

# LEEI infos

INP ENSEEIHT

CNRS  
CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

Juillet 99 • Numéro 1

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

## Edito

Le LEEI est à mes yeux l'exemple à suivre par tout laboratoire des Sciences pour l'Ingénieur car il a su, au fil des années, mener de front avec succès l'ensemble des activités qui sont à la base de ce domaine de Recherche comme en témoigne son bilan quadriennal :

- Avancée des connaissances et participation active à la vie de la Communauté Scientifique nationale et internationale : plus de 450 publications, organisation de plusieurs congrès nationaux et internationaux...
- Partenariat intense avec le secteur socio-économique : dépôt de 28 brevets, 30 contrats d'études, 10 contrats d'assistance scientifique et technique, activités de consultance...
- Formation à la recherche et par la recherche : 36 thèses de doctorats, 4 HDR, participation à 162 jurys de thèse extérieurs à l'établissement...

Il est également très actif dans la formation initiale et continue, le LEEI étant le laboratoire de Recherche de la filière « Génie Electrique » de l'INPT-ENSEEIH. Cette brève synthèse des activités et des résultats du LEEI sont la preuve même du dynamisme et de la compétence de ce laboratoire dont les personnels peuvent être fiers.

Je suis pour ma part très heureux et honoré que le Directeur m'ait demandé d'écrire cet éditorial car je considère que le LEEI est un élément de réussite et exemplaire de notre établissement, du CNRS et de la Communauté des Sciences pour l'Ingénieur toute entière.

Alain Costes  
Président de l'INPT  
Membre du Conseil  
d'Administration du CNRS

## SOMMAIRE

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

## Dossier

# Transfert industriel exemplaire au LEEI !

### Retour sur une belle histoire...

Pour retrouver l'origine de ce qui allait être une remarquable avancée, il faut remonter à 1989, au Canada, lors d'une rencontre entre le professeur Henri Foch, venu participer à une conférence, et Thierry Meynard qui était alors chercheur invité outre-Atlantique. Lors d'un dîner amical, Henri Foch fit part à son ancien élève des travaux, exposés au cours de la conférence, relatifs à un nouveau type de convertisseurs électriques. L'histoire retiendra qu'en fait le principe de ce qu'imagina Thierry Meynard, suite aux dires d'Henri Foch, était sensiblement différent de la réalité des études scientifiques de l'époque, mais l'idée se révéla meilleure que tout ce qui se faisait dans les laboratoires du monde entier !

### Acte 1 : la matière grise du LEEI

La première phase des travaux basés sur l'idée originale dura deux ans. Les chercheurs du Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique Industrielle (LEEI) de l'ENSEEIH se consacrèrent à la recherche fondamentale pour la partie théorique, et aux premières réalisations expérimentales. Ainsi,

Thierry Meynard et Henri Foch obtinrent des résultats si encourageants et si prometteurs par rapport au progrès qu'ils représentaient que le CNRS, organisme de



Locomotive T13 (Alstom/ACEC)

tutelle valorisateur du LEEI, déposa un premier brevet dès 1991. Les deux années suivantes, le LEEI conçut en interne deux « maquettes de laboratoire ».

### Acte 2 : quand universitaires et industriels se rejoignent

La suite logique de ces avancées se concrétisa par les premiers contacts avec deux laboratoires de recherche industriels prestigieux, à savoir Alcatel Alsthom Recherche (AAR) et la Direction des Etudes et Recherches (DER) d'EDF à Clamart. Les moyens

Sur le plan juridique, le premier brevet avait donc été financé par le CNRS en 1991. Plus les résultats obtenus confirmaient les espoirs fondés sur l'idée originale, plus les responsables du LEEI tenaient à protéger cette dernière afin qu'elle ne leur échappe pas. Une première option sur licence exclusive fut ainsi concédée dans le domaine des transports à Alcatel Alsthom Recherche, premier partenaire s'étant concrètement engagé dans le transfert de cette innovation. Toutefois, il apparût rapidement qu'il ne fallait pas se limiter à ces seules applications et une seconde option sur licence exclusive fut ciblée sur la variation de vitesse en milieu industriel, à travers des procédés de pompage, de ventilation ou de laminage. Par la suite, la négociation pour vendre la licence finale a été menée entre le LEEI/CNRS, Alstom et le cabinet France Innovation Scientifique et Technique (FIST), dès le mois de Septembre 1997 pour se conclure le 19 Mai 1999.

investis par ces deux partenaires permirent d'entreprendre deux études au travers de thèses Cifre co-financées par les industriels, de 1993 à 1996.

