ?

Nos travaux de recherche ont été valorisés par le développement de logiciels et de méthodes expérimentales originales : logiciels de calcul en mécanique et acoustique, développement de banc de mesure aéro-acoustique, montage de sollicitation mécanique sous atmosphère complexe en température, tribomètres à chaud... Autant d'innovations imaginées en partenariat avec le tissu industriel régional et international qui soutient et valorise nos recherches, en particulier dans les domaines de la construction automobile, l'aéronautique et l'énergie. Citons parmi les partenaires du laboratoire *Arcelor Mittal, Renault, PCA, Faurecia, Alstom, Valeo, Saint-Gobain, Airbus, EADS, Snecma, CNES, ONERA, DGA, EDF, CEA, Cetim, CETMEF...* sans parler de nos recherches menées conjointement avec les deux pôles de compétitivité mondiaux *i-Trans* dans le domaine des transports (automobile, ferroviaire, aéronautique et spatial, maritime et fluvial) et *Industries et Agro-Ressources (IAR)* dans l'élaboration et la transformation d'agro-matériaux. ■

* Sciences et Technologies de l'Information et de l'Ingénierie

procédé de fabrication

structure

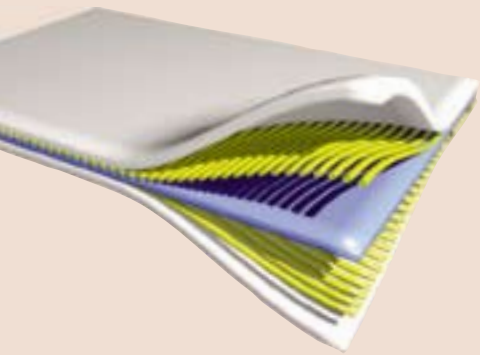
matériau constitutif



Tout le monde connaît la balance à deux fléaux dite *balance Roberval*, mais peut-être connaît-on moins bien son inventeur : Gilles Personne de Roberval (1602-1675). Physicien et mathématicien français, originaire du village de Roberval dans l'Oise, il est l'initiateur des géométries infinitésimale et cinématique, et acquiert une grande

APPLICATIONS

La mécanique du matériau : des enjeux pour tous les secteurs industriels



Etudier les propriétés mécaniques d'un matériau nécessite de s'intéresser à sa structure, ses interactions de surface et interfaces, et son comportement dans des environnements complexes. Autant d'études menées au sein du laboratoire Roberval, à la croisée de plusieurs disciplines, et qui trouvent des applications dans tous les secteurs de l'industrie : aéronautique, médecine, bâtiment, ...



Les composites : des matériaux à renforts 3D et à renforts végétaux

Les enjeux actuels et futurs en termes de rapport "performance / coût" des secteurs de l'aéronautique, du transport terrestre et naval imposent l'utilisation de matériaux innovants répondant à des exigences structurales et fonctionnelles. Le développement des matériaux composites* à renfort 3D, domaine dans lequel l'UTC possède une expérience forte de plus de 15 ans, est une réponse pertinente à ces enjeux. Alors que les précédentes générations (renfort 1D et 2D) souffraient de carences des propriétés mécaniques dans la troisième direction de l'espace, ce renforcement 3D hors plan des tissus dits "techniques" vient ainsi proposer de nouvelles et plus nombreuses configurations architecturales (préformes) des matériaux composites. Les contraintes environnementales poussent également les industriels à développer des matériaux composites à renforts végétaux. Les fibres traditionnellement utilisées dans les renforts des composites (fibres de verre, carbone, ...) se voient substituer par des fibres naturelles d'origine végétale issues des plantes ou de la cellulose (fibres de bois, chanvre, ...), offrant des propriétés adaptées : faibles densités, bonnes propriétés mécaniques, faibles coûts... ■

* Un matériau composite est constitué d'une ossature appelée renfort qui assure la tenue mécanique et d'une protection appelée matrice qui assure la cohésion de la structure et la retransmission des efforts vers le renfort.

