

## Edito

Le LEEI de l'INPT-ENSEEIH est associé au CNRS depuis près d'un quart de siècle. Toujours à la pointe de l'innovation, il a participé activement aux grandes étapes du développement scientifique et technologique du Génie Électrique.

Le secteur industriel et de nombreuses équipes universitaires françaises et étrangères sont associées à ses recherches. Ces dernières se prolongent dans le domaine de la formation (Ingénieur, DEA, DESS, ...) qui profite ainsi très rapidement de toutes les synthèses et avancées du laboratoire.

Le deuxième numéro du «LEEIInfos» illustre ce propos. Il est consacré aux matériaux électroactifs, notamment piézoélectriques et à leurs applications. Le LEEI s'implique fortement dans ce domaine pluridisciplinaire, en collaboration avec plusieurs équipes de compétences complémentaires (matériaux céramiques, mécanique, tribologie, ...). Des innovations très spectaculaires et des retombées prometteuses sont attendues ; certaines ont déjà une réalité, notamment dans le domaine des actionneurs de dimension centimétrique, voire millimétrique, et laissent entrevoir une rupture technologique dans des secteurs aussi variés que l'aéronautique, l'espace, la domotique, le secteur biomédical.

L'innovation en Sciences pour l'Ingénieur doit s'appuyer sur une recherche pluridisciplinaire à la hauteur des défis scientifiques à relever. Le LEEI saura le faire ; il l'a déjà prouvé.

Jean-Jacques Gagnepain  
Directeur du Département des  
Sciences Pour l'Ingénieur du CNRS

## SOMMAIRE

Edito	01
Dossier	01
Recherche	04
Enseignement	05
Actualités	06
Contacts	06

Lettre d'information du Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique Industrielle

## Innovation en Electrodynamique

*Dossier*

“Pour faire avancer une voiture, il n'est peut être pas nécessaire qu'elle ait des roues ! Pourquoi ne pas envisager qu'elle se déplace en vibrant ?” Cette question, en forme de boutade, résume bien l'esprit alerte mais aussi quelque peu facétieux et provocateur qui anime Bertrand Nogarède, Professeur à l'INPT-ENSEEIH et chercheur au LEEI. Il connaît, bien sûr, tout l'apport scientifique et technologique des machines classiques à commutation électronique, en particulier dans le domaine de la traction électrique. Mais plutôt que de continuer à travailler sur l'amélioration de ce concept toujours très fructueux, il a pensé à d'autres types de structures qui pourraient compléter harmonieusement l'éventail des dispositifs existants. Le domaine applicatif est ainsi élargi. C'est un sujet plus innovant, certes, mais également plus risqué. Avec son équipe “Machines et Mécanismes Electroactifs” (EM2) du LEEI, Bertrand Nogarède étudie ainsi une nouvelle génération de machines et d'actionneurs électriques.

### Nouveaux matériaux et nouveaux principes

L'idée développée par l'équipe EM2 a déjà émergé avec quelques succès, notamment au Japon. En revanche, elle a été peu explorée en France et en Europe. Il s'agit d'utiliser les déformations produites au sein même de la

matière, sous l'effet d'un couplage de type électro- ou magnéto-élastique. Les forces massiques ainsi mises en jeu sont considérables. Associé à des effets de contact permettant de transformer les mouvements vibratoires produits en mouvement uniforme de rotation ou de translation, ce processus de conversion électromécanique de l'énergie donne lieu à une nouvelle génération de machines et d'actionneurs électriques, à base de céramiques piézoélectriques ou électrostrictives, ou d'alliages magnétostrictifs.



Micro-moteur piézoélectrique à onde progressive

L'avantage de ces matériaux est notamment qu'ils permettent de concevoir des actionneurs à plusieurs degrés de liberté, ce qui sur le plan fonctionnel élargit considérablement les possibilités de mouvements. Ainsi, les robots ou les prothèses biomédicales, qui utilisent actuellement un moteur par axe de rotation, pourront combiner ces effets en interne, avec un unique moteur.

## L'exemple des composants piézoélectriques

Les travaux menés au LEEI conduisent à repenser la conception des machines existantes car ces nouveaux principes trouvent également des applications dans les moteurs classiques. Toutefois, ils ouvrent aussi la voie à de nouvelles applications. Les matériaux les plus en vogue sont les céramiques piézoélectriques (PZT), bien connues par exemple dans les allume-gaz où une déformation mécanique de la céramique produit un champ électrique interne, donc des tensions élevées, à même de produire des arcs électriques. Bertrand Nogarède a pris le parti "inverse", celui de produire des forces mécaniques en soumettant les céramiques à l'électricité. Pour transmettre un mouvement avec des déformations infinitésimales, il est crucial de choisir judicieusement la structure qui permettra de les combiner, dans l'espace mais aussi dans le temps.

Les forces créées au sein des machines piézoélectriques sont 20 à 30 fois supérieures à celles des machines magnétiques, avec l'avantage que le moteur soit bloqué lorsqu'il n'est pas alimenté. L'inconvénient, en revanche, concerne les pertes par friction qui surviennent à grande vitesse. Il ne faut donc pas attendre de la puis-

sance des matériaux électroactifs mais plutôt le développement de forces massiques très élevées. Un moteur piézoélectrique centimétrique de 100g développe un couple de 1Nm, contre 0,1Nm pour un moteur magnétique de même taille. A l'échelle millimétrique, le gain peut atteindre 300 ! Les secteurs tels que le génie bio-médical, l'aéronautique, sont naturellement très intéressés par cette nouvelle technologie où compacité et performances riment en outre avec discrétion acoustique !

## Une recherche pluridisciplinaire

Les investigations scientifiques menées ont montré que ces nouvelles structures ne pouvaient être étudiées valablement que dans une démarche énergétique globale et pluridisciplinaire, l'électrotechnique classique s'y intégrant parfaitement comme un cas particulier. La physique est ici prépondérante, à travers la mécanique, l'électrodynamique des milieux continus, la tribologie (problèmes de contacts entre matériaux), l'élaboration et la chimie des matériaux... et bien évidemment la thermodynamique. Les mathématiques sont également importantes pour optimiser la structure de l'objet et les nuances des matériaux qui le composent. Le cahier des charges fournit les équations

dont la résolution conduira à la structure qui le satisfera : l'approche préconisée par l'équipe EM2 consistera ici à formuler et résoudre un "Problème Inverse" visant à déterminer les causes produisant les effets recherchés, approche a priori plus efficace que la succession de tests empiriques. La pluridisciplinarité concerne aussi les travaux relatifs aux machines classiques qui, répétons le, sont également concernées par les études réalisées au sein du groupe EM2.



Bertrand Nogarède

## L'action pilote du LEEI

Eu égard à son implication précoce dans le domaine des matériaux électroactifs, le LEEI est naturellement et fortement impliqué dans des coopérations entre divers laboratoires français dont le Laboratoire de Génie Électrique et de Ferroélectricité (LGEF) de l'INSA de Lyon, le Laboratoire de Tribologie et de Dynamique des Surfaces (LTDS) de Centrale Lyon, le Laboratoire de Mécanique Appliquée R. CHALEAT (LMARC) de Besançon et le Laboratoire d'Électrotechnique et d'Électronique de Puissance (LEEP) de Centrale Lille.

Le LEEI participe également à plusieurs initiatives européennes dont le réseau MAG-NET qui compte 15 partenaires en Angleterre, Espagne, France et Irlande, et porte sur la mise au point, la production et l'exploitation de nouveaux types d'aimants. Un autre projet européen est axé sur la conception de nouvelles structures de machines à aimants permanents, avec des applications en aéronautique et

## La DGA vise le tout électrique

La Direction Générale pour l'Armement s'intéresse de près aux travaux de l'équipe EM2 du LEEI. Michel Amiet, Ingénieur Responsable des Actions « Génie Électrique » à la Direction des Systèmes de Force et de la Prospective (DSP), explique qu'au sein de son Département ce sont essentiellement les secteurs de l'aéronautique et du spatial qui étudient l'opportunité d'implanter des composants piézo-électriques dans leurs équipements.

En effet, à ce jour la commande de vol des avions est électrique, mais les actionneurs sont toujours hydrauliques. Les actionneurs électriques tels que les actionneurs piézo-électriques présentent deux intérêts majeurs : des temps de réponse sensiblement inférieurs à ceux des systèmes hydrauliques et une réduction des coûts de maintenance. L'objectif est donc d'avoir une solution « tout électrique », de la commande aux actionneurs, afin d'accroître les performances et les conditions de vol des futurs avions, tant civils que militaires.

en propulsion sous-marine. Il regroupe le LEEI et des partenaires anglais, écossais, finlandais et irlandais.

## Des applications d'ores et déjà tangibles

Chronologiquement, Bertrand Nogarède explique que les premières applications (1990) touchaient le grand public à travers des collaborations avec SOMFY, Moulinex, ou encore Crouzet Automatismes. Cinq brevets furent déposés dont un portait sur une application en bureautique qui nécessite un positionnement extrêmement précis.

Ensuite, une collaboration avec ISA France, spécialisée dans les mécanismes d'horlogerie high-tech eut pour objectif la miniaturisation des machines pour l'horlogerie ou le biomédical avec à la clé un nouveau brevet de micro-moteur à fonctionnement "pas à pas".

Puis les travaux s'orientèrent vers l'aéronautique pour laquelle le gain de masse est un vrai enjeu. Un contrat avec la Société INTERTECHNIQUE porta sur l'optimisation des actionneurs assurant la gestion de la circulation du carburant dans les avions.

Aujourd'hui, l'équipe EM2 travaille sur des actionneurs à plusieurs degrés de liberté, avec la DGA notamment. En outre, une recherche prometteuse en cours de définition avec l'Institut

de Mécanique des Fluides de l'INPT-ENSEEIHt concerne le contrôle actif des écoulements qui vise à minimiser les forces de traînée, tant pour les avions que pour les bateaux, grâce à d'infimes vibrations compensant et facilitant les frottements entre fluides.

## Un domaine en pleine effervescence

L'équipe EM2 ne cesse de s'agrandir ; elle vient d'intégrer un chercheur spécialisé en Mécanique et espère pouvoir accueillir sous peu un mathématicien appliqué. Les perspectives sont doubles, avec d'une part les applications dans les machines classiques et avec d'autre part un nouveau concept de moteur piézoélectrique doté d'un couple massique très élevé. Bertrand Nogarède vise la barre des 10N.m à quelques tours/min avec une masse totale de moins de 1Kg.

Enfin, cette innovation du côté de la recherche va de pair avec une rénovation de l'enseignement en Électrodynamique dispensé dans le Département Génie Électrique et Automatique de l'INPT-ENSEEIHt. La motivation pédagogique de l'équipe est grande pour faire passer un message novateur aux ingénieurs électriciens du prochain millénaire.

**Contact : Bertrand Nogarède**

**Tél : 05 61 58 83 38**

[Bertrand.Nogarede@leei.enseeiht.fr](mailto:Bertrand.Nogarede@leei.enseeiht.fr)

## Génie Électrique et vibrations

Dirigeant à l'époque les activités de recherche de SOMFY International, leader mondial des moteurs et automatismes pour produits de protection solaire ou de fermeture du Bâtiment, il m'a été donné d'organiser le travail commun d'un projet assez important sur les moteurs à vibrations ultrasonores, motivé par un intérêt très précoce et naturel de notre société pour des solutions d'entraînement présentant un fort couple à faible vitesse, et totalement silencieuses. Un intérêt partagé par d'autres industriels, par plusieurs laboratoires et centres ou sociétés de recherche français, avec l'impulsion et le soutien du Fonds pour la Recherche Technologique.

S'il est encore trop tôt pour parler de retombées en termes de produits, il est permis de dire combien ce multipartenariat scientifique, technique, ... et humain, fut apprécié de ses différents acteurs, et reste dans les mémoires.

## Le LEEI ?

Un peu perçus au départ comme de simples sous-traitants de la partie alimentation, les chercheurs du LEEI, et tout particulièrement Bertrand Nogarède, refusent d'emblée de limiter leurs apports à des tâches utiles mais peu glorieuses : "Fais ce que voudras !" écrit Rabelais, dont la truculence hante les murs de brique rose...

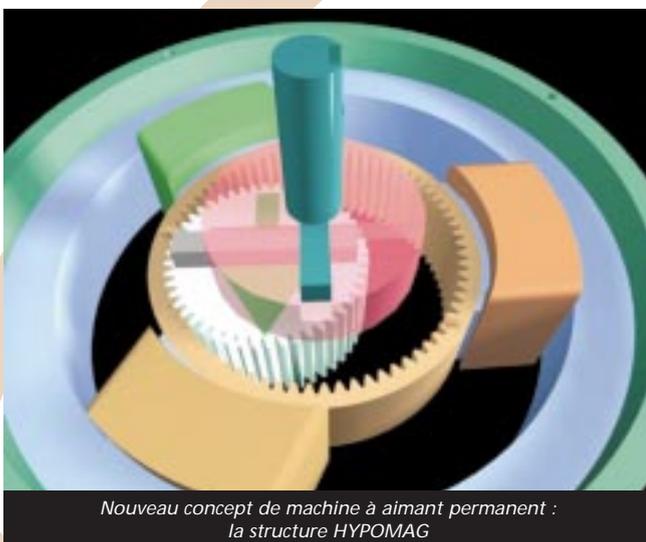
Encore fallait-il démontrer quelque compétence dans ce domaine tout neuf en Europe. En quelques mois, le LEEI présente un système complet ne comportant qu'un MOS là où quatre, ou au moins deux, étaient indispensables. Puis vient la déferlante d'innovations portant sur la structure même des moteurs, dans une approche combinant très intimement les propriétés mécaniques et électriques, de manière à permettre positionnement et contrôle de vitesse sans capteurs. Trois brevets internationaux, déposés par les industriels, protègent ces inventions.

Un bricolage de talent pour donner corps à des idées farfelues ? Oui, mais avec la volonté et les moyens de pousser très loin les observations, puis les travaux théoriques... au point de provoquer un retour aux sources de la thermodynamique. Pour expliquer tout d'abord, pour mieux concevoir ensuite, pour diffuser enfin. Une alchimie qui frise le génie peut-être, qui contribue au génie électrique certainement.

Bernard Gréhan

Directeur de Métabole Sarl

Conseil scientifique auprès de Somfy



Nouveau concept de machine à aimant permanent :  
la structure HYPOMAG



## Une forêt de coopérations avec le Brésil

Dynamique en matière de coopérations internationales, le LEEI a tissé des liens privilégiés avec le Brésil, depuis près d'un demi siècle, en recherche et en formation par la recherche. Ainsi, depuis 1973, 17 doctorants brésiliens issus des universités du Paralba, du Minas Gerais et de Santa Catarina (UFSC), sont venus au LEEI effectuer leurs travaux et soutenir leur thèse, avec l'appui du COFECUB et de la CAPES. Leurs sujets concernaient les machines électriques, l'électronique de puissance et la commande. Michel Lajoie-Mazenc, Directeur de Recherche émérite au CNRS, a participé activement depuis 1971 aux échanges entre le LEEI et le Brésil.

### Des relations fructueuses

Michel Lajoie-Mazenc note avec plaisir que les objectifs initiaux relatifs à la formation par la recherche ont été largement atteints : l'investissement du LEEI dans ces coopérations a permis aux chercheurs brésiliens de pouvoir désormais traiter d'égal à égal avec leurs homologues français et de mener des actions de recherche en commun. Concernant ces actions de recherche, les échanges se sont déjà concrétisés par bon nombre de missions bilatérales et publications écrites en commun. Ils se poursuivent actuellement dans le cadre d'un accord entre le CNRS et son équivalent brésilien le CNPq ; le sujet traité conjointement par le LEEI et le GRUCAD, groupe de recherche de l'UFSC à Florianópolis, concerne la modélisation et la conception des machines à commutation électronique. Parmi les réalisations issues de cette coopération, il y a le logiciel EFCAD développé en commun pour la modélisation par éléments finis des machines et de leur alimentation. Ce logiciel, né à l'initiative des chercheurs brésiliens, est aujourd'hui largement utilisé dans les deux laboratoires et dans l'industrie au Brésil. Une convention a été établie entre le CNRS, l'INPT et l'UFSC fixant les clauses pour sa valorisation.



R. Carlson, Resp. brésilien du projet, et M. Lajoie-Mazenc

### Un travail en profondeur

Outre ces échanges, Michel Lajoie-Mazenc souligne que les doctorants brésiliens présents au LEEI ont participé aux contrats d'étude que le LEEI menait, dès 1974, avec les industriels. Une fois rentrés dans leur pays, les brésiliens se sont inspirés de cette démarche de valorisation pour nouer des relations avec les industriels locaux et leur faire découvrir les vertus de la collaboration université-industrie. Ainsi, une opération liant le GRUCAD, le LEEI et un industriel brésilien, a abouti à la mise au point d'un nouveau moteur pour l'électroménager. Aujourd'hui au GRUCAD, les contrats avec les industriels sont de pratique courante.

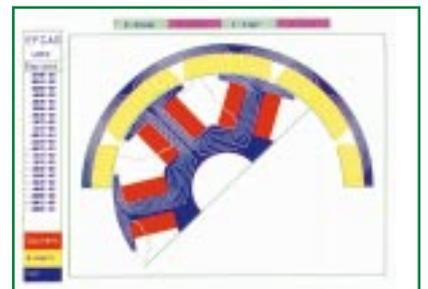
Le succès de cette collaboration entre

le LEEI et le GRUCAD tient à une motivation sans faille des deux parties, lesquelles espèrent avoir les moyens de faire perdurer cette coopération aux retombées particulièrement riches et fructueuses.

Contact Michel Lajoie-Mazenc

Tél. : 05 61 58 82 53

Michel.Lajoie-Mazenc@leei.enseiht.fr

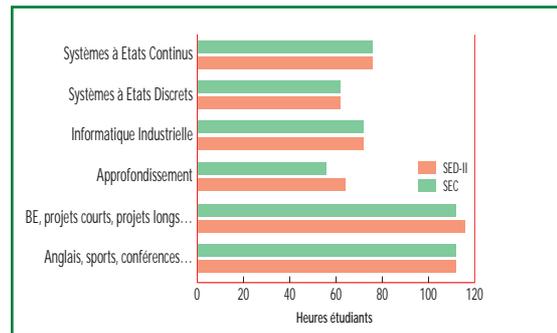
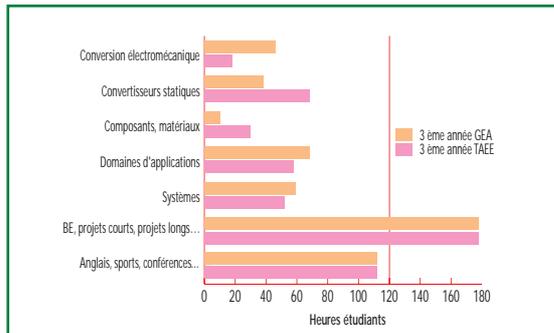


Visualisation du champ dans une machine par EFCAD

**Les relations internationales du LEEI concernent de nombreux pays : Afrique du Sud, Allemagne, Belgique, Brésil, Canada, Espagne, Italie, Liban, Maroc, Pologne, Portugal, Tunisie, et USA (Georgia Tech, Atlanta). Elles prennent la forme de collaborations de recherche, mais aussi d'accueil de stagiaires ou de doctorants, de cours... Parmi les principaux échanges actuels, il y a la coopération avec l'université de Stellenbosh (Af. Sud), sur l'optimisation des performances dynamiques des convertisseurs statiques, et celle avec l'université Publique de Navarre (Pampelune, Esp.) sur la conception et la réalisation de convertisseurs alternatif-continu connectés sur le réseau. A souligner également les liens privilégiés avec le Canada (univ. de Laval) ; plusieurs anciens du LEEI sont d'ailleurs installés au Québec.**

## Les contenus de formation en 3<sup>ème</sup> année du Département Génie Electrique Automatique

Les contenus de formation présentés ici, correspondent aux différentes options offertes dans le département, aux étudiants de 3<sup>ème</sup> année (50 étudiants) ainsi qu'à d'autres étudiants de DESS Electronique de Puissance (20 étudiants) et de DEA de Génie Electrique ou d'Automatique (15 étudiants). Les tableaux ci-dessous donnent une vision globale de cette formation en précisant les heures étudiant par grand thème. Chaque grand thème est ensuite décliné selon les différents intitulés de cours.



### Options de Génie Electrique

Le 1<sup>er</sup> tableau correspond aux 2 options de Génie Electrique : Génie Electrique-Automatique (GEA 20 étudiants) et Traitement Avancé de l'Energie Electrique (TAE 10 étudiants).

Elles couvrent assez largement les domaines de la Conversion Electromécanique et des Convertisseurs Statiques ainsi que les commandes qui leur sont associées ; elles ne se distinguent que par les poids attribués à chacun de ces 2 domaines.

**Conversion électromécanique.** Electrodynamique. Modélisation des phénomènes couplés. Modélisation du comportement mécanique des machines électriques. Matériaux électroactifs et piezo-moteurs

**Convertisseurs statiques.** "Propriétés fondamentales. Association. Modélisation et commande. Convertisseurs multiniveaux. MLI, signaux complexes, CEM."

**Composants, matériaux.** Composants de puissance : limitations, intégration fonctionnelle, mise en œuvre dans la cellule de commutation, estimation et gestion des pertes.

**Domaines d'applications.** Principes d'alimentation et de commande des actionneurs électriques. Modélisation et identification des machines électriques. Estimation-filtrage appliqués aux machines électriques. Réglage et stabilité des réseaux de distribution électrique. Apport de l'électronique de puissance dans la commande et l'amélioration des réseaux.

**Systèmes.** Optimisation statique. Optimisation combinatoire. Modélisation et analyse des systèmes de commande discrets. Systèmes multidimensionnels. Réseaux locaux. Conception des systèmes électromécaniques. Systèmes énergétiques autonomes.

**Autres** Anglais. Sport. Management de projet. Conférences. CV et entretiens.

### Option Automatique et Informatique Industrielle

Le 2<sup>ème</sup> tableau correspond à l'option Automatique et Informatique Industrielle (All 20 étudiants) qui a pour vocation de couvrir assez largement les Systèmes à Etats Continus (SEC), les Systèmes à Etats Discrets (SED) et l'Informatique Industrielle (II). Cette option présente un large

tronc commun et 2 approfondissements de 60h.

**Systèmes à Etats Continus.** Modélisation-Identification. Systèmes multidimensionnels. Commande optimale. Optimisation statique. Commande d'actionneurs

**Systèmes à Etats Discrets.** Modélisation et analyse des systèmes discrets. Graphes et applications. Optimisation combinatoire. Robotique mobile.

**Informatique Industrielle.** Unix-Systèmes d'exploitation Temps Réel. Génie logiciel. Réseaux locaux. Sûreté de fonctionnement.

**Approfondissement SEC.** Estimation - filtrage. Commandes adaptatives et prédictives. Commandes non linéaires et robustes. Modélisation et commande de robots.

**Approfondissement SED-II.** Supervision, surveillance et diagnostic. Planification et ordonnancement Langages synchrones. Vérification de programmes. Evaluation de performances.

**Autres.** Anglais. Sport. Management de projet. Conférences. CV et entretiens.

Ces formations sont assurées par des enseignants qui sont aussi chercheurs dans des laboratoires spécialisés des domaines du Génie Electrique et de l'Automatique : le LEEI, (auquel sont rattachés 22 des 24 enseignants permanents du département), le LAAS (2 enseignants permanents) et le DESD (Département de Commande des Systèmes et de Dynamique du vol) de l'ONERA. Participent également à cette formation des chercheurs CNRS de ces laboratoires, des enseignants d'autres universités et enfin des industriels, notamment dans le cadre de conférences.

Contact : Michel Metz - Tél. : 05 61 58 82 52 - Michel.Metz@leei.enseiht.fr

## Une "locomotive" au LEEI !

Peu de laboratoires disposent d'un "modèle réduit" de locomotive de près de 100kVA et de plus de 3 tonnes dans leurs murs ! C'est pourtant le cas au LEEI avec une "mini-chaîne de traction ferroviaire" financée notamment grâce au Conseil Régional Midi-Pyrénées. L'énergie qu'elle emmagasine est celle d'un engin de 1t lancée à 100 km/h, c'est dire s'il s'agit d'un projet ambitieux.