L'une portait sur le traitement de l'énergie, les fortes puissances, avec des applications dans les transports telles que la traction ferroviaire ou la propulsion des navires. Les expérimentations mettaient en œuvre des tensions de 3000V et des intensités de 1000A, c'est dire le caractère explicite de l'intérêt industriel de ces travaux. Ces trois années donnèrent lieu à cinq brevets de perfectionnement, en association avec Alcatel Alsthom Recherche.

Ces brevets sont inutilisables sans le brevet initial du CNRS, mais ils protègent les développements de la technique. L'autre concernait un filtre actif 6.6 kV correspondant à un besoin spécifique de certains distributeurs d'éner-

gie électrique. Les résultats enthousiasmants obtenus dans la première partie de la thèse ont même permis de réaliser, avec Cégélec, une maquette à l'échelle un dans le cadre de la même thèse. Sur le plan pratique, des « véhicules promotionnels » ont été mis au point ; plus proches de l'application, ils ne prenaient cependant pas en compte les problèmes d'industrialisation habituellement traités au stade du prototype. La période de 1993 à 1996 a donc été marquée par une très étroite collaboration entre les chercheurs du LEEI et les industriels.

### Acte 3 : l'exploitation industrielle

La dernière phase, de 1997 à 1999 a permis aux industriels de finaliser les travaux en élaborant des prototypes, illustrations parfaites d'un transfert réussi entre la Recherche et l'Industrie. Le point d'orgue de la concrétisation du savoir-faire né au LEEI restera le 19 Mai 1999, date à laquelle fut signée la licence exclusive finale. La production en série d'équipements de fortes puissances est maintenant effective avec plusieurs produits et gammes de produits. Alstom, qui est aujourd'hui séparé d'Alcatel mais qui englobe Cégélec, bénéficie de l'exclusivité de l'utilisation de la licence dans le domaine des transports et des applications industrielles.

En outre, une sous-licence a été accordée par Alstom à Alcatel pour sa filiale ETCA intéressée par les applications dans le domaine spatial. Enfin, il est à noter que le secteur médical n'a pas été inclus dans la licence. Toute entreprise désireuse de mettre en œuvre cette nouvelle technologie dans l'imagerie médicale et les appareils nécessitant des tensions élevées et particulièrement pures (Résonance Magnétique Nucléaire...) est donc invitée à prendre contact avec les respon-

sables du LEEI dont les coordonnées figurent à la page 6 de cette publication.

### Une idée originale

Thierry Meynard explique que « l'idée de base a été de trouver une nouvelle méthode d'association de semi-conducteurs, en série ou en parallèle. Ces dispositifs ont pour but de remplacer un semi-conducteur à haute tension par plusieurs de plus basse tension, ces derniers ayant de meilleures performances car ils sont plus rapides, plus faciles à construire, moins chers et leur rendement élémentaire plus élevé permet de maintenir les pertes totales à un niveau compétitif ». La mise en œuvre de cette technique offre deux avantages essentiels.

Ainsi, « la structure abritant les semi-conducteurs garantit que les contraintes sont bien réparties entre les différents éléments, et de plus la forme de la tension découpée est améliorée.



Thierry Meynard

Dès lors, le potentiel de ces dispositifs leur permet d'être applicables dans de très nombreux domaines. Même si les fortes puissances, supérieures à 1MW, ont été privilégiées pour prouver l'intérêt de notre procédé, il s'est avéré que des applications de quelques dizaines ou centaines de Watts pouvaient tirer



parti de son utilisation, comme dans le cas des applications spatiales ».

### De réelles applications pratiques

Pour ce qui est des réalisations, Thierry Meynard insiste sur « le caractère générique de cette technique qui peut être utilisée dans tous les convertisseurs utilisés en Electronique de Puissance. Ces convertisseurs servent à maîtriser l'énergie, en la régulant lorsque la charge ne doit pas subir les variations de la source d'énergie (alimentations stabilisées).