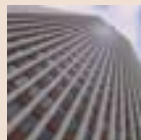


Les biomatériaux ou l'interaction cellule-matériau

L'intégration des implants métalliques orthopédiques ou dentaires dans le tissu osseux est essentielle à leur pérennité. A ce jour, les implants intra-osseux sont de plus en plus utilisés, notamment à cause du vieillissement de la population. Reste qu'ils bénéficient d'une durée de vie relativement courte, ce qui oblige souvent à les retirer et les remplacer. En conséquence, l'amélioration de l'intégration des biomatériaux dans le tissu osseux est devenue un des challenges dans le domaine de la biomécanique. Le laboratoire Roberval développe ainsi une méthode de préparation d'implants métalliques à usage dentaire et orthopédique : l'électroérosion. Cette méthode, également appelée EDM (Electrical Discharge Machining), consiste, au moyen de décharges électriques, d'enlever de la matière dans une pièce, permettant ainsi son découpage en formes complexes. On parle aussi d'usinage par étincelage. Cette technique présente l'avantage, par rapport aux autres techniques, de permettre en une seule manipulation la préparation d'une surface avec une rugosité à priori favorable à l'ancrage osseux. ■



Attaque chimique d'un matériau

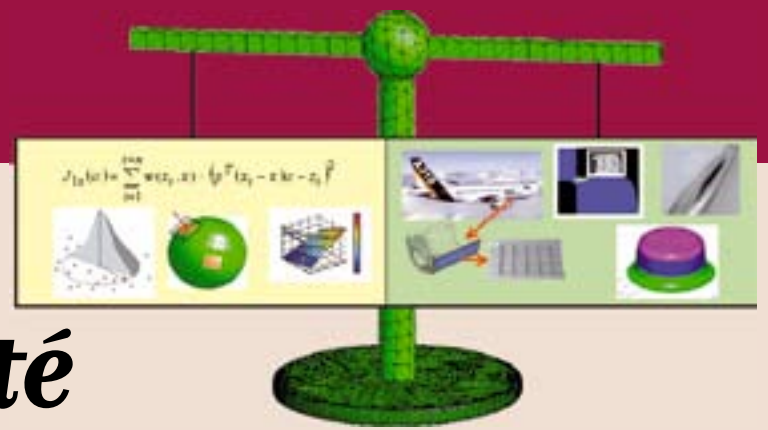


Les métaux face à la corrosion

Plusieurs mécanismes peuvent être, on le sait, à l'origine de l'usure et la détérioration des matériaux : présence d'un agent corrosif, sollicitations thermiques, mécaniques... Or, les matériaux métalliques par exemple doivent, pour être utilisés à haute température, conserver des propriétés mécaniques suffisamment importantes pour résister aux sollicitations en utilisation, et résister à la corrosion par l'environnement, qui conduit le plus souvent à une modification physico-chimique et une véritable "consommation de métal" à la surface du matériau. Il en résulte des variations dimensionnelles des pièces concernées qui peuvent limiter leurs durées de vie (d'autant plus que ces phénomènes de corrosion sont rapides), même si les produits de corrosion séparant l'alliage métallique de son environnement agressif peuvent également contribuer à protéger l'alliage d'une corrosion ultérieure. Des travaux de recherche du laboratoire Roberval se positionnent ainsi à l'interface de ces deux problématiques à travers la caractérisation de la tenue mécanique des alliages métalliques sous sollicitation thermique et leur résistance à la corrosion par les gaz. ■



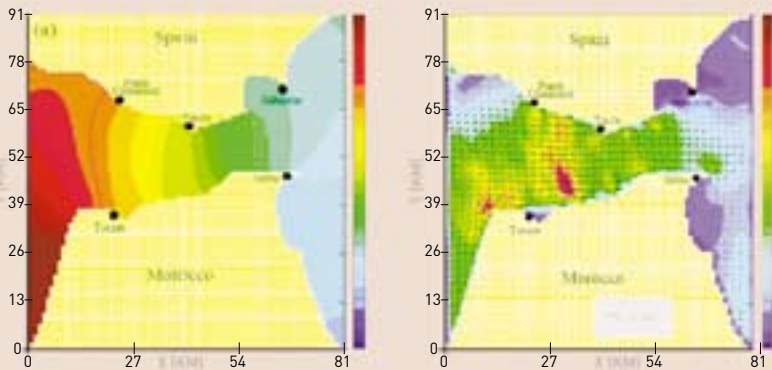
renommée en physique pour ses travaux en mécanique des fluides et des solides. Il fait également partie en 1666 des sept savants membres fondateurs de l'Académie des sciences. Depuis 1987, l'UTC lui rend hommage en décernant chaque année le Prix Roberval, prix francophone du livre et de la communication en technologie.



TECHNOLOGIE

La simulation numérique : à la base de la sécurité et de la performance

Le recours au numérique est devenu incontournable dans le secteur industriel. Les exigences de qualité, de résistance ou de temps de fabrication des matériaux y sont aujourd'hui telles que seule la modélisation numérique permet de se libérer d'essais réels souvent longs et coûteux.



Simulation des courants de marée au niveau du détroit de Gibraltar

Décrire mathématiquement le comportement d'un matériau soumis à des contraintes et déformations,

caractériser et comprendre un phénomène physique à travers l'identification de paramètres, optimiser un produit final ou son procédé de mise en forme (laminage, emboutissage, hydroformage, soudage, ...). Tels sont les enjeux proposés par la modélisation numérique en mécanique. « La mécanique numérique vise plus précisément à calculer numériquement le comportement d'objets même très complexes, explique Alain Rassinoux, enseignant-chercheur à l'UTC et responsable du master ESID.

L'une des spécificités du laboratoire Roberval est ainsi d'imaginer et d'élaborer des méthodes et modèles numériques spécifiques et originaux pour résoudre ou optimiser des problèmes multi-physiques complexes associés à des

systèmes de grande taille, comme une aile d'avion. Le but étant d'accroître les performances de ces systèmes et de maîtriser les paramètres qui peuvent les perturber. On va ainsi s'intéresser à la durée de vie des systèmes, leur tenue,

leur robustesse, leur contrôle mais aussi leur performance et leur fiabilité ».

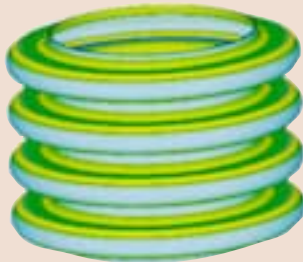
Le numérique pour modéliser ...

La simulation des phénomènes physiques et mécaniques fait appel à différentes méthodes permettant de décrire le comportement de systèmes physiques, et notamment celle dite des éléments finis, qui fournit aujourd'hui un cadre de travail standardisé pour la modélisation numérique. Aidée par la multiplication de nombreux logiciels, la méthode des éléments finis repose sur un découpage de l'espace selon un maillage. « Un maillage

consiste concrètement à la discrétisation d'un milieu, à savoir le découpage en classes d'une série de données qualitatives ou quantitatives dans le but de la représenter en plages différenciées ». Aussi, plus ce maillage est resserré et fin, plus

la modélisation que l'on

obtiendra sera précise et donc proche de la réalité. Mais depuis une dizaine d'années, de nouvelles méthodes numériques alternatives à la méthode des éléments finis, ont été développées. Ces méthodes, appelées "méthodes sans maillage", reconstruisent une partie ou la totalité des



surfaces définies à partir de nuages de points capturés par un scanner 3D. « Comparable à la méthode des éléments finis, la méthode d'approximation diffuse présente par exemple l'avantage de se baser seulement sur un ensemble de nœuds répartis dans le solide sans requérir un maillage de celui-ci. Opération bien souvent longue et donc coûteuse » souligne Alain Rassinoux. Cette méthode va ainsi permettre d'exprimer la valeur d'une grandeur inconnue en un point du domaine en fonction des valeurs aux points voisins et offrir une cartographie 3D d'un espace ou matériau donné.

... mais aussi pour prédire et optimiser

Outre renforcer un dialogue nécessaire entre essais et calculs, la mise en œuvre de simulations numériques en mécanique permet également d'élaborer des méthodes et modèles probabilistes

