

# Galets, rotules, paliers lisses, coussinets... Vers de nouveaux seuils de résistance

Accroissement de la durée de vie, entretien faible ou inexistant, fiabilité, résistance à des conditions de fonctionnement souvent très sévères... Les besoins exprimés par le marché auprès des fournisseurs de galets, rotules, paliers lisses et autres coussinets ressemblent à s'y méprendre à ceux concernant la majeure partie des composants et systèmes de transmission de puissance. **A cela s'ajoutent cependant des caractéristiques propres à ce type de produits. A commencer par des capacités de charges élevées associés à des coefficients de frottement les plus bas possibles. En outre, les contraintes environnementales commencent à affluer dans les cahiers des charges des clients. De même que la capacité à prendre en charge des systèmes complets.**

► Organe stratégique par lequel transite toute la puissance de la machine, le palier lisse se doit de répondre vaillamment aux nombreuses missions qui lui sont confiées. Il doit ainsi assurer le guidage en rotation et/ou la butée, tout en supportant une charge fixe ou mobile, que celle-ci soit constante ou variable, et en évacuant les calories résultant du mouvement sous charge. Rien d'étonnant alors à ce qu'on retrouve le palier lisse « là où les pressions, vitesses et conditions d'accessibilité n'autorisent aucune autre technologie », remarque Lionel Pelle-

voisin, responsable de la SAMR (Société d'application du métal rouge). C'est notamment le cas pour les moteurs thermiques et électriques, les réducteurs, laminoirs, concasseurs et autres arbres d'hélices...

En fait, tous les secteurs de l'industrie lourde sont concernés. « Là où sont utilisées des machines tournantes fortement sollicitées se trouvent des paliers hydrodynamiques et donc des coussinets de paliers lisses », constate-t-il. Au palmarès de ces secteurs, notons les complexes pétrochimiques, les chantiers navals, les ateliers ferroviaire, la métallurgie, la cimenterie, ... etc.

## ROULEMENTS OU PALIERS

Le problème, c'est que, « une fois les paliers installés, les clients ne veulent plus en entendre parler », explique le Professeur Jean Frêne du Laboratoire de mécanique des solides (LMS) de Poitiers. L'arbre se doit de tourner sans problème, tout en dépensant le moins d'énergie possible.

Dans ce cadre, remarque encore Jean Frêne, « le roulement à billes occupe une place consi-



Permaglide

dérable car il répond à beaucoup de besoins ». Cependant « pour certaines applications, notamment sur du matériels de plus petite taille supportant de petites charges et de faibles vitesses, la tendance est au remplacement du roulement par des bagues auto-lubrifiées

à vie, dont la durée de vie se doit d'être équivalente à celle de la machine ».

Pour les applications un peu plus « difficiles », il convient de distinguer selon les cas. Jean Frêne prend ainsi l'exemple des roulements à billes qui équipent de nombreux turbo-

compresseurs de pressurisation et de climatisation des cabines d'avions, qui sont « remplacés par des paliers à gaz dont l'étude est très complexe, mais la réalisation aussi simple que celle du roulement à billes ». Ces paliers se caractérisent par une absence de frottement sur le film d'air, un air propre et l'absence de toute pollution. « C'est une tendance : d'ici dix ans, tous les avions seront équipés de paliers à gaz, comme c'est déjà le cas pour certains », pronostique le Professeur qui cite d'autres exemples tels que les têtes de lecture des disques durs d'ordinateurs qui fonctionnent sur film d'air et donc avec des paliers à gaz « dont l'étude est complexe, mais les coûts réduits et les résultats exceptionnels ».