Ils peuvent aussi être utilisés pour abaisser ou élever la tension (convertisseur de tension) ou pour transformer du courant alternatif en courant continu (redresseurs à absorption sinusoïdale) et réciproquement (variateurs de vitesse). Par ailleurs, les solutions techniques peuvent être très différentes en fonction de la puissance à traiter ; parmi les moteurs fonctionnant à vitesse variable, les variateurs de vitesse des perceuses ou les moteurs électriques du TGV, impliquent l'utilisation de convertisseurs électriques différents. Les limites du domaine d'application de cette technique brevetée restent encore à déterminer ».

En guise d'exemple concret, « la société belge Alstom/ACEC a opté pour notre technique sur leurs locomotives T13 ; ce convertisseur d'entrée transforme la tension de 3000V délivrée par la caténaire en 1500V qui est la tension d'alimentation de la locomotive. De même, Alstom Industry, via son activité issue du rachat de Cégélec, a intégré notre struc-



Un des premiers onduleurs multicellulaires réalisés au LEEI.

ture de convertisseur dans sa gamme de produits de puissance de 1MW à 8MW. Enfin, les premières applications spatiales ne devraient pas tarder à être opérationnelles, et le secteur médical est plein de promesses ».

Ce que Thierry Meynard ne dit pas, c'est qu'à l'heure actuelle, la technologie née au LEEI n'a pas vraiment de concurrence car les autres solutions restent lourdes et complexes, ou moins performantes. La seule alternative réelle reste la voie présentée lors de la conférence au Canada en 1991. Force est de constater, qu'entre temps, depuis l'idée originale de Thierry Meynard et d'Henri Foch, le LEEI a fait preuve de créativité et d'innovation !

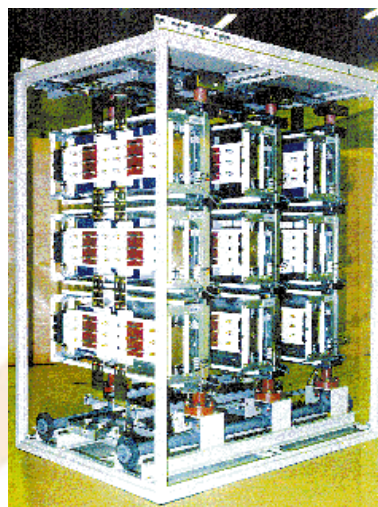
Contact : Thierry Meynard  
Tél. : 05 61 58 83 58

Thierry.Meynard@leei.enseeiht.fr

## Exemples de réalisations

Sa société étant détentrice de la licence exclusive, Jacques Courault, Directeur Technique d'Alstom Drives And Controls France, précise que l'invention née au LEEI s'applique tout d'abord aux variateurs de vitesse des machines synchrones ou asynchrones, avec des implantations disponibles dans des applications « stand-alone », comme des ventilateurs ou des compresseurs, ou plus liées au procédé comme dans le laminage à froid avec des systèmes de variateurs alimentés par bus à courant continu. L'activité

marine est en projet puisque le dispositif pourrait servir à l'alimentation des moteurs de propulsion. Jacques Courault ajoute que des projets portent aussi sur la conversion d'énergie, via les alimentations triphasées ou monophasées avec dans ce dernier cas les alimentations de caténaires en 16Hz 2/3, 25Hz, 50Hz ou 60Hz.



Variateur de vitesse VDM6000 (Alstom Industry)

Les clients finaux d'Alstom concernés par le dispositif du LEEI sont essentiellement dans les industries métallurgiques, pétrochimiques et pneumatiques. Jacques Courault souligne que la solution du LEEI est incontestablement la meilleure sur le plan technique, et que les développements s'orientent maintenant vers une réduction des coûts.

Ceci pourrait faire l'objet d'une nouvelle phase de collaboration où industriels et universitaires unissent leurs acquis respectifs (retour d'expérience et connaissance du marché des uns, prolongement de la démarche innovante des autres) pour proposer de nouveaux perfectionnements et orienter les développements futurs.

Sur le plan financier, ce dossier figure d'ores et déjà parmi les 10 meilleures opérations de valorisation du CNRS. Sans révéler de chiffres, il faut savoir que le montant de l'enveloppe reçue par le CNRS à la signature de ce projet équivaut à 4 ou 5 années de financement du LEEI par le CNRS ! En Midi-Pyrénées, c'est d'emblée le meilleur contrat de tous les temps, toutes disciplines confondues. Il faut signaler que le LEEI détenait déjà les deux records précédents, l'un avec le logiciel SUCCESS et l'autre avec le thyristor dual.



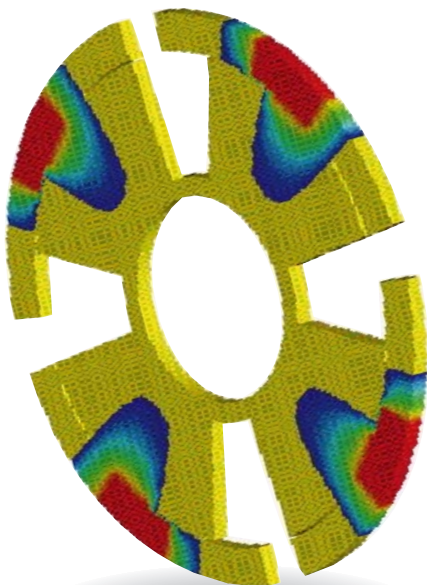
**L**e Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique Indus-trielle (LEEI) est une Unité Mixte de Recherche (UMR 5828) entre l'Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT) et le CNRS.

Les travaux menés au LEEI portent essentiellement sur quatre thèmes de recherche.

Il y a d'une part le traitement et le conditionnement de l'énergie électrique, et d'autre part la transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique ou thermique. En corollaire sont également traitées les techniques de contrôle associées à ces procédés de traitement ou de transformation de l'énergie électrique, ainsi que les systèmes conçus autour de ces procédés.

Ces thèmes généraux sont développés par quatre groupes de recherche complémentaires. Ces derniers s'efforcent de tirer les meilleur parti des progrès les plus récents dans les domaines des composants de l'électronique de puissance, des matériaux, de l'automatique, des techniques numériques...

L'activité de ces groupes de recherche est détaillée ci-après. Elle se décline en opérations de recherche, parfois à l'intersection de plusieurs groupes.



### Convertisseurs statiques

(Resp. Thierry Meynard)

- Structures et commande des convertisseurs de forte puissance
- Méthodes d'étude, de simulation et de conception des convertisseurs
- Sûreté et disponibilité des convertisseurs
- Modélisation et commande des convertisseurs

### Machines et Mécanismes Electroactifs

(Resp. Bertrand Nogarède)

- Etude de nouveaux concepts de conversion électromécanique de l'énergie
- Conception et mise en œuvre des structures électroactives associées à leur dispositif d'alimentation électronique
- Modélisation des dispositifs électromécaniques en vue de leur conception

### Commande des Systèmes Electriques

(Resp. Maurice Fadel)

- Architecture des commandes : aspects matériels et logiciels – commande floue, réseaux de neurones
- Stratégies de commande et observateurs pour les machines électriques
- Traitement de l'information pour la modélisation, la surveillance et le diagnostic
- Modélisation et commande des convertisseurs

### Systèmes Electromécaniques

(Resp. Xavier Roboam)

- Conception, caractérisation, optimisation

### Le LEEI en chiffres

UMR 5828 CNRS-INPT

Effectifs :

20 enseignants/chercheurs,  
6 chercheurs CNRS, 12 ITA,  
environ 40 doctorants

Budget total : 24 MF

Budget « opérationnel » : 6 MF

5 à 10 brevets par an

### Quelques réalisations

Pour illustrer les champs d'applications des recherches conduites au LEEI, voici quelques exemples de réalisations étudiées et mises au point dans le cadre de contrats signés par le laboratoire :

- contrôle intégré à puissances active et réactive constantes d'un four à arc de 110 MVA
- convertisseur d'entrée de locomotive
- automatisation de la conception d'une chaîne de traction
- servomoteurs à aimants à commutation électronique
- entraînements industriels à vitesse variable
- actionneurs pour l'automobile
- actionneurs piézoélectriques pour la domotique et l'horlogerie
- contrôle numérique de vitesse et de position d'actionneurs synchrones et asynchrone

Comme c'est le cas pour ce premier numéro, le journal LEEInfos rendra compte régulièrement des diverses activités de recherche du LEEI, notamment à travers ses nombreux brevets et transferts industriels.



