

# **micronora**

I N F O R M A T I O N S

Revue du Salon International des Microtechniques

**Mécatronique :**  
**Une chance pour les entreprises**  
**de la mécanique**

**Micromécanique :**  
**Vers des précisions nanométrologiques**

**Les techniques lithographiques**  
**au service de la microplasturgie**



# La démarche mécatronique : une chance pour les entreprises

Marier la mécanique et l'électronique ? L'aéronautique et l'automobile font cela depuis plus de  
Aujourd'hui, le concept s'enrichit et propose d'inclure l'automatique, la thermique, les matériaux  
qui débouchent sur l'idée de traitement intelligent. Il est dès lors question d'intégration, de travail  
Mais est-ce réservé à Airbus, PSA ou Schneider-Electric ? Les PME y ont-elles accès ? La mécatronique  
Premier volet d'un tryptique "mécatronique"...



L'industrie automobile est probablement l'un des secteurs industriels le plus demandeur de solutions mécatroniques. Crédit : PSA

En partenariat avec Thésame, le Cetim organisait récemment dans le cadre du salon Industrie 2005 un Forum sur la mécatronique où il était question d'identifier et de maîtriser les contraintes de l'intégration de mécanique, d'électronique et d'informatique. Mécatronique ? Trois mots en un seul, trois technologies, trois savoir-faire qui ont donné naissance à ce néologisme inventé en 1969 par un ingénieur de Yaskawa. Mais d'abord, quel rapport y a-t'il entre mécatronique et microtechnique ? Dans Micronora, nous disions récemment que FEMTO-ST s'attache au développement des microsystèmes et de la micro-mécatronique. Et nous abordons souvent

la mécanique par le biais de la miniaturisation de composants qui s'intègrent dans des systèmes. La mécatronique change le point de vue : elle aborde la mécanique par le biais de son enrichissement par d'autres technologies. Pour percevoir l'intérêt de ce concept majeur pour les industriels de la mécanique et les opportunités pour les PME de micromécatronique, nous vous proposons une série de reportages incluant deux manifestations à venir. Les 28 et 29 juin prochain, Annecy accueillera en effet les 3<sup>èmes</sup> rencontres européennes de mécatronique et en 2006, le 7<sup>ème</sup> Congrès franco-japonais de mécatronique qui se tiendra à Besançon. Pour rappeler l'intérêt

de ce concept majeur pour les industriels de la mécanique et les opportunités pour les PME de micromécatronique, nous vous proposons une série de trois reportages. Celui-ci introduit le sujet, le n°103 s'intéressera aux rencontres d'Annecy et le n°104 à celles de Besançon.

## Les roulement-capteurs mécatroniques de SNR

L'Active Sensor Bearing (ASB) est sans doute le produit mécatronique le plus connu, né de l'association du roulement et de l'électronique. Il s'agit d'un roulement

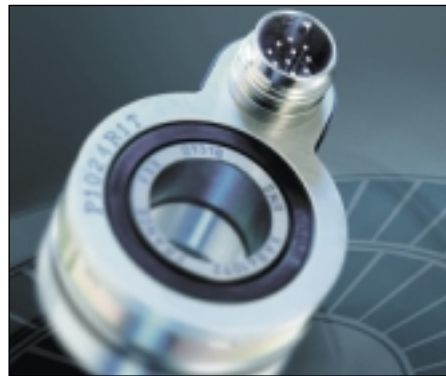
# de la mécanique

20 ans. L'assemblage des deux mots en a même donné un troisième : "mécatronique".  
 et surtout l'informatique avec toutes sortes de développements logiciels  
 en réseaux, de conception collaborative, d'ingénierie simultanée...  
 est-elle aussi une chance pour les entreprises de la mécanique ?

de roue équipé d'un joint d'étanchéité tournant, intégrant un codeur magnétique multipolaire, capable d'activer un capteur miniature situé à proximité. Ce capteur actif, intégrant une sonde à effet Hall et un élément magnéto-résistif, est fixé au roulement par clippage ou plus classiquement vissé sur le pivot. L'ASIC SNR MPS32XF intègre des fonctions de traitement de signal qui permettent de réduire considérablement la taille du capteur. Parmi les avantages de l'ASB, il faut noter que tous les types de roulements de roues modernes peuvent être équipés de cette technologie qui a conquis de très nombreux concepteurs automobiles séduits par la richesse des signaux délivrés (vitesse, vitesse nulle, sens de rotation...). Depuis la création de l'ASB en 1997, SNR Roulements a donné le jour en 2002 à une entité transversale : SNR Mechatronics dont la vocation est de contribuer au



Roulement SNR Active Sensor Bearing (ASB) (à gauche) intégrant un codeur magnétique multipolaire à droite  
 Crédit : SNR

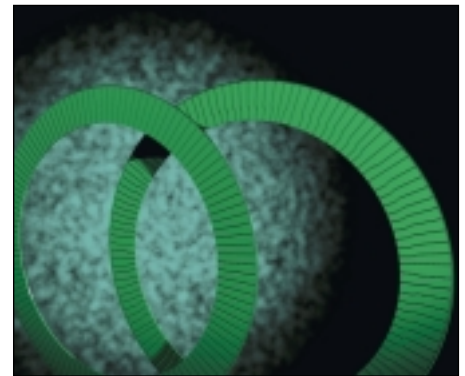


Roulement SNR Sensor Line Encoder (SLE) avec codeur haute résolution intégré au roulement.  
 Crédit : SNR

développement d'activités mécatroniques au sein des différentes divisions de SNR Roulements. Cette entité comporte d'ailleurs un centre de compétence en mécatronique au sein duquel sont conduites les recherches et les développements dans le domaine de la microélectronique, du magnétisme, du logiciel embarqué et du processus d'intégration dans les systèmes.

Parmi les produits qui ont vu le jour, il faut mentionner le Sensor Line Encoder (SLE), un codeur haute résolution intégré à un roulement. Ce dernier peut atteindre une résolution de 4096 fronts par tour pour un rayon de lecture de seulement 15 mm, soit un positionnement à moins de 0,1° ! Le Sensor Line Encoder permet d'obtenir les informations précises et fiables de position angulaire, vitesse, sens de rotation, nombre de tours, température... Il peut également être utilisé en lieu et place d'un codeur optique.

Pour René Nantua, responsable de SNR



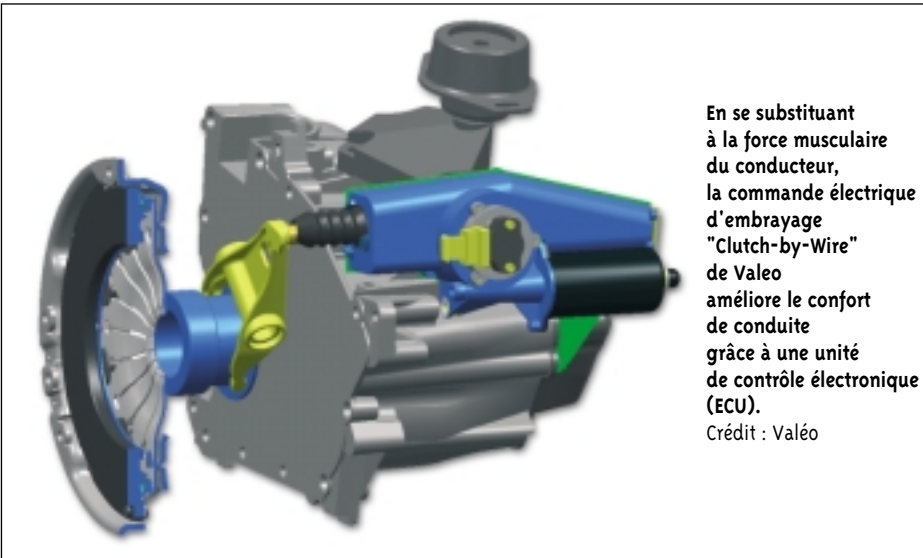
Pôles magnétiques sur codeur.  
 Crédit : SNR

Mechatronics, il y a aujourd'hui 3 raisons essentielles pour que SNR intensifie ses activités en mécatronique. "Tout d'abord parce que les roulements se caractérisent par une pérennité technologique importante, appropriée pour y greffer des fonctions électroniques sophistiquées. Ensuite, les marchés de l'automobile et de l'industrie au sens large sont en train d'évoluer vers le "tout électrique" (X-by-Wire) qui génère une demande croissante en dispositifs capteurs et actionneurs. Enfin, avec l'ASB, SNR a acquis un réel capital de crédibilité en mécatronique qui constitue le socle de nos développements futurs".

## Sous la férule de l'aéronautique et de l'automobile

Avant d'aller plus loin, revenons sur la genèse de la mécatronique. Souvenez-vous... Il y a 20 ans, le maître mot de l'innovation était de mettre de l'électronique partout.

suite page 5



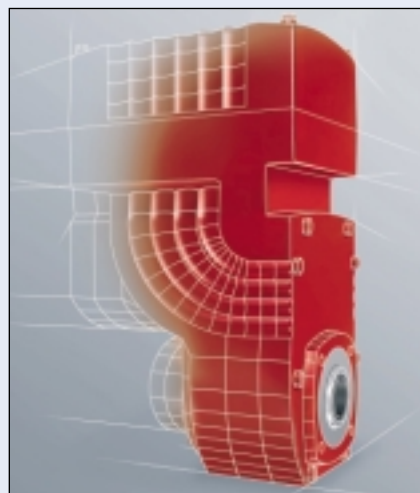
En se substituant à la force musculaire du conducteur, la commande électrique d'embrayage "Clutch-by-Wire" de Valeo améliore le confort de conduite grâce à une unité de contrôle électronique (ECU).  
Crédit : Valéo