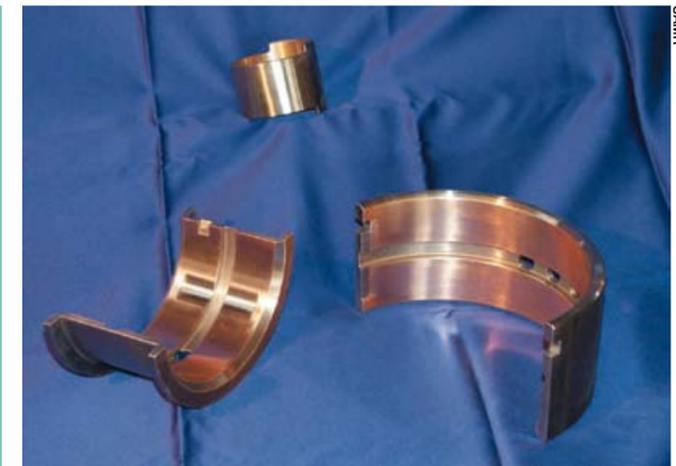
Idem sur les lignes d'arbres des turbines de centrales électriques qui « fonctionnent toutes

avec des paliers lisses avec des vitesses linéaires extrêmement importantes ».

Par contre, les décisions sont moins tranchées dans d'autres domaines comme les fraises de dentiste « dont la moitié fonctionnent sur paliers à gaz et l'autre moitié sur roulements, avec des coûts et durées de vie à peu près équivalents ».

Les choix sont aussi différemment répartis dans le domaine de l'automobile qui « préfère utiliser le roulement à billes dans les moyeux de roues et les boîtes de vitesses », tandis que « les paliers lisses demeurent les rois incontestés sur les systèmes paliers/vilebrequins ».

« Il s'agit donc de différencier selon les applications, conclut Jean Frêne. Les deux systèmes peuvent être en concurrence sur certaines alors que le choix est quasi-obligatoire sur d'autres ».



## HAUT DE GAMME

« L'utilisation des paliers lisses est déjà bien répandue dans le domaine des transmissions », constate pour sa part Derek Marsella, Senior Manager Applied Technology chez GGB.

Les besoins s'expriment alors « en termes d'objectifs de per-

formance tels que la puissance moteur et les couples de transmission » et sont généralement identifiés par les ingénieurs transmission qui travaillent sur un projet spécifique en collaboration avec un groupe de conception moteur. « Leurs principales préoccupations sont





Montage d'une bague en composite antifriction Eternum D-Glide F avec de l'azote (résistance aux températures inférieures à -200°C).

de savoir si les paliers peuvent répondre à leurs conditions de fonctionnement en termes de durée de vie, d'efficacité, de résistance à des températures variables, s'ils peuvent être dimensionnés ou fabriqués avec des gorges et s'ils respectent les normes environnementales », énumère Derek Marsella. « Les clients sont toujours plus désireux d'acquiescer des produits « haut de gamme » présentant de hauts degrés de fiabilité et de sécurité », remarque aussi Johan Tiellemans. Dans ce cadre, ils exi-

gent tout à la fois un accroissement de leur durée de vie et une baisse notable des obligations d'entretien, voire pas d'entretien du tout !

Mais le gérant d'Eternum France établit un distinguo entre certains secteurs « malheureusement moins exigeants » où les constructeurs d'engins montent les bagues les moins chères, souvent sous la pression de clients plus préoccupés par les prix d'achat que par les coûts de fonctionnement, et d'autres domaines, tels l'offshore, le maritime, les machines portuaires... qui « souhaitent éviter tous travaux de maintenance et sont à la recherche de solutions qui durent vingt ans et plus, voire, pourquoi pas, toute la durée de vie de la machine ou de l'infrastructure ».

Bref, les clients veulent que « ça marche » !

« Les attentes du marché en termes de coussinets de paliers lisses se résument à un mot : la fiabilité de la machine », conclut d'ailleurs Lionel Pellevoisin. Cette fiabilité sera la résul-



En haut : Des bagues en Eternum D-Glide F équipent le plus grand stinger du monde (résistance à des charges supérieures à 350 Newton par mm<sup>2</sup>, soit plus que 3,5 tonnes par cm<sup>2</sup>)  
En bas : La moitié du stinger, avant montage au navire. Le stinger est un instrument qui guide, comme un bras, des tubes (pour gaz ou pétrole) sur le fond de l'océan.