Contact : Yvon Chéron  
Tél. : 05 61 58 83 52  
Yvon.Cheron@leei.enseiht.fr



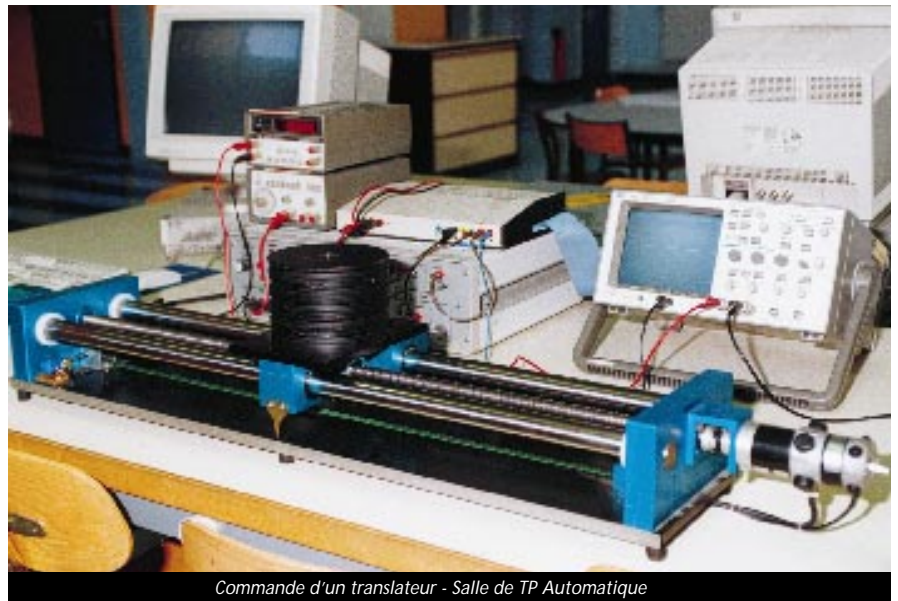
## Département Génie Electrique - Automatique de l'ENSEEIH

### Des contenus très riches

En première et deuxième années, les élèves ingénieurs acquièrent une formation large et solide en génie électrique et en automatique mais aussi dans des disciplines connexes (mécanique, thermique, traitement du signal...). Ensuite, 65% de la promotion de 80 étudiants effectuent leur troisième année d'études dans le Département de Formation en Génie Electrique et Automatique, 20% dans un autre établissement français ou étranger habilité par l'ENSEEIH et 15% dans une option d'un des autres départements de formation de l'école ou de l'INPT.

Les étudiants qui suivent leur 3<sup>ème</sup> année au département ont une palette de formations très variée, en choisissant une option parmi trois.

Les deux premières options sont centrées sur les principes fondamentaux de la conversion et du traitement de l'énergie électrique avec les commandes qui leur sont associées. La première option possède un approfondissement en électronique de puissance (nouvelles structures, applications aux réseaux électriques...), avec une ouverture vers les systèmes. La deuxième option est dotée d'un approfondissement en conversion électromécanique (actionneurs piézoélectriques et actionneurs spéciaux) et une ouverture vers l'automatique discrète et le temps réel. Enfin, la troisième option est centrée sur l'automatique et l'informatique industrielle (modélisation, identification, simulation, optimisation dans les systèmes à états continus ou discrets), avec en plus un approfondissement sur les systèmes à états continus (commandes avancées, robotique...), ou un approfondissement sur



Commande d'un translateur - Salle de TP Automatique

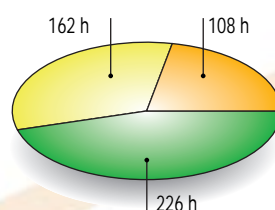
les systèmes à états discrets (supervision, surveillance, diagnostic, ordonnancement...) et l'informatique industrielle (langages synchrone, vérification des programmes, évaluation des performances...).

Les contenus de ces trois options permettent de couvrir des secteurs clefs ou innovants du génie électrique, de l'automatique et de l'informatique industrielle.