### Movigear : la mécatronique pour les systèmes de convoyage

Christian Sibileau est responsable de communication pour la France de SEW-USocom, un groupe allemand spécialiste, entre autre, de solutions d'entraînement électromécaniques à base de systèmes de pilotage électronique et informatique. Pour lui, la mécatronique est bien plus que le mariage de 2 ou 3 disciplines techniques. "La mécanique avait des potentiels qu'aucune mécanique associée ne pouvait tirer d'elle. S'il fallait l'assimiler à un muscle (production de mouvement), l'électronique en serait le cerveau (commande), mais un muscle seul ne fait rien, pas plus qu'un cerveau qui ne saurait concevoir que de la théorie. La mécatronique n'est pas un intermédiaire entre mécanique pure et électronique pure, mais une discipline à part entière qui permet aux 2 technologies d'exprimer le meilleur d'elles-mêmes".

SEW USocom vient de présenter Movigear à la dernière Foire de Hanovre (mi-avril 2005), un produit développé en simultanée par des équipes pluridisciplinaires. Movigear est l'évolution logique du concept de systèmes d'entraînement décentralisés développé depuis quelques années déjà par SEW-USocom. Solution d'entraînement mécatronique pour systèmes de convoyage horizontal, c'est un système d'entraînement futuriste, intelligent et autonome, dont les facultés

"réseau" accélèrent la mise en service. Associé à un applicatif logiciel métier, il permet de réaliser très simplement toute une large variété de fonctions d'entraînement. Selon Christian Sibileau, "de nombreux domaines d'activité, tels que l'industrie automobile, l'industrie agroalimentaire, les activités aéroportuaires ou plus généralement la logistique, laissent percevoir une sophistication des exigences à l'égard des systèmes de convoyage. A contrario, l'espace disponible pour réaliser ces fonctions est de plus en plus réduit. Le module d'entraînement mécatronique Movigear répond parfaitement à ces nouvelles exigences".



Solution d'entraînement mécatronique pour systèmes de convoyage horizontal.  
Crédit : SEW-USocom

Pour améliorer les process, pour aller plus vite, pour avoir plus de confort "électromécanique", pour se différencier, il fallait qu'apparaisse le label "électronique". Comme toujours, les budgets militaires ont tiré la technologie, et l'aéronautique militaire était déjà très en avance au début des années 80. Les objectifs étaient de réduire les coûts, d'alléger les avions, d'augmenter la fiabilité et les performances. Les concepteurs automobile ont compris eux aussi tout le parti qu'ils pouvaient tirer de l'association de la mécanique, de l'électronique, puis de l'informatique. Nous ne référons pas ici l'histoire de l'évolution des techniques, mais force est de constater avec Mario Picco (Cetim) que "l'automobile est une véritable "locomotive" pour la mécatronique. Aujourd'hui, l'électronique représente 20 % du coût total d'un véhicule, 90 % des innovations actuelles du secteur contiennent de l'électronique. L'automobile pèse 7 % du marché des semi conducteurs (et 25 % dans 5 ans !). Les capteurs pour l'automobile représentent environ un tiers du marché mondial des capteurs. L'automobile est en train d'évoluer vers le "tout électrique" (X-by-Wire)". Ou'on se souvienne des propos de François de Charentenay, ancien directeur de recherche chez PSA qui affirmait que "la Peugeot 607 comporte autant d'électronique-informatique que l'Airbus A310 qui volait en 1982".

Les produits mécatroniques sont partout : le BDU (Battery Disconnect Unit) de Valeo, l'option IDSPlus, contrôle adaptatif du châssis chez Opel Astra, le boulon détecteur de présence de passager de Bosch iBolt, le MagneRide, système de suspension semi-pilotée de Delphi, les phares AFLS et les Projecteurs directionnels bifonction, l'ESP (correction électronique de trajectoire), l'anti blocage des roues (ABS), l'anti patinage (ASR), le répartiteur électronique de freinage (EDC). Et pour demain, on nous promet l'assistance anti-collision, les commandes vocales, la direction (steer-by-wire) et le freinage tout électronique (brake-by-wire)... Selon le CETIM "l'automobile tire la mécatronique, car le secteur s'oriente vers le véhicule intelligent, le tout électrique et de multiples fonctions intégrées, sans oublier la voiture communicante".