Le palier lisse polymère « iglidur JVFM Preload » convient aux charges statiques élevées et est silencieux. Finis les claquements dans les mécanismes de pédales.

tante d'une bonne conception du palier, de la réalisation irréprochable du coussinet, d'un montage soigneux et d'un suivi rigoureux en fonctionnement (maintenance prévisionnelle). « L'instrumentation est souvent d'une aide précieuse sur ce dernier point », constate-t-il.

#### PIÈCE CRITIQUE

Le responsable de la SAMR met d'ailleurs en évidence le rôle fondamental joué par le coussinet monté dans le palier, pièce critique qui « sera comme un fusible en cas de problème sur la machine (défaut de lubrification, surcharge, démarrage à sec...) et épargnera les organes coû-

teux (arbres, vilebrequin...) ». D'où l'importance à accorder à la fabrication de ce composant. A cet égard, Lionel Pellevoisin affirme que « les deux familles principales d'antifriction métallique à base de cuivre, pour l'une, et d'étain pour l'autre, couvrent la plupart des utilisations les plus exigeantes. Appliquées le plus souvent par centrifugation sur des coquilles métalliques, elles forment alors le coussinet multi-métallique combinant les qualités de chacun de ses constituants ».

La combinaison vitesse/pression sera déterminante dans le choix des matériaux du coussinet dont les performances dépendront aussi de ses procédés de fabrication, du soin apporté à son montage et de sa lubrification. Ces critères garantiront une durée de vie « théoriquement » infinie, puisque le régime hydrodynamique substitue un coin d'huile où sont laminées les molécules de lubrifiant, sans contact solide. « Dans la réalité, constate cependant Lionel Pellevoisin, la succession des démarrages, les régimes transitoires, la contamination ou le déficit de lubrifiant, les surcharges, les inversions...etc, pourront entraîner des usures prématurées et nécessiter le remplacement des coussinets ».

D'où l'importance de prendre bien soin à s'entourer de spécialistes de ce type d'organes critiques. « Une erreur de quelques centièmes de millimètre au niveau du jeu peut suffire à contrarier la formation du coin d'huile ou, au contraire, provoquer sa rupture et conduire,



Coussinets

dans le meilleur des cas, à la destruction du coussinet, et dans le pire, à celle de la machine ! »

#### COLLABORATION CLIENTS/FOURNISSEURS

D'une manière générale, il s'agit donc de maîtriser le sujet afin de pouvoir répondre à des clients qui souhaitent tout à la fois « augmenter les charges et diminuer les frottements tout en graissant le moins possible », constate Jean-Georges Schmitt, responsable du Service Applica-

tions chez Schaeffler France. Différentes stratégies se mettent alors en place chez les spécialistes du secteur.

C'est ainsi que les ingénieurs d'application GGB travaillent souvent en étroite collaboration avec les ingénieurs de leurs clients pour comprendre au mieux leurs besoins et surtout les conditions de fonctionnement (charges, vitesses, lubrification, température, contre-matériau, jeux...). « Dans les cas les plus pointus, le Groupe de Technologie Appliquée de GGB encourage souvent les clients à mettre en place des partenariats de développement pour optimiser l'utilisation des paliers dans leurs applications spécifiques », explique Derek Marsella.

« L'exigence de qualité est commune à tous les secteurs », renchérit Lionel Pellevoisin. Elle se traduit par une production



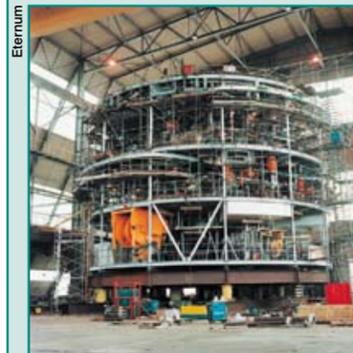
Revêtement de stade ou de façade, stores, portes et portails : les paliers lisses polymères sont légers, économiques et résistants à la corrosion.

soignée, des contrôles continus en production, une traçabilité complète depuis les matières jusqu'aux relevés de mesures. Par ailleurs, ces pièces à très forte valeur ajoutée nous sont le plus souvent commandées en petite quantité. Il faut faire preuve de flexibilité et être capable de produire, parfois à l'unité,

avec les mêmes exigences de qualité et délais que pour des séries ».

La SAMR a ainsi développé depuis soixante ans un savoir-faire indéniable en matière de fabrication de coussinets de paliers lisses de tous types, depuis la fonderie d'alliages antifrictions jusqu'aux dépôts électrolytiques

#### DES PALIERS LISSES EN D-GLIDE FC SUR LE « AOKA MIZU »



La tourelle du « Aoka Mizu », le nouveau navire FPSO conçu et construit par Bluewater, sera équipé avec des paliers lisses en composite antifriction D-Glide FC de la société Eternum, particulièrement résistant à l'abrasion.

Le « Aoka Mizu » représente la nouvelle génération de navires « FPSO » (servant à la fois de plate-forme d'extraction, de

stockage et de terminal pétrolier), spécialement conçue pour des opérations dans des environnements sévères.

Cent patins D-Glide FC de 318 x 199 x 90 mm suffisent pour le guidage de l'immense tourelle d'un diamètre de 12 m, équipant le bateau.

Le système d'amarrage de la tourelle intègre toutes les fonctions d'amarrage, de transfert de gaz/liquides et de puissance en un seul équipement. Il consiste en une partie géostatique, connectée sur le fond de la mer, nommée la « tourelle », et une partie rotative, intégrée dans la coque du FPSO.

Ces deux parties sont connectées par un palier de broche qui permet aux parties rotatives et géostatiques du système de tourner, autorisant ainsi le FPSO à pivoter librement autour de la tourelle dans une position stable afin que les charges exercées sur le navire soient minimales.

Le « Aoka Mizu » est le septième navire conçu, construit et armé par Bluewater. Le navire sera déployé au cours du premier trimestre 2008 sur le champ pétrolier d'Ettrick pour le compte de la compagnie Nexen Petroleum UK Limited.

Le D-Glide d'Eternum a déjà été adopté par de nombreux clients dans les domaines de l'offshore ou sur des applications telles que les portes d'écluses ou à bord des Car Ferries.

permettant les finitions en couches minces, grâce à un parc machines adapté à la spécificité des matières usinées et aux géométries très pointues des coussinets, allant de la simple bague aux coussinets multi lobes (alésages à 2 ou 4 centres).

En outre, l'entreprise a mis sur pied un service d'intervention sur site pour l'expertise des défaillances et une assistance au client pour le démontage et le remontage de ses paliers.

Car les clients recherchent de plus en plus de solutions globa-

les. Ce qui a amené une société comme Eternum à développer des études d'ingénierie et de conseils en termes de dimensions, matières, etc... qu'elle « propose gratuitement à ses clients », tient à souligner Johan Tiellemans.

« Nous vendons une solution technique », affirme pour sa part Virginie Beitzel, directrice commerciale d'Igus France, entreprise dont la force est notamment de proposer plusieurs milliers de références standard, stockées en permanence, en termes de paliers. Elle dispose donc à ce titre d'une multitude de moules tandis que des moules spécifiques sont fabriqués en permanence pour répondre aux besoins précis de ses clients.

#### MATÉRIAUX ANTIFRICTION

Sur la base de ce savoir-faire, les produits proposés s'adaptent aux nouvelles contraintes du marché.

Eternum par exemple, propose uniquement des solutions sans lubrification (fonctionnement à sec), qu'il s'agisse de composites ou d'alliages graphites.

Le composite Eternum D-Glide résiste ainsi à de fortes charges (> 400 N/mm<sup>2</sup>) et à des températures élevées, tout en présentant un coefficient de frottement très bas (jusqu'à 0,04) et une grande souplesse. Précision importante : ces caractéristiques sont valables sur toute l'épaisseur du composite (et non sur une seule couche d'usure). « En outre, précise Johan Tiellemans, ces produits



sont respectueux de l'environnement car ils ne comportent ni phénol, ni amiante qui sont dangereux pour la santé. Nos clients peuvent donc les usiner sans protection particulière ». Ses applications sont nombreuses dans tous types d'industries et d'infrastructures. C'est également le composite antifriction D-Glide F qui permet à Eternum de proposer des rotules inox qui figurent « parmi les plus sûres au monde ».

La famille d'alliages en graphite, carbone et métal, Graphalloy distribuée par Eternum, est, quant à elle, spécialement conçue pour des applications antifrictions (coussinets à glissement, bagues d'usure, douilles, rondelles de butée...). Exempts de grippages et résistants à la corrosion, ces matériaux sont dimensionnellement stables et résistent aux températures extrêmes (de la cryogénie jusqu'à 725 °C).

De son côté, la SAMR fait état de plusieurs exemples où les solutions qu'elle a élaborées



ont abouti à une meilleure résistance des composants utilisés. Ainsi, pour le remplacement, sur un laminoir, d'un coussinet bimétallique, régule sur acier, qui présentait un mosaïchage (détachement du support de pastilles épaisses de régule dû à la fatigue), la SAMR a développé un coussinet en trimétallique, régule sur cuproplomb sur acier. « Le régule en couche plus mince, moins sujet au mosaïchage, résiste mieux à la fatigue et en cas de rupture, la couche d'antifriction sous jacente en cupro évite d'endom-



Coussinets pour le ferroviaire

« Sur la base du savoir-faire des fournisseurs, les produits proposés s'adaptent aux nouvelles contraintes du marché »



Même si certains pays comme l'Allemagne et le Japon se montrent particulièrement actifs dans le cadre de ces travaux normatifs, Nadiège Ludivion (UNM) tient à mettre en avant « l'expertise de la France, très reconnue au niveau de la recherche » et souligne notamment « l'influence du LMS de Poitiers au sein du TC 123 ».

« Par rapport aux autres pays et en règle générale, la force de la France réside notamment dans le fait que les positions y sont très concertées. La normalisation est un outil stratégique que les industriels de la mécanique savent utiliser », précise, quant à elle Catherine Lubineau, qui remarque également que « les deux langues officielles de l'ISO sont l'anglais et le français ». Un atout non négligeable pour faire entendre sa voix...



Galet sans et avec le traitement Corrotect

mager la machine pendant sa phase d'arrêt », explique Lionel Pellevoisin.

Sur une autre machine (compresseur à piston), la SAMR a préconisé la suppression de cales hyperstatiques en modifiant le coussinet, avec pour résultat une baisse du coût global, une simplification du montage et l'élimination des risques de mauvais serrage liés à la conception initiale hautement hyperstatique. « Dans d'autres cas, nous pouvons être amenés à modifier les bains d'huiles ou leurs raccordements à l'alésage afin d'améliorer le régime hydrodynamique, précise Lionel Pellevoisin. Les exemples sont nombreux mais il n'existe pas de recette toute faite. La solution résulte toujours d'une analyse poussée du problème avec le fabricant ou l'utilisateur »...

#### OPTIMISATION

On constate donc que, dans le but de définir des produits qui répondent aux besoins de clients désireux notamment de s'affranchir de tout soucis de

**« Une autre tendance apparaît sur le marché : l'utilisation croissante de matériaux plastiques, notamment du fait de leur moindre coût par rapport à l'acier. »**



Rotules lisses sans entretien en polymère pour les applications hautes températures jusqu'à 200 °C.



Avec et sans le traitement Triondur

maintenance, il convient de travailler simultanément sur toutes les caractéristiques des produits afin de les optimiser.

« Optimisation » est d'ailleurs un mot qui revient souvent dans la bouche de Jean-Georges Schmitt, quand il décrit les derniers développements de Schaeffler dans le domaine des matériaux.

Ainsi, dans le cadre du système multi-services X-Life prôné par Schaeffler, les galets de roulements à rouleaux cylindriques ont été optimisés au niveau de la matière des bagues, de la géométrie des chemins de roulement, de l'état de surface et du profil du diamètre extérieur.

Afin d'assurer une absence totale d'usure sur les galets de roulements, Schaeffler a également élaboré le revêtement Triondur, réalisé sous vide selon les procédés PVD (Physical Vapor Deposition) et CVD (Chemical Vapor Deposition) activé par plasma, qui garantit un coefficient de frottement jusqu'à 80% plus faible que celui d'une combinaison acier/acier en fonctionnement à sec. Une performance particulièrement appréciée par les secteurs alimentaires et les machines d'imprimerie, entre autres.

Afin de « réaliser le lien entre une protection de surface anti-corrosion et la dureté d'un acier trempé à cœur », Schaeffler a mis au point le Cronitect, qui présente une résistance « bien supérieure aux matériaux inox traditionnels ». Toujours dans le domaine de la protection contre la corrosion, le revêtement galvanique Corrotect appliqué sur les surfaces métalliques des

galets se traduit par une très haute résistance (notamment au brouillard salin) sans incidence sur la capacité de charge et la durée de vie.

« Optimisation » encore concernant les rotules Elgoglide, qui voient leur capacité de charge augmenter de 50% avec une durée de vie huit fois supérieure sous une pression de 300 N/mm<sup>2</sup>. Là aussi, le produit peut se targuer d'être « écologique » puisque sans entretien.

Et c'est également pour répondre aux directives environnementales, notamment concernant le recyclage des véhicules, que Schaeffler a développé des paliers lisses sans plomb, avec sulfure de zinc, pour un fonctionnement à sec ou avec lubrification...

#### MATÉRIAUX PLASTIQUES

Une autre tendance apparaît sur le marché : l'utilisation croissante de matériaux plastiques, notamment du fait de leur moindre coût par rapport à l'acier.

Mais, même si le marché évolue, cela ne se fait pas tout seul car « le plastique est perçu par la plupart des utilisateurs comme une matière moins résistante et moins performante que l'acier », déplore Virginie Beitzel. Pour répondre à ces réticences, igus crée ses propres matières et les teste sur applications clients ou sur bancs (plus de 5000 tests sont effectués chaque année au sein de son laboratoire allemand).

Pour cela, l'entreprise peut s'appuyer sur la notoriété qu'elle a acquise grâce à ses chaînes porte-câbles, également en plastique, pour promouvoir ses

paliers lisses polymères. Car, en dépit de quelques inconvénients en termes de degré de précision ou de résistance aux températures extrêmes (igus garantit une tenue jusqu'à 315°C en courte durée), le plastique présente des avantages indéniables. Matériau économique, léger et insensible à la corrosion, il présente une bonne flexibilité et son usinage est aisé (sur toute l'épaisseur). En outre, il est auto-lubrifiant et ne nécessite pas de maintenance.

igus propose les paliers lisses en matériaux iglidur®, définis selon les besoins de l'applica-

tion en termes de frottements, températures, agents chimiques, fonctionnement avec de l'eau, etc... « Un iglidur® pour chaque besoin » est ainsi la devise de l'entreprise !

Il n'empêche, dans certains cas, les habitudes sont parfois difficiles à changer.

