

> La Région Hauts-De-France prête pour concevoir le « moteur électrique du XXI^e siècle »

EDITORIAL

MEDEE : « Maîtrise énergétique des Entraînements Électriques » ou « Motors and Electrical Devices for Energy Efficiency ». Depuis plus de 10 ans l'ADN du pôle est constitué de projets sur les machines électriques ou les transformateurs innovants.

Même si, récemment, les compétences de la communauté scientifique de MEