

Edito

Avec ce cinquième numéro, la lettre d'information du LEEI a trouvé son identité et, nous l'espérons, son lectorat. Les premiers dossiers ont été centrés sur les travaux des quatre groupes de recherche du laboratoire. Les pages "Recherche" ont mis en valeur les relations internationales, les ressources informatiques ou bien encore l'accueil de chercheurs étrangers. Les pages "Enseignement" nous ont permis de présenter le département de formation en Génie Electrique et Automatique (GEA) auquel est adossé le LEEI, notamment son ouverture vers le monde de l'entreprise : les transferts permanents entre Recherche et Enseignement ont été soulignés. D'autres informations plus factuelles et plus éclectiques sur la vie du laboratoire ont été annoncées dans la rubrique "Actualités".

Les dossiers des LEEIInfos à venir seront consacrés à des aspects plus transversaux des activités de recherche du LEEI, avec une large place pour les applications industrielles. C'est l'électrothermie qui ouvre la série, en raison de son caractère "historique" au sein de notre laboratoire. Avec ce numéro débute également une présentation détaillée des quatre grandes thématiques de l'enseignement dispensé aux élèves ingénieur du département GEA.

Quant à vous, lectrices et lecteurs de LEEIInfos, nous souhaiterions recueillir vos remarques, critiques et suggestions sur notre publication qui est aussi la vôtre. Alors merci de vous exprimer en nous écrivant à l'adresse : leeinfos@leei.enseeiht.fr

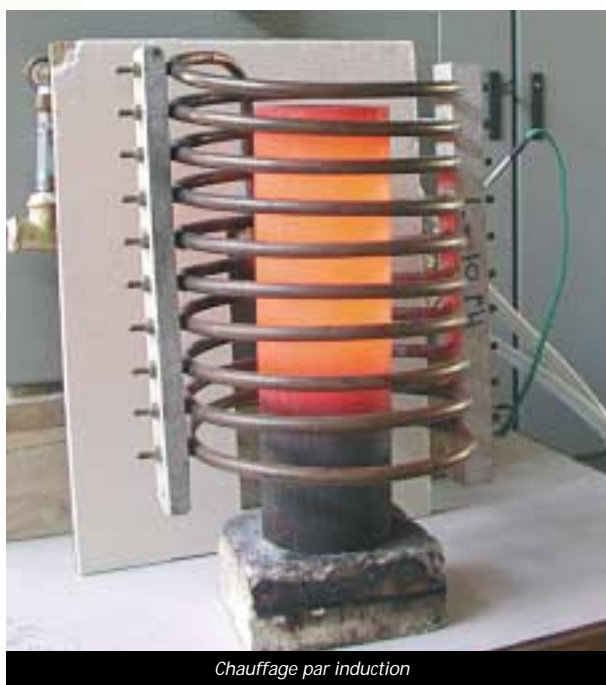
Yvon Chéron
Directeur du LEEI

SOMMAIRE

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

Applications thermiques de l'électricité

Dossier



Chauffage par induction

Les premiers travaux de recherche menés au LEEI sur l'électrothermie, conversion de l'énergie électrique en énergie thermique, remontent à la fin des années 70. Le mieux placé pour retracer ces quelque 25 années est sans aucun doute le Professeur Henri Foch puisqu'il en est l'initiateur. Il a effectué de très nombreuses interventions dans le cadre du club "Induction" d'EDF (puis de la SEE) présidé par Claude Oberlin - EDF division R&D, et a donné des conférences dans le cadre du Club Electrothermie-Enseignement.

Le sujet a été abordé à partir des convertisseurs statiques destinés à l'alimentation de divers dispositifs de chauffage. Deux approches ont connu un développement parallèle : l'une basée sur des convertisseurs de chauffage par induction, l'autre sur des convertisseurs à résonance. Dans

les deux cas, la problématique repose sur des fonctionnements à fréquence élevée par rapport aux fréquences de travail usuelles des semi-conducteurs de puissance. Pour l'induction, la haute fréquence provoque des traitements thermiques uniquement de surface, ce que requièrent bon nombre d'applications. Dans le cas de la résonance, l'augmentation de la fréquence permet la diminution de la taille du dispositif matériel, ce qui présente des avantages évidents. Par la suite, le thème de l'arc électrique est venu compléter le

panel des domaines de l'électrothermie traités au LEEI.

LE CHAUFFAGE PAR INDUCTION

Le principe de l'induction, proche du transformateur, consiste à utiliser un "primaire" (inducteur) fonctionnant à haute fréquence (entre 50 Hz et 1 MHz) couplé à une pièce conductrice à chauffer jouant le rôle de "secondaire". Le primaire induit un courant dans le secondaire, mais il n'y a ni connexion électrique ni contact entre les deux. Or en 1978, Henri Foch a inventé le Thyristor Dual qui, justement, a permis d'accroître les fréquences de fonctionnement des semi-conducteurs de l'époque. L'électrothermie a donc été choisie comme domaine d'application privilégié du thyristor dual.

Les premières collaborations industrielles ont été menées avec le Centre de Recherche EDF des Renardières (Département ADEI/EDF/DRD), et en particulier Jacques Nuns, d'abord avec des transistors bipolaires de puissance, puis des MOST, des IGBT et des GTO. Elles ont débouché sur la cession d'une licence à la société CELES spécialisée dans la fabrication de générateurs à induction pour des applications industrielles telles que la trempe superficielle, le thermo-scellage d'opercules pour denrées fragiles (cosmétiques, produits pharmaceutiques et alimentaires ...), le préchauffage de produits métalliques avant formage... Deux autres licences ont été cédées à Thomson et Thomson Grand Public (plaques de cuisson à induction).

Le LEEI a collaboré avec deux laboratoires toulousains (l'Institut de Mécanique des Fluides et le Laboratoire de Génie Chimique) sur le chauffage par induction d'un réacteur chimique contenant des matériaux granuleux. Le résultat a été appliqué au nettoyage de charbons-actifs utilisés en filtration ou à la récupération de métaux précieux.

LES CONVERTISSEURS A RESONANCE

L'autre technique transformant l'énergie électrique en énergie thermique pratiquée au LEEI consiste à utiliser des convertisseurs à résonance.

Le LEEI a travaillé sur ce type d'alimentation dans trois domaines principaux. Il y eut d'abord les magnétrons de fours à micro-ondes, au début des années 80, à travers une collaboration avec Thomson. L'utilisation d'un oscillateur à très haute fréquence a permis de réaliser des alimentations compactes, performantes et peu onéreuses. Ensuite, en 1988, vinrent les lasers CO₂, ou lasers de puissance, avec Lectra Systèmes puis avec Adron Sources, pour découper de la matière



Henri Foch, Philippe Ladoux, Frédéric Richardeau

avec une très grande précision au moyen d'une sorte de "table traçante" de découpe. Enfin, le LEEI et la SAF (Soudure Autogène Française) ont développé des torches à plasma de découpe de tôles. Le principe consiste à établir un arc électrique afin de faire fondre la tôle, les gouttelettes de métal en fusion étant évacuées par un jet de gaz comprimé, et à déplacer enfin la torche pour poursuivre la découpe.

LES FOURS A ARC DE GRANDE PUISSANCE

En ce qui concerne l'électrothermie à basse fréquence (courant continu et 50 Hz), les chercheurs du LEEI ont acquis des lettres de noblesse dans le domaine des fours à arc. La production d'acier s'effectue soit dans des hauts-fourneaux soit dans des fours à arc (33% de la production mondiale actuelle, prévision de 40% en 2010). Cette seconde méthode est moins polluante, plus flexible, moins coûteuse et plus écologique car l'acier y est produit à partir de ferraille de récupération. Le principe consiste à produire un arc électrique à très haute température (20 000 °K au cœur de l'arc) qui fait fondre la masse métallique.

Première étude en 1993

Lancée à la demande de Cégélec Metal System (aujourd'hui division d'Alstom Power Conversion basée à Massy), l'objet de cette étude était la simulation d'un équipement complet de four à arc de 110 MVA (Million Volts Ampères). Le but était de promouvoir une nouvelle topologie et une commande originale pour l'alimentation de fours à arc à courant continu afin de réduire au maximum les fluctuations de puissance réactive. Ces dernières sont responsables de variations à très basse fréquence de la tension réseau à l'origine de l'effet de "flicker" (scintillement) qui provoque une gêne physiologique à laquelle l'œil est très sensible. Il est donc essentiel de les minimiser sur le réseau haute tension auquel est raccordé le four car elles peuvent se propager ensuite sur le réseau basse tension grand public de 230V. L'enjeu du problème du raccordement est donc de taille.

C'est Frédéric Richardeau, étudiant en thèse en 1993 et aujourd'hui Chargé de Recherche au CNRS, qui a réalisé cette étude, basée sur des dispositifs existants chez Cégélec MS. Il a travaillé sur l'électronique de puissance, sur une structure qui ne comptait pas moins de 80 composants, ce qui pose le problème de la simulation pour l'époque. Le résultat a été très positif avec une nette réduction de la puissance réactive et un bon contrôle du "flicker". Deux brevets ont été déposés par Cégélec MS sur la solution proposée, laquelle a été utilisée dans deux fours à arc : chez Cockerill (à Charleroi), avec une réduction du "flicker" d'un rapport 3, et dans un four du consortium métallurgique luxembourgeois ARBED.

Un complément d'étude a été demandé en 1995 par Cégélec MS au LEEI pour mieux connaître, toujours par simulation, le comportement de la structure dans le cas de fonctionnements extrêmes tels que le court-circuit, en mettant en exergue la sûreté de fonctionnement.

Les recherches en cours

Le retentissement industriel certain de cette étude a amené une nouvelle collaboration. C'est à l'initiative de Jean

Une "plate-forme induction" au LEEI

En liaison avec les thermiciens de l'Ecole, une plate-forme de chauffage par induction a été acquise chez CELES avec l'aide d'EDF et de la Région Midi-Pyrénées. Son alimentation électrique à 15 kHz est basée sur un onduleur de courant à IGBT commutant à 0 de tension. Elle est exploitée à des fins principalement pédagogiques, et fait l'objet de quelques études pluridisciplinaires. Des démonstrations d'applications performantes et spectaculaires de l'électronique de puissance pour le chauffage y sont faites pour des étudiants en formation initiale ou en formation continue.

van den Broek, Ingénieur Consultant de PROMETHEE, qu'est venue la demande d'étude de nouvelles topologies de convertisseurs de très forte puissance pour l'alimentation de fours à arc. Ces travaux ont débuté à l'automne 1998 et font l'objet d'un contrat de recherche entre le LEEI et EDF jusqu'en 2002. Côté EDF, le projet est suivi par Jacques Nuns, ingénieur-chercheur au centre de recherche des Renardières. Cyril Bas, doctorant au LEEI, embauché par EDF dans le cadre d'une convention CIFRE, travaille sur ce sujet. Philippe Ladoux, Maître de Conférences, responsable du projet, précise que l'objectif est de concevoir une nouvelle alimentation qui réduise encore les perturbations sur le réseau, notamment le " flicker ", et qui de plus augmente la productivité du four.

La problématique vient toujours de la puissance considérable mise en jeu. Actuellement, elle est de 100 MW, ce qui représente près de 10% d'une tranche nucléaire. D'ici 2010, les nouveaux fours devront produire un million de tonnes d'acier par an et la puissance électrique nécessaire atteindra alors 150 MW. A de telles puissances, il faut obligatoirement se raccorder au réseau de transport principal de l'énergie électrique d'un pays, c'est à dire aux grosses "artères" de 220 kV ou 400 kV. Il est coûteux, voire localement impossible, de se raccorder à ce réseau. Le recours à un réseau de distribution de tension plus basse justifie alors les alimentations à courant continu, beaucoup moins perturbatrices que les alimentations à courant alternatif.

L'amélioration des résultats obtenus en 1993 est possible grâce à l'utilisation de composants modernes de l'électronique de puissance que sont les IGBT et les IGCT. La structure d'alimentation développée permet, par rapport aux autres alimentations à thyristors, un prélèvement propre de l'énergie sur le réseau. Ainsi, les dispositifs de compensation de puissance réactive ne sont plus nécessaires. Il n'y a plus de compensateur statique ni de filtre pour éliminer les courants harmoniques induits sur le réseau. Concrètement, la suppression de ces dispositifs fait gagner la surface d'un terrain de basket ! Enfin, l'augmentation de la

productivité résulte de l'optimisation du transfert d'énergie entre le réseau et l'arc, grâce à une dynamique de contrôle assez rapide. Toutes les nouveautés présentes dans cette alimentation font l'objet d'un brevet EDF / CNRS actuellement en cours de dépôt. Philippe Ladoux souligne qu'EDF et le LEEI ne seraient pas arrivés à ce résultat sans les conseils avisés de Jean van den Broek et le concours amical de Jacques Du Parc de la société ALSTOM. Leurs connaissances en électrothermie et plus particulièrement dans les fours à arc ont été essentielles.