L'ensemble de ces formations fait largement appel aux enseignants chercheurs du LEEI, du LAAS et de l'ONERA, ainsi qu'à de nombreux industriels.

### Une pédagogie moderne

Le schéma ci-dessous illustre la répartition des volumes horaires des enseignements de 3<sup>ème</sup> année. Les BE et les projets s'ins-



- Langues, sports, conférences, sciences humaines et de gestion
- Cours de la spécialité
- BE, projets courts, projets longs

crivent dans le cadre d'une pédagogie active et correspondent à un travail de groupe où les élèves ingénieurs mettent en œuvre leurs connaissances en s'appuyant sur les outils théoriques, informatiques et expérimentaux. Ils sont succinctement décrits ci-dessous :

- BE (3 fois 4 h) : travail d'application sur un cours donné
- Projet court (5 fois 4 h) : travail fédératif sur plusieurs cours
- Projet long (12 fois 4h) : étude approfondie ou développement de maquette

Il faut également noter qu'il y a en début d'année un cours de management de projet qui se poursuit par une mise en application dans le cadre des projets longs.

### Très important

A partir de la prochaine rentrée 99, toutes les options de 3<sup>ème</sup> année sont semestrialisées et se terminent ainsi fin janvier. Le stage dure donc 5 mois (de février à juin). Vos propositions de stages peuvent nous parvenir dès le mois d'octobre, les coordonnées du Département de Formation en Génie Electrique Automatique sont détaillées en page 6.

Contact : Michel Metz

Tél. : 05 61 58 82 57

Michel.Metz@leei.enseeih.fr

## 10<sup>ème</sup> Garona pour le LEEI

Le LEEI vient de fêter sa 10<sup>ème</sup> participation à Garona, a descente de la Garonne sur une trentaine de kilomètres, à l'aide de radeaux amateurs à propulsion musculaire.

Selon Dominique Harribey, qui encadre chaque édition, la tradition veut que la descente soit faite par les étudiants en première année de thèse. Cette année encore, pas moins de 10 thésards se sont investis dans l'aventure, 8 rameurs et 2 pédaleurs, avec un radeau dont le thème était « Bip Bip et le coyotte », inspiré par le célèbre dessin animé. La motivation



principale est la convivialité et non la compétition, comme le souligne Dominique Harribey qui note avec malice que cette année les « aventuriers » du laboratoire ont carrément fait une halte à mi-parcours pour faire des grillades ! La veille au soir, plus de 40 personnes du LEEI s'étaient déjà retrouvées pour une grande fête, en bord de Garonne, lors du traditionnel repas organisé par les participants de l'année précédente. Une tradition qui n'est pas près de couler...

Contact : Dominique Harribey  
Tél. : 05 61 58 83 87  
Dominique.Harribey@leei.enseeiht.fr

## Solelhada : la course au soleil

Tous les trois ans, la plus longue et la plus prestigieuse course de véhicules solaires met aux prises de drôles de machines mues par l'énergie solaire pour traverser l'Australie du nord au sud. En 1996, la France y fut représentée pour la première fois par deux engins dont l'un, baptisé Héliotrope, avait été conçu et réalisé par l'association du Grand Sud, France for World Solar Challenge, à laquelle le LEEI prît une part importante en réalisant tout le système électrique. Cette traversée connut un bilan très positif, couronné par une 3<sup>ème</sup> place dans sa catégorie (batteries plomb/acide) et une vitesse de croisière moyenne de 42 km/h avec des pointes supérieures à 60km/h.

Pour l'édition de Novembre 1999 le LEEI s'est associé à l'ENSICA dans le projet midi-pyrénéen baptisé Solelhada (« coup de soleil » en occitan). Le LEEI apporte son expertise technologique, notamment au niveau de la chaîne de propulsion élec-



trique, du générateur photovoltaïque et de la stratégie d'optimisation de l'énergie électrique. Tout le laboratoire s'implique dans cette aventure, à l'intersection de nombreux thèmes de recherche du LEEI, y entraînant plusieurs participants d'autres services et départements de l'ENSEEIH.T.

Contact : Stéphan Astier  
Tél. : 05 61 58 83 59  
Stephan.astier@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.T  
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

Crédits Photos :  
Bernard Descamps/Agence VU  
LEEI – Press & Tech

Tous droits réservés.