suite page 7

## Les 7 péchés capitaux en mécatronique

Selon André Montaud, directeur de Thésame, "concevoir avec un œil mécatronique nécessite de repenser globalement le produit, non seulement dans sa partie technique mais aussi dans les modes de fonctionnement de l'équipe projet puis de l'entreprise". Voici quelques-unes des erreurs les plus fréquemment rencontrées qui peuvent être de véritables péchés capitaux :

*"Ne pas engager résolument l'entreprise dans une démarche mécatronique : la mécatronique exige de penser les produits et les procédés de manière transverse. La mécatronique fait "éclater les murs". Le pilotage au plus haut niveau de l'entreprise est dans ce cadre essentiel. Oublier de préciser la raison du choix de la mécatronique : partir dans le développement de produit mécatronique sans*

*préciser la finalité (qui n'est pas l'électrification de fonctions !) peut amener à des impasses. Cherche-t-on la réduction de coûts, le développement de nouvelles fonctions clients ou des moyens de se protéger de la contrefaçon ?*

*Négliger la phase d'avant-projet : cette phase est plus importante que dans un projet classique car le nombre de possibilités offertes est infini. L'écoute du besoin client (présent et futur) est tout aussi importante que la technologie employée. Concevoir de manière séquentielle : la démarche mécatronique nécessite de penser le produit dans son ensemble et non pas en séparant la partie mécanique, puis l'électronique, puis les capteurs-actionneurs puis l'informatique au risque d'atteindre des surcoûts rédhibitoires.*

*Choisir un chef de projet expert d'une des technologies mécatroniques : Il faut absolument éviter de regarder le projet avec un œil de mécanicien ou d'électronicien. Le pilotage est ici, plus qu'ailleurs, le rôle d'un chef d'orchestre et non d'un virtuose. Les compromis sont permanents pour arriver au meilleur équilibre !*

*Ne pas préparer les ateliers : intégrer du montage électronique dans un atelier de mécanique (ou réciproquement) ne se fait pas sans douleur.*

*Ne pas former les forces de ventes : un produit mécatronique a des potentialités importantes de par son "intelligence embarquée". La création d'options peut se faire à coût marginal. Autant en profiter pour gagner de nouveaux marchés, sous réserve d'avoir bien informé les commerciaux sur ces produits d'un nouveau genre".*

Le "X-by-Wire" (tout électrique) est désormais une tendance lourde portée par la mécatronique. En version aéronautique, on parle de commandes de vol électrique (CDVE ou Fly-by-Wire) qui remplacent les liaisons mécaniques par un ensemble de calculateurs et de liaisons électriques. C'est tout l'objet du programme POA (Power Optimized Aircraft) lancé en janvier 2002 dans le cadre du 5ème PCRD pour un

montant de 99 Millions d'euros par un consortium de 43 entreprises européennes emmenées par Liebherr Aerospace. Il s'agit d'optimiser la génération d'énergie, sa distribution et son utilisation au travers des moteurs, des circuits électriques et pneumatiques, et des actionneurs. Tendance d'autant plus lourde que ce POA sera prolongé par le MOET (More Electrical Aircraft), piloté par Airbus France.