A ce jour, deux blocs de cette alimentation, d'une puissance de 2 MW chacun, sont en construction au laboratoire EDF des Renardières. Il en faudra donc une cinquantaine pour obtenir la puissance nécessaire au four. Pour finaliser ce projet, un contrat de recherche européen est en gestation. Il devrait associer EDF et le LEEI à un fabricant d'alimentation de puissance et à un constructeur de fours.



L'électrothermie, bien que méconnue du grand public, constitue donc un secteur industriel important eu égard, notamment, aux besoins colossaux de la production mondiale d'acier. Quand à l'expérience acquise par le LEEI en la matière, elle est riche et variée, même si elle sort du cadre habituel des thèmes de compétences du laboratoire. Son développement est constant, avec des temps de transfert industriel exceptionnellement courts compte tenu des très fortes puissances mises en jeu.

Contact : Philippe Ladoux
Tél. : 05 61 58 83 64
Philippe.Ladoux@leei.enseiht.fr

Jean van den Broek, ingénieur centralien, a partagé ses 40 années de vie professionnelle entre l'électronique industrielle, les automatismes et la métallurgie. Aujourd'hui consultant pour Prométhée, filiale de Schneider Electric qui vise à promouvoir des applications performantes de l'électricité, il a en charge l'Electrothermie. Principal auteur de l'ouvrage "Introduction à l'Automatisme"*, son expérience est internationale.

Le four à arc a été inventé par SIEMENS au 19^{ème} siècle. A l'issue de la 2^{ème} guerre mondiale, sa percée dans la métallurgie de l'acier ordinaire provenait de l'énorme disponibilité de ferrailles. Les "ronds" à béton élaborés avec de l'acier "électrique" étaient bien moins chers que ceux de la filière du haut fourneau. Les fours à arc de moyenne puissance à courant alternatif à 3 électrodes de graphite se sont alors généralisés (le four SIEMENS était à courant continu). A l'aube du 21^{ème} siècle la production annuelle d'acier électrique, qui croît de 2 à 3%, atteint 2.400.000t et consomme plus de 100TWh. Les pays à forte démographie, sans "passé sidérurgique", misent sur l'acier électrique.

En 1985, on a installé en France* un four à courant continu de 80MW, alimenté par redresseurs à thyristors à courant d'arc stabilisé afin de minimiser les perturbations créées par l'arc sur le réseau électrique. Plus tard, ALSTOM, s'appuyant sur des études du LEEI, a installé des fours à courant continu utilisant des ponts à thyristors à commande asymétrique dotés d'un système de régulation de puissance réactive. Ainsi, le four à courant continu a été relancé par rapport au four à courant alternatif qui avait fait des progrès. Aujourd'hui SIEMENS et ABB prennent des options similaires, et les constructeurs de fours à arc demandent aux constructeurs électriciens de nouveaux efforts. Nous pensons que l'application de la technique de conversion continu-continu par hacheurs entrelacés permet d'atteindre de nouveaux objectifs très ambitieux en faisant disparaître les perturbations sur le réseau et en assurant une meilleure régulation des paramètres courant et tension d'arc.

Jean van den Broek

* Editions Vilo

* Près de Valenciennes, grâce aux efforts conjugués de l'IRSID, Usinor, CLECIM et Jeumont-Schneider



L'échange de chercheurs au LEEI

Le CNRS encourage de plus en plus la mobilité de ses chercheurs pour favoriser les échanges entre les laboratoires et les industriels. Yvan Lefèvre, Chargé de Recherche au CNRS en poste au LEEI vient de vivre cette expérience. Il a passé six mois chez EDF à Clamart. Réciproquement le CNRS accueille aussi des chercheurs d'autres Etablissements. Ainsi, Frédéric Messine, Maître de Conférences à l'université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA), est-il accueilli en délégation au LEEI.



Un chercheur CNRS chez EDF

Pour réaliser une étude sur l'élaboration d'une bibliothèque d'alternateurs destinés à ses centrales électriques, EDF souhaitait accueillir un chercheur expérimenté dans ses locaux à Clamart. Yvan Lefèvre, chercheur depuis 1989 au LEEI, avait déjà eu des contacts avec les ingénieurs de Clamart. De plus cette étude constituait une application directe de ses travaux centrés sur la modélisation des phénomènes physiques dans les machines électriques. Il a donc été retenu pour intégrer le département "Machines Electriques" du service "Matériels Electriques" de la Direction Recherche et Développement, d'octobre 2000 à mars 2001. Ce type de collaboration représentait une première pour ce département d'EDF. Parfaitement réussie puisqu'ayant rempli ses objectifs, la formule sera sans doute renouvelée et développée.

Cette mise à disposition a permis au LEEI et au centre d'EDF de consolider leurs relations, de faire le point sur leurs thèmes de recherche respectifs et d'envisager d'autres cadres de collaboration, car celle-là reste encore une formule très spécifique et exceptionnelle. Des contacts privilégiés ont été noués. Scientifiquement, Yvan Lefèvre a pu expérimenter des outils informatiques dans un contexte autre que celui du LEEI, enrichissant ainsi sa palette de compétences.

Contact : Yvan Lefèvre
Tél. : 05 61 58 83 59
Yvan.lefevre@leei.enseeiht.fr

Un Maître de Conférences au CNRS

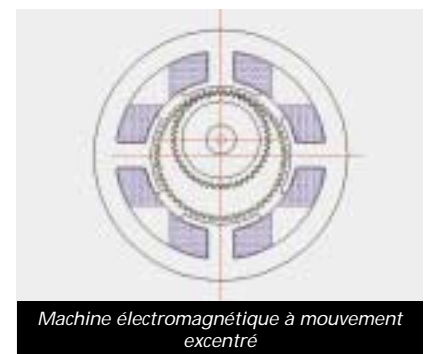
Le groupe EM2 travaille notamment sur de nouveaux types et concepts d'actionneurs, dans un cadre pluri-disciplinaire (cf LEEIInfos n°2). C'est pour ses compétences en

mathématiques appliquées et plus particulièrement en optimisation que Frédéric Messine y est accueilli en délégation. En effet, il faut optimiser le dimensionnement des moteurs, par exemple en minimisant le volume des aimants et en maximisant le couple. L'approche choisie consiste à résoudre un problème dit "inverse" : à partir des valeurs souhaitées (champ, couple...) il faut remonter aux caractéristiques structurelles de l'actionneur.

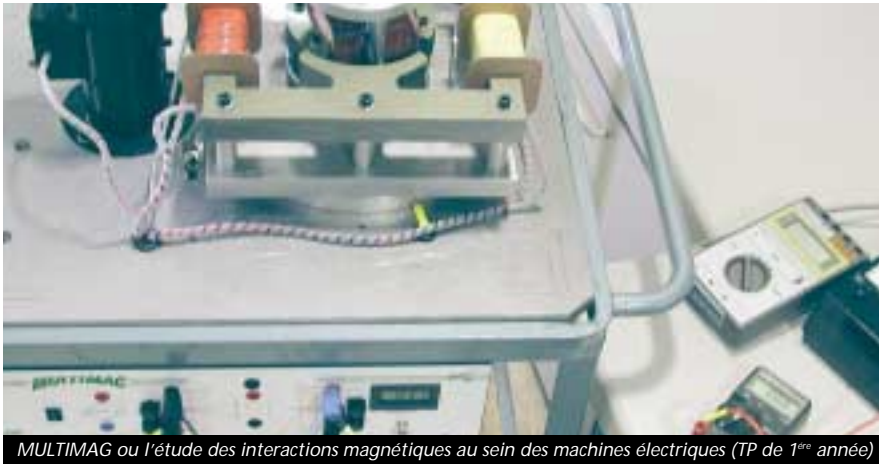
Enseignant/chercheur à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour depuis trois ans, Frédéric Messine a une charge annuelle d'enseignement de 192h, si bien que jusqu'à présent il a été plus "enseignant" que "chercheur". Pour relancer ses projets de recherche, il a souhaité être déchargé d'enseignement pendant un an, afin de pouvoir s'y consacrer totalement.

Convaincue de l'intérêt de cette opération, qui sera même renouvelée, l'UPPA a accepté cette "parenthèse recherche" dans la carrière d'un de ses enseignants/chercheurs. Quant au LEEI, il se félicite de pouvoir associer un mathématicien à ses travaux de recherche.