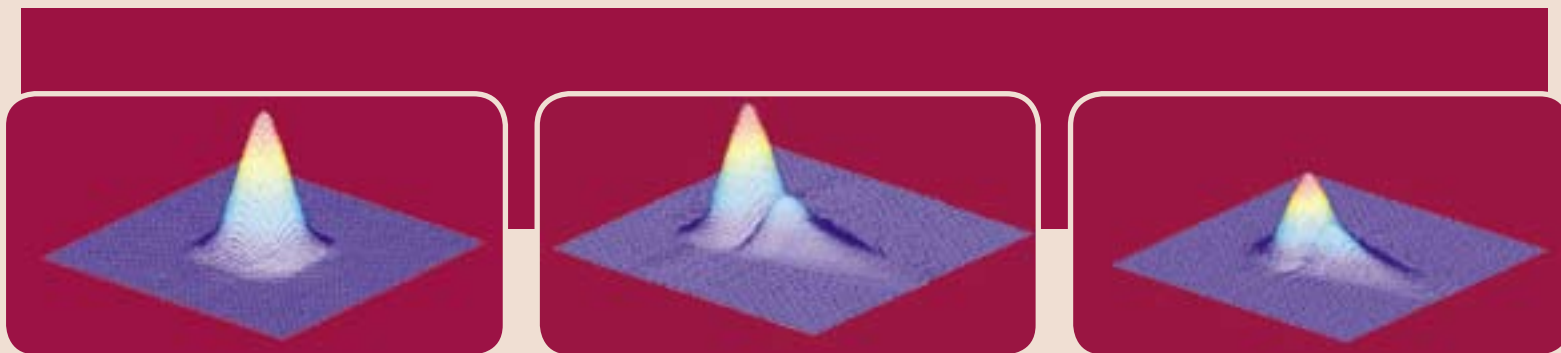
et prédictifs fiables prenant en compte la maîtrise des sources d'incertitude et de variabilité. À ce titre, un Laboratoire commun d'Hydraulique Numérique (LHN)* à l'UTC s'intéresse de manière générale à la mise au point de nouvelles méthodes numériques dans les domaines de l'hydraulique et de l'environnement. Dans le cadre du changement climatique, les aménagements contre les risques d'inondation, d'érosion marine ou de submersion marine doivent par exemple être réexaminés. De nouvelles activités sont également en essor en zones côtières comme le développement des énergies marines, dont l'impact sur l'environnement et la biodiversité doit être mieux pris en compte. « On peut également citer la sécurité de navigation, l'impact des bateaux sur les berges, la remise en suspension des sédiments liée au trafic fluvial, ... pour lesquelles l'absence de validation par retours d'expériences trouve dans le numérique un apport inestimable » confirme Jean-Marc Roelandt. ■

* créé en 2002 par la volonté commune de l'UTC et du CETMEF (Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales)

MASTER "Élaboration des Structures Innovantes et Durables"

La spécialité Elaboration des Structures Innovantes et Durables (ESID) du master Sciences et Technologie de l'UTC forme les étudiants à des technologies émergentes pour apporter dans un respect de l'environnement des solutions innovantes, robustes et fiables à des problèmes multi-physiques, multi-matériaux rencontrés lors de la conception, l'élaboration et la réalisation de structures et systèmes mécaniques. « Cette formation met clairement en avant les aspects transversaux des processus de conception, de fabrication et de contrôle des structures dans leur cycle

de vie » explique Alain Rassinoux. A savoir : la maîtrise des matériaux dans les procédés de transformation de la matière et d'assemblage (alliages métalliques, composites, agro-matériaux), le caractère intégrateur des modèles informatiques numériques (CAO, calcul par éléments finis, identification de paramètres, optimisation, acquisition de données ...), la réduction des coûts de développement intégrant les performances mécaniques, la fiabilité des processus, la durée de vie, le confort acoustique et vibratoire et le respect de l'environnement.



RECHERCHE

L'enseignant-chercheur à sa table de mixage

La réduction des nuisances sonores est un enjeu majeur pour l'industrie mécanique. Le laboratoire Roberval participe à l'effort de recherche dans ce domaine en développant, notamment en relation avec le secteur automobile, des outils numériques et méthodes expérimentales en vibro-acoustique pour améliorer le confort acoustique et sonore. Une technique, la séparation de sources couplée à l'imagerie acoustique, se propose par exemple de hiérarchiser au sein d'un moteur de voiture les niveaux de bruit associés à différentes sources (combustion, injection, claquement du piston, culbuterie, etc) à partir de mesures microphoniques externes. Explications ...

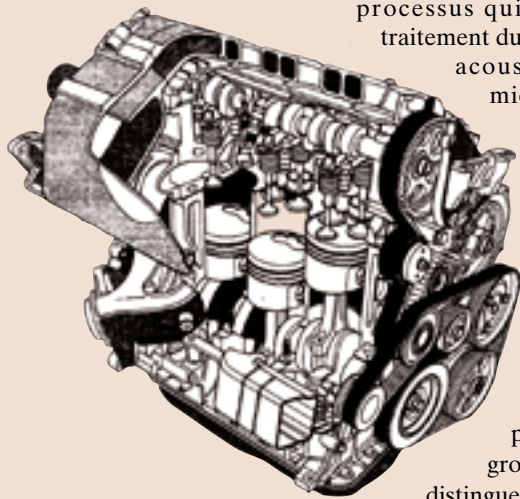
Questions à Jérôme Antoni, enseignant-chercheur à l'UTC et spécialiste du domaine.