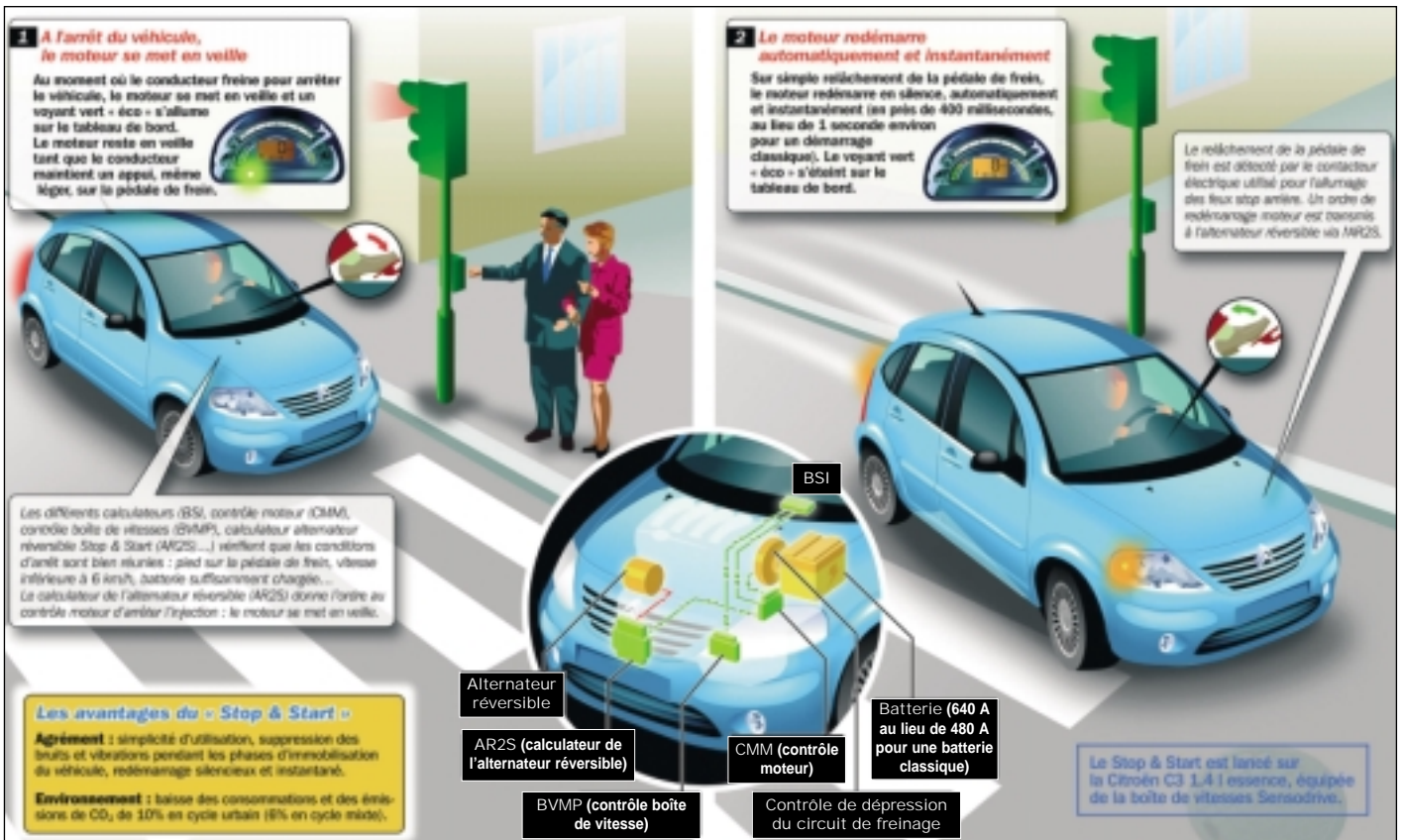
## Une démarche globale d'ingénierie simultanée

Comment est-on passé d'une vision mécanique des machines (qu'il s'agisse d'un avion, d'une voiture ou d'un robot-mixeur) à une vision mécatronique ? Autre formulation... Suffit-il de mettre un peu de mécanique, un peu d'électronique et de solutions logicielles, de remuer le tout pour obtenir un produit mécatronique ? Tous les experts sont unanimes, un tel produit ne peut être que la résultante d'un "penser ensemble" et constitue un tout qui est beaucoup plus que la somme de ses parties. En fait, le maître-mot est celui d'intégration avec une question importante : Comment (et à quel moment) intégrer ces parties pour qu'elles puissent dialoguer ensemble et modifier les habitudes conceptuelles ?

Pour le CETIM l'intégration des technologies remet en cause les méthodes de conception, de fabrication et de maintenance des produits.



Le principe de l'alternateur StARS repose sur la capacité du système à arrêter et à redémarrer le moteur instantanément, silencieusement. Crédit : Valéo



Le Stop & Start de PSA : dès que le véhicule s'immobilise (feu rouge, embouteillage...), le moteur est automatiquement mis en veille. Crédit : PSA

Activité pluridisciplinaire, la mécatronique fait appel à une démarche globale de "conception généralisée" ou d'ingénierie simultanée, qui doit être abordée dès la phase initiale. Travaillant en interaction, les différentes CAO (mécaniques, structure, automatisme) doivent être intégrées, ce qui suppose un changement de méthodes et de mentalités. Christian Jarrige, à la tête d'une équipe mécatronique chez Schneider Electric mentionnait récemment : "Le regroupement des équipes mécatroniques et contact électriques décloisonne et rapproche les équipes, booste le travail collaboratif en favorisant une circulation plus facile et plus rapide de l'information... Il est indispensable de mixer les compétences, d'assurer les bonnes interfaces entre les différents métiers et (.../...) de faire passer les innovations dans les produits". Ajoutant que "concevoir les produits avec une vision mécatronique assure un enrichissement fonctionnel quasi gratuit". Le CETIM encore, cite Guy Convent, responsable du département Mécatronique du groupe Valéo : "La mécatronique ne se substitue pas aux autres techniques, elle est un peu comme une couche supplémentaire".

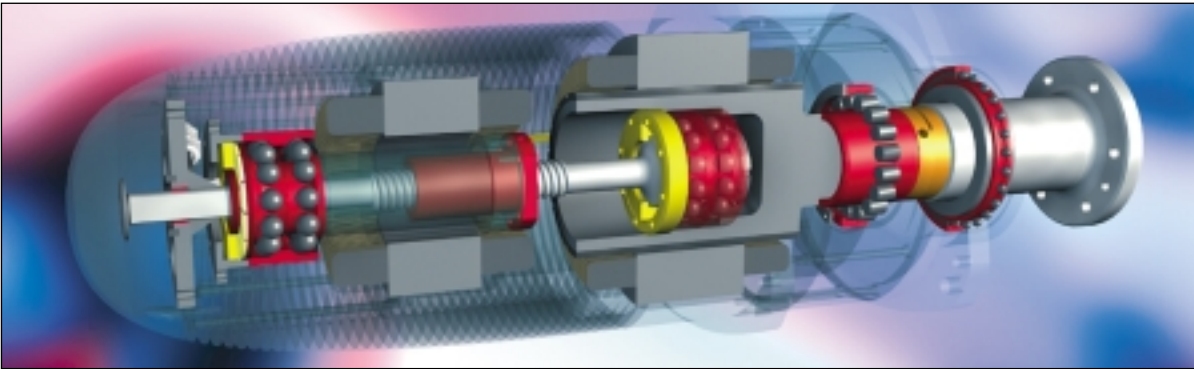
### La mécatronique est-elle accessible aux PME ?

La mécatronique suppose ainsi un véritable bouleversement parce qu'elle impose de penser chaque élément constitutif d'un produit (chassis, mécanique, automatismes, électronique...) en interaction avec les autres. Tout se conçoit et se définit en simultanéité. Mais qui dirige ? Qui fédère une équipe composée, par exemple, d'experts en micro-électronique, en mécanique, en traitement du signal, en automatisme et en mécanique ?

Une grande partie des témoignages de responsables mécatroniques semble indiquer qu'il n'est pas indispensable que le responsable de l'équipe soit un spécialiste éminent de l'un de ces domaines. Il vaut mieux un profil de chef d'orchestre que de virtuose, un homme qui sache écouter, arbitrer et établir des compromis. Autre question importante pour une majorité de nos lecteurs, la mécatronique est-elle accessible aux PME ?

En effet, nous avons vu que l'aéronautique, l'automobile, mais également le ferroviaire adoptent largement des attitudes mécatroniques, mais des PME de 100 à 300 personnes (voire 25) peuvent-elles jouer dans la cour de Snecma, Alstom ou Renault et s'offrir des spécialistes dans plusieurs disciplines. Le développement des compétences en mécatronique correspond aujourd'hui à un besoin majeur des sous-traitants de l'industrie automobile et les équipementiers et fournisseurs de rang 2 et 3 sont directement impactés. Selon Mario Picco, "les PME doivent acquérir deux compétences clés, d'une part, la capacité d'intégrer différentes technologies dans des systèmes complexes, d'autre part, celle de réduire les cycles de mise sur le marché (capacité d'anticipation des évolutions technologiques et des besoins des clients). Aucune PME ne peut prétendre avoir en interne une maîtrise totale des technologies qui évoluent à grande vitesse, qui font souvent l'objet de rupture technologique, qui nécessitent des investissements de plus en plus lourds et qui deviennent rapidement obsolètes.

suite page 11



Unité d'Entraînement Oscillant SKF au sein d'un composant mécatronique pour les machines à imprimer.  
Crédit : SKF

Ainsi, l'accès aux technologies ne peut se faire que par le développement du partenariat (industriel, laboratoires, centres techniques, fournisseurs) et l'insertion dans les réseaux". Le CETIM note encore que les fournisseurs (dont les PME) sont intégrés dans la démarche mécatronique des équipementiers et relate les propos de Guillaume Devauchelle, directeur R&D de Valéo : "Nous souhaitons des gens qui soient bien intégrés et proches des équipes, de manière à adapter le cahier des charges en temps réel sinon ce n'est pas de la mécatronique mais de la sous-traitance". Ajoutant que la mécatronique est bien une forme de travail collaboratif. Pour accompagner les PMI, le groupe Valéo participe activement à la création de filières, et espère que la mécatronique devienne plus accessible et plus facile pour les PMI concernées. S'il a souvent été dit que la mécatronique est une chance pour les entreprises de la mécanique, il n'empêche qu'il s'agit pour elles d'une véritable mutation culturelle. Et au coeur de cette mutation, l'approche système favorise les entreprises techniquement performantes mais surtout capables de s'organiser pour s'intégrer

dans le processus. Elle resserre les liens clients-fournisseurs et fidélise le client. Pour André Montaud, directeur de Thésame, les challenges à relever sont "la différenciation pour passer de l'élément simple à l'intégration de composant, la recherche de réductions de coût sur l'ensemble de la chaîne de la valeur ainsi que l'amélioration en permanence de l'environnement technologique et managérial".