Contact : Frédéric Messine
Tél. : 05 61 58 83 59
Frederic.Messine@leei.enseeiht.fr



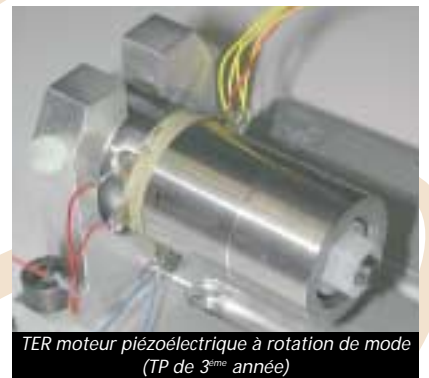
Des principes de l'Electrodynamique aux machines électriques du futur



MULTIMAG ou l'étude des interactions magnétiques au sein des machines électriques (TP de 1^{ère} année)

la conception des machines électriques. Il s'agit de traiter conjointement des aspects thermiques, hydrauliques, mécaniques, magnétiques, électriques et numériques, tout en tenant compte des contraintes de mise en œuvre et des progrès réalisés dans le domaine des matériaux.

Le transfert Recherche-Enseignement est ici fortement exploité grâce à des formules pédagogiques telles que le " projet long ". Un des thèmes proposés en 2001-2002 portera, par exemple, sur un nouveau concept de transmission "électrosensitive" pour claviers d'orgues à tuyaux ; c'est un projet soutenu par la Région Midi-Pyrénées. L'élève est alors confronté aux questions d'actualité, théoriques et pratiques, grâce au support du LEEI et notamment du groupe EM2.



TER moteur piézoélectrique à rotation de mode (TP de 3^{ème} année)

Ainsi, fondé sur une relation étroite entre la théorie et la réalité technologique, le nouvel enseignement proposé doit permettre de former des ingénieurs généralistes, aptes à concevoir et à mettre en œuvre des systèmes d'actionnement électroactifs modernes, du servo-moteur de robotique à la voilure aéronautique "électroactive" du futur.

Contact : Maria David

Tél. : 05 61 58 82 57

Maria.David@leei.enseeiht.fr

Trois articles ont été écrits sur ces enseignements par Bertrand Nogarède pour les Techniques de l'Ingénieur
 1) Machines tournantes : conversion électromécanique de l'énergie - fascicule n° D3410
 2) Machines tournantes : principes et constitutions - fascicule n° D3411
 3) Moteurs piézoélectriques - fascicule n° D3765

Référencé sous le vocable traditionnel d'Electrotechnique, l'enseignement de la conversion électromécanique de l'énergie à l'INPT-ENSEEIHt était principalement consacré, jusqu'à présent, au domaine des machines à "effets magnétiques". Or, les fonctions électromécaniques requises dans les applications modernes subissent une profonde mutation, tant au niveau des technologies utilisables que des applications (aéronautique, automobile...). Les connaissances de base nécessaires pour concevoir ces convertisseurs électromécaniques sont donc profondément bouleversées.

Dès lors, pour répondre à la diversification technologique induite par l'élargissement des besoins "en aval", il s'agit de s'appuyer "en amont" sur une science garantissant le caractère pluridisciplinaire requis. Tel est le propos de l'Electrodynamique qui constitue le cœur des nouveaux enseignements* introduits dans la formation d'ingénieur au Département Génie Electrique et Automatique.

1^{ère} année : à la découverte des principes

Consacrés à l'introduction des principes et lois physiques fondamentales, les enseignements, basés sur une approche thermodynamique, traitent de manière couplée des questions électromagnétiques, thermiques et mécaniques. Le cursus décline de manière assez

exhaustive les différents effets utilisables en conversion électromécanique de l'énergie : machines à effets magnétiques, électriques, à effets de couplage électroélastique, magnétoélastique, thermoélastique, ou exploitant un couplage dans les fluides. Des TP originaux ont été initiés pour les expérimenter, complétés par des démonstrations durant le cours, ainsi qu'un micro-projet au cours duquel les élèves construisent eux-mêmes une machine tournante !

2^{ème} année : de l'analyse à la modélisation

Si l'enseignement des machines a longtemps reposé sur la théorie des circuits, la structure est désormais analysée en détail, à travers une vision locale de type "champ" associée au formalisme introduit en 1^{ère} année. Cela permet d'une part l'obtention de modèles comportementaux, à rapprocher des modèles classiques (schéma équivalent, diagramme), et d'autre part l'élaboration de modèles paramétrés en fonction des caractéristiques physiques de l'objet en vue de sa conception. Là encore, de nouveaux TP viennent illustrer cette vision.

3^{ème} année : le temps de concevoir et d'inventer...

L'option "Electrodynamique et Technologies Nouvelles d'Actionnement" (ETNA) aborde les différents aspects technologiques et méthodologiques mis en jeu au cours de

"Variac killer", boîte secrète de l'électronique de puissance !

Le traitement de l'énergie électrique s'effectue soit à l'aide de dispositifs électrotechniques (transformateurs, contacteurs mécaniques...) soit à l'aide de dispositifs électroniques de puissance. Ces derniers, plus modernes, se sont surtout développés à travers des applications de conversion continu-continu ou continu-alternatif. L'électrotechnique reste le moyen privilégié des conversions alternatif-alternatif, notamment avec des Variac¹. Or une idée issue de la thèse d'Elie Lefeuvre² permet justement d'utiliser l'électronique de puissance dans des conversions alternatif-alternatif, empiétant ainsi sur le domaine traditionnellement réservé aux variacs ! L'originalité réside dans l'emploi de semi-conducteurs classiques, alors que les rares tentatives en la matière reposaient sur des composants spécifiques.



Thierry Meynard, Chargé de Recherche au CNRS, souligne la brièveté de la transition entre l'idée et les applications. Moins de trois ans après l'apparition du concept,

des prototypes industriels existent déjà. Pour assurer le transfert de ce nouveau produit et le valoriser, le LEEI et CIRTEM (Société de Recherche sous Contrat) ont signé un accord en janvier 2000. Christian Saubion, PDG fondateur de CIRTEM, précise que sa mission est double : d'une part aider le LEEI à trouver des partenaires désireux de concevoir des applications avec le "variackiller", d'autre part développer chez CIRTEM, puis de vendre, des produits basés sur ce nouveau dispositif.

Contact : Thierry Meynard

Tél. : 05 61 58 83 58

Thierry.Meynard@leei.enseeiht.fr

1 : autotransformateurs avec curseur de réglage utilisés dans l'industrie depuis plus de 50 ans
2 : thèse soutenue au LEEI le 9 juillet 2001

Magélec 2001 : 13 et 14 Décembre

Le 2^{ème} colloque sur les matériaux électroactifs et leurs applications en génie électrique se tiendra à l'INPT-ENSEEIHТ les 13 et 14 décembre prochains. Il s'adresse aux industriels, chercheurs, enseignants, étudiants...



Le domaine des actionneurs électriques de dimension centimétrique, voire millimétrique, vit une profonde mutation liée notamment aux progrès des matériaux électroactifs (piézoélectriques, magnétostrictifs, etc).

Soumis à des champs électriques ou magnétiques, ces derniers sont capables de produire des forces élevées dans des volumes réduits. Ils sont alors susceptibles de résoudre, entre autres, des problèmes de conversion d'énergie (motorisation d'actionneurs) auxquels les technologies classiques répondent mal. Les domaines d'application sont extrêmement variés : aéronautique et spatial, génie bio-médical (prothèses, micro-chirurgie), automobile (motorisations de confort), horlogerie, domotique, optique (appareils photo, caméras), bureautique (photocopieurs)... Les objectifs du colloque visent à évaluer les besoins, inventorier les progrès des matériaux électroactifs, proposer de nouvelles structures de conversion d'énergie, évaluer les domaines d'application potentiels, examiner les problèmes liés à la mise en œuvre et en particulier ceux concernant les alimentations électroniques et la commande de ces ensembles.

Contact : Bertrand Nogarède

Tél. : 05 61 58 83 38

Bertrand.Nogarede@leei.enseeiht.fr

Pour en savoir plus

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 : Maria David
Maria.David@leei.enseeiht.fr

Tél. : (33) 05 61 58 82 52

Fax : (33) 05 61 63 88 75

www.enseeiht.fr/gea

Adresse postale :
ENSEEIHТ

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 : Smail Chertouk

ISSN en cours

Tous droits réservés.