« Dans les cas où les techniciens ont une expérience limitée des paliers polymères, ils sont souvent réticents à changer car nous ne sommes pas toujours capables d'atteindre le même degré de précision dimensionnelle que les roulements à aiguille ou les paliers



Graphalloy : gamme alliages graphites antifriction, fabriquée par GMC aux Etats Unis et distribuée par Eternum France : plus de 100 différents alliages graphites antifriction pour des bagues/paliers/coussinets à glissement. Applications à haute vitesse en liquides avec la possibilité de marcher à sec pendant une longue période sans dommages (pour pompes liquides dans les raffineries, par exemple).



bimétalliques », reconnaît Derek Marsella. Mais il ajoute aussitôt que « dans de nombreux cas, une telle précision dimensionnelle n'est pas requise avec les paliers polymères du fait des qualités intrinsèques de leurs couches de glissement. Il est souvent admis à tort que les paliers lisses ont une capacité de charge moins élevée que les roulements à aiguilles. Pourtant, les fines couches de revêtement peuvent supporter des charges exceptionnellement élevées. En termes de tribologie, le faible encombrement et la conformabilité de la surface de glissement assurent une surface de contact comparativement plus grande avec l'arbre (selon le jeu). Ceci signifie que les paliers polymères ont effectivement le potentiel d'atteindre des performances similaires aux paliers traditionnels ».

Le responsable de GGB cite d'ailleurs plusieurs exemples où les paliers en métal-polymères ont remplacé les paliers traditionnels avec succès, qu'il s'agisse du remplacement de roulements à aiguilles dans des pompes à palettes et de type Gerotor, du remplacement de bagues bimétalliques dans ces mêmes pompes, du remplacement de roulements à aiguilles dans des composants sensibles au manque de lubrification tels que les trains épicycloïdaux, ou encore de l'utilisation de paliers en métal-polymères dans des pompes, différentiels et pignons... « Les exigences de nos clients ont un effet positif car elles nous poussent à aller toujours plus loin et à progresser quant aux caractéristiques de charges, vitesses et bas coefficients de frottement de nos produits », renchérit Johan Tiellemans. A la SAMR, on perçoit « une tendance lourde chez les grands industriels qui externalisent de plus en plus leur maintenance et perdent peu à peu la connaissance fine de leur machine et de son historique ». « Concernant le palier lisse, cette perte progressive de savoir faire pousse les industriels à rechercher une expertise extérieure, conclut Lionel Pellevoisin. Nous sommes amenés à développer une offre de service dans ce sens afin d'accompagner nos clients au-delà de la simple conception et fabrication du produit »...

#### OFFRE DE SERVICES

D'une manière générale, « même si l'élaboration de nou-

veaux matériaux a changé la donne, il n'y a pas eu de rupture technologique majeure dans ce domaine », constate le Professeur Jean Frêne, qui met cependant en évidence les progrès enregistrés en termes de modélisation non linéaire du comportement dynamique. La maîtrise de la modélisation permet notamment de définir des systèmes de guidage moins onéreux qui paraissent assez simples mais « relèvent néanmoins d'une technologie très évoluée ».

L'absence de révolutions n'empêche pas les évolutions. Pour Jean-Georges Schmitt, ces évolutions sont suscitées par les besoins du marché, qui amènent Schaeffler à « définir systématiquement des orientations applications ».

« Les exigences de nos clients ont un effet positif car elles nous poussent à aller toujours plus loin et à progresser quant aux caractéristiques de charges, vitesses et bas coefficients de frottement de nos produits », renchérit Johan Tiellemans.

A la SAMR, on perçoit « une tendance lourde chez les grands industriels qui externalisent de plus en plus leur maintenance et perdent peu à peu la connaissance fine de leur machine et de son historique ». « Concernant le palier lisse, cette perte progressive de savoir faire pousse les industriels à rechercher une expertise extérieure, conclut Lionel Pellevoisin. Nous sommes amenés à développer une offre de service dans ce sens afin d'accompagner nos clients au-delà de la simple conception et fabrication du produit »...