### Des aides pour participer à des projets mécatroniques

Le 6<sup>ème</sup> Programme Cadre de Recherche et Développement définit les actions de soutien à la R&D européenne pour les années 2002 à 2006 (domaines, instruments, financements ...). Françoise Bonnet-Lecomte, CETIM, note que pour cette période, 20 Milliards d'euros ont été consacrés à des instruments permettant divers types de R&D (réseaux d'excellence, projets intégrés, STREP ...), ainsi que des instruments spécifiques pour les PMI (projets de recherche collective, CRAFT, PISMEs...). Les Réseaux d'Excellence ont pour but de

renforcer l'excellence scientifique et technologique dans un domaine spécifique par la mise en réseau de compétences pour atteindre un leadership européen. Les Projets Intégrés ont pour but de générer des connaissances nouvelles nécessaires au développement des thèmes prioritaires. Quant aux projets spécifiques cibles "STREP", ils permettent d'explorer les frontières de la connaissance en vue d'améliorer la compétitivité européenne. En ce qui concerne plus spécifiquement les PME-PMI, la Recherche Collective se propose de résoudre des problèmes communs à l'ensemble des PMI d'un secteur industriel pour renforcer leur compétitivité. Généralement, un projet de recherche accompagné d'un large transfert technologique est conduit par des associations ou groupes industriels (IAG), à majorité PMI (Fédérations, Syndicats, Associations européennes ...). La taille moyenne d'un projet est de l'ordre de 2 à 5 Millions d'euros. La Recherche coopérative Craft a pour objectif de résoudre des problèmes communs à des PMI de pays différents, de répondre aux besoins d'innovation et d'adaptations techniques, et enfin de développer les relations de coopération entre PMI et organisations de R&D au plan national et international. La taille moyenne d'un projet est de 0,5 à 2 Millions d'euros.

Enfin, Pierre Gros, Fédération des Industries Mécaniques (FIM) note pour sa part que les procédures d'aides françaises à l'innovation (PTR, PCT, ARITT, FRAC, JESSICA, CIFRE...) sont diverses et complexes et que les guichets pour y accéder sont nombreux (Drire, Drrt, Délégations régionales Navar, CCI, Réseau RDT, Critt, Anrt, Ademe...).

suite page 13

Unité d'Entraînement Oscillant SKF au sein d'un composant mécatronique pour les machines à imprimer.  
Crédit : SKF



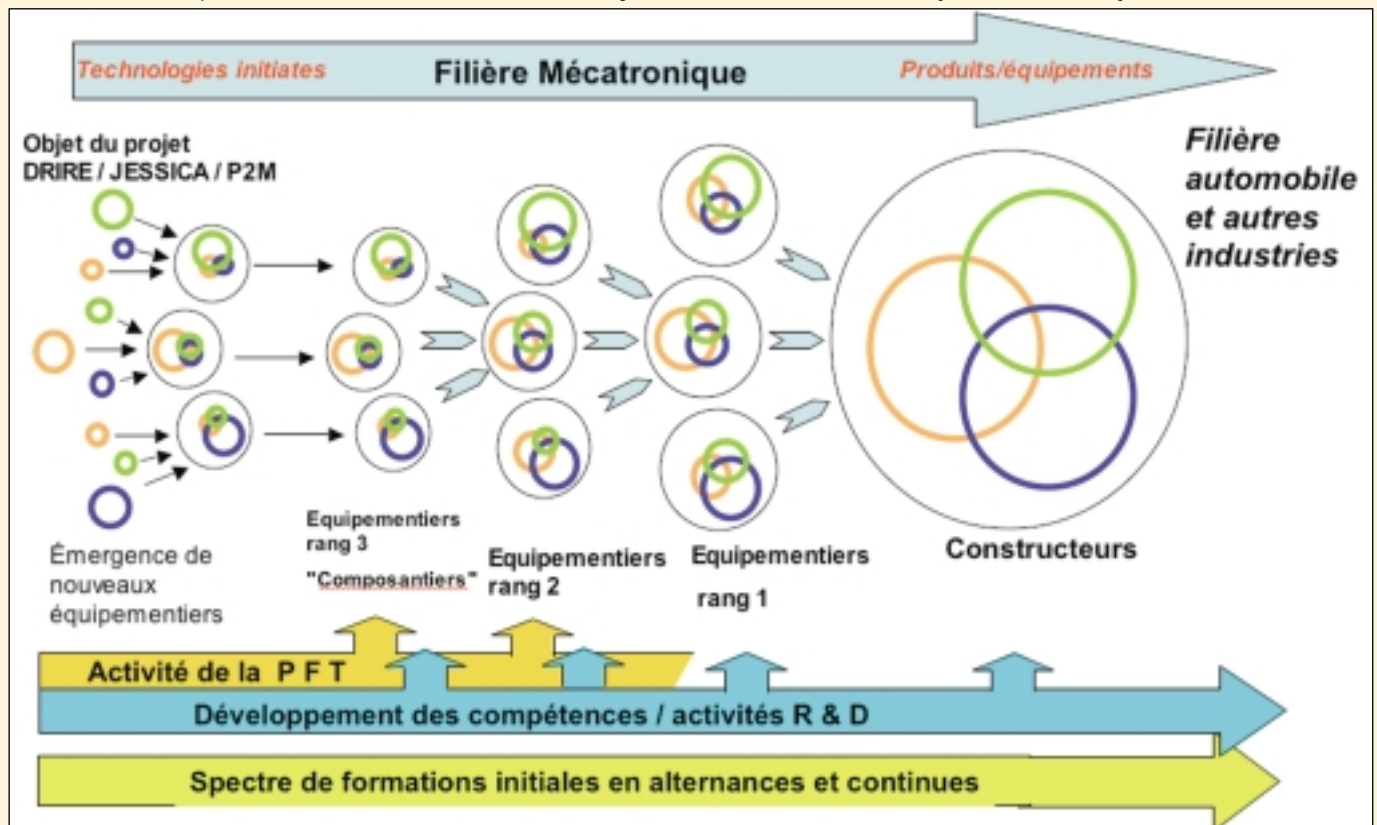
## GeneSICs : déployer un processus d'intégration