Combien de sources de bruits différentes sont-elles aujourd'hui identifiées au sein d'un moteur ? Lesquelles ?

Une des principales sources de bruit au sein d'un moteur provient des combustions successives qui ont lieu dans les cylindres et qui fournissent la puissance mécanique au moteur. Celles-ci génèrent des gradients de pression très rapides qui excitent la structure du bloc moteur à l'image de coups de fusil. Ces sollicitations sont ensuite rayonnées par voie aérienne ou solide pour créer le bruit perçu dans l'habitacle ou à l'extérieur du véhicule. Une autre source de bruit importante, en particulier pour les moteurs diesel, est due aux chocs mécaniques des pistons sur les cylindres lors des inversions de forces. Le turbo constitue une autre source majeure de bruit pour les moteurs qui en sont équipés. Enfin, la technologie de l'injection directe peut être très bruyante. La liste ne s'arrête évidemment pas ici, l'importance relative des sources citées dépendant d'ailleurs de nombreux facteurs comme le régime du moteur, sa température, la composition du carburant... Toute la difficulté pour l'ingénieur motoriste consiste donc non seulement à identifier ces sources, mais aussi à les hiérarchiser.

Comment parvient-on à associer à la séparation des bruits une imagerie acoustique ?

La séparation de sources et leur visualisation par l'imagerie acoustique sont deux phases distinctes d'un même processus qui met en œuvre des méthodes de traitement du signal spatio-temporel sur les pressions acoustiques mesurées par des antennes de microphones. La séparation de sources a pour objectif d'extraire dans le bruit rayonné global les contributions individuelles de chacune des sources, telles qu'elles seraient mesurées si toutes les autres sources concurrentes étaient éteintes. Les algorithmes qui sont développés dans cette optique se fondent uniquement sur des critères d'indépendance statistique des sources d'origines physiques différentes. Cela peut paraître un peu magique, mais il ne faut pas oublier que l'on ne fait que copier assez grossièrement la capacité de l'oreille humaine à distinguer dans un morceau de musique la partition jouée par chaque instrument ! Les sources une fois séparées, il



21^e édition des Journées Internationales Francophones de Tribologie

Un séminaire (JIFT'09) portait les 5 et 6 mai à l'UTC sur la compréhension des phénomènes tribologiques, et notamment sur la fatigue de contact de roulement concernant les pièces mécaniques soumises à des contacts répétitifs.

<http://www.utc.fr/lrm/jift2009>

convient de représenter le champ acoustique qu'elles produisent au plus proche de la surface du moteur sous la forme d'une image afin de finement localiser leurs origines spatiales.



Quelles sont les solutions envisagées pour une réduction des bruits issus du moteur ?

Il y a classiquement en acoustique trois niveaux d'intervention pour réduire le bruit : ses mécanismes générateurs, son transfert ou son rayonnement. L'ordre de déclinaison de ces trois solutions correspond aussi à leurs efficacités. L'adoption de l'une ou l'autre, ou de leur combinaison, dépend de nombreux compromis entre des contraintes techniques, des contraintes de performance et de pollution, et bien sûr des contraintes financières. Des efforts considérables ont été réalisés au cours des dernières décennies dans ce domaine et les constructeurs automobiles français se placent aujourd'hui en première position en terme de prestation acoustique. Mais dès que des sources de bruit sont atténuées, elles en laissent apparaître de nouvelles qui étaient auparavant masquées. Les challenges pour l'avenir portent sur le bruit de roulement (contact roue-chaussée) mais aussi le bruit des moteurs électriques qui sont progressivement amenés à remplacer ou à collaborer avec les moteurs thermiques. De manière générale, il y a aura toujours du travail pour les acousticiens ! ■

Sécurité et acoustique des équipements embarqués

L'UTC accueillait le 3 février le comité de pilotage de REVA (*Recherche de l'Excellence en Vibro-Acoustique*), l'un des projets phare du laboratoire Roberval, conduit en partenariat avec Renault, Valeo, St Gobain, ESI-Group, Vibratec, CETIM, CRITTM2A... Il vise notamment à développer des matériaux capables de limiter la dispersion des niveaux acoustiques.

www.i-trans.org

Laboratoire ROBERVAL : www.utc.fr/lrm