Cette maquette fédère les travaux de recherche de trois équipes du LEEI. La mise en adéquation optimale de la structure de conversion statique multi-niveaux (développée par l'équipe "Convertisseurs statiques", cf LEEInfos n°1) et de la stratégie de commande tend à minimiser un ensemble de contraintes système fortement pénalisantes (pollutions acoustique, harmonique...). Les équipes "Commande des systèmes électriques" et "Systèmes électromécaniques" s'investissent dans la conception de chaînes de traction ferroviaire à motorisation asynchrone, que l'on retrouve dans les TGV modernes. Par exemple, les commandes coopératives multi-machines (architecture maître/esclave...) visent à mettre au point un dispositif de commande unique pour deux



modules de traction. Cette dernière étude justifie à elle seule l'architecture de la maquette.

Ces travaux mettent une nouvelle fois en exergue l'importance et la qualité des relations du LEEI avec le domaine ferroviaire.

Contact : Xavier Roboam  
Tél. : 05 61 58 83 29  
Xavier.Roboam@leei.enseeiht.fr

## Renseignements pratiques

Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique Industrielle

Direction : Yvon Chéron  
Yvon.Cheron@leei.enseeiht.fr  
Tél. : (33) 05 61 58 82 08  
Fax : (33) 05 61 63 88 75  
www.leei.enseeiht.fr

Département de Formation en Génie Electrique et Automatique

Direction : Michel Metz  
Michel.Metz@leei.enseeiht.fr  
Tél. : (33) 05 61 58 82 52  
Fax : (33) 05 61 63 88 75  
www.enseeiht.fr/formation/et/

Adresse postale :  
ENSEEIH

2, rue Charles Camichel - BP 7122  
31071 Toulouse Cedex 7  
www.enseeiht.fr

Directeur de Publication :  
Yvon Chéron - Directeur du LEEI

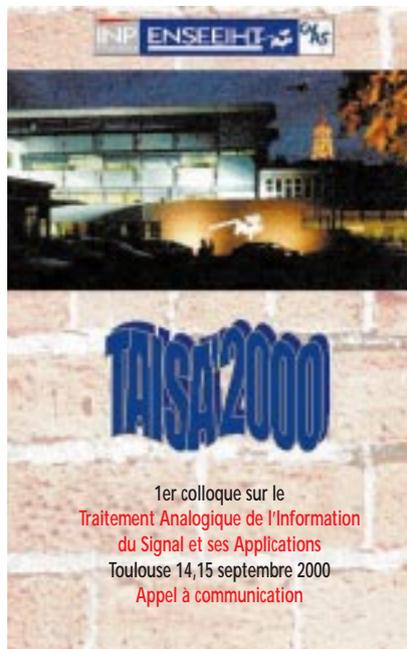
Editeur : Press & Tech  
Centre d'Affaires  
38, avenue Henri Barbusse 92220 Bagneux  
Tél. : 01 46 64 12 22 - Fax : 01 46 64 12 26  
www.press-tech.fr

Rédacteur en chef : Frédéric Noailles  
ISSN en cours  
Tous droits réservés.

## Le traitement analogique à l'honneur

Malgré l'omniprésence du numérique, l'analogique s'avère encore indispensable dans plusieurs niches technologiques. TAISA'2000, premier colloque sur le Traitement Analogique de l'Information, du Signal et ses Applications en fera la démonstration. Organisé par le LEEI et supporté par IEEE Power Electronics, il se déroulera les 14 et 15 Septembre 2000 à l'ENSEEIH et aura pour objectif de rassembler un grand nombre de spécialistes et d'utilisateurs du traitement analogique afin de favoriser un brassage et un échange des compétences au plan national. Le public visé ne se résume pas aux chercheurs des laboratoires universitaires puisque des industriels et des représentants de PME/PMI sont également attendus en nombre. En effet, l'accent sera mis sur les études ayant abouti à une réalisation matérielle.

Les thèmes abordés seront, entre autres, les capteurs, la commande



des systèmes, les télécoms, la vision artificielle, les hyperfréquences...

Contact : Henri Schneider  
Tél. : 05 61 58 84 61  
Henri.Schneider@leei.enseeiht.fr  
<http://www.leei.enseeiht.fr/taisa>