Le Pôle Mécatronique du Mantois (P2M) a, entre autre, pour mission d'offrir un spectre de formations dans le domaine de la mécatronique en insistant plus spécifiquement sur les processus d'intégration. De quoi s'agit-il ? Selon Denis Lecrux, "le déploiement du processus d'intégration développe la valeur ajoutée et la complexité des objets conçus, mais génère des problèmes émergents. En effet, la valeur ajoutée, ces problèmes et par conséquent l'énergie nécessaire au déploiement du processus d'intégration, sont d'autant plus grandes que la profondeur d'intégration et le périmètre d'intégration sont importants. Parallèlement, les problèmes émergents non résolus, lors du déploiement du processus d'intégration, constituent une limitation, voire un échec potentiel à l'intégration. Les technologies sont "passives" à l'égard de l'intégration et c'est l'homme qui les intègre. Deux domaines d'intégration sont à considérer relevant des Sciences Humaines et Sociales (savoir-faire psychologique) et des Sciences pour l'Ingénieur (savoir-faire technique)".

Le schéma ci-dessous représente la symbolique de la mécatronique par l'intégration de 3 cercles (vert, orange, bleu) représentant les 3 disciplines principales de la mécatronique (mécanique, électronique et informatique). Le constructeur automobile est par définition celui qui intègre le mieux les 3 technologies (cercles égaux). Plus on s'éloigne du rang "constructeur" plus ces cercles peuvent avoir des diamètres différents (intégration avec des disciplines d'inégales importances). "Le processus d'intégration concerne tout le monde à son niveau. Un équipementier de rang 2 qui a une forte approche mécanique l'a forcément optimisée en fonction de l'objectif mécatronique qu'il s'est donné et qu'il doit respecter vis-à-vis de l'équipementier de rang 1. Mais les fournisseurs de rang 3 qui travaillent avec lui ont la même optique. Chacun est donc obligé de déployer le processus d'intégration avec des importances relatives mécanique-informatique-électronique différentes". L'expérience montre que l'acquisition des technologies initiales est bien sou-

vent problématique. Un chef de projet doit manipuler les processus d'intégration avec efficacité, or ce n'est pas toujours le cas. "Les sociétés prennent souvent comme chef de projet, des ingénieurs très compétents sur le plan technique, mais n'accordent pas assez d'importance au profil psychologique alors que la gestion d'équipe et l'intégration des disciplines sont essentielles".

C'est dans ce contexte que P2M a travaillé sur un projet collectif mécatronique sur le thème "Comment déployer un processus d'intégration", baptisé GeneSICs, bâti avec Jessica (porteur du projet avec une forte expérience de l'électronique) et la Drire. Ce programme devrait permettre à des entreprises, principalement des PME, de se compléter les unes les autres pour attaquer un marché particulier et augmenter ainsi leur valeur ajoutée. GeneSICs a été évoqué le 25 mai durant la seconde Rencontre Mécatronique du Mantois et exposé d'une manière approfondie le 22 juin 2005 à Saclay.



Le déploiement du processus d'intégration développe la valeur ajoutée et la complexité de l'objet d'intégration. Crédit : Pôle Mécatronique du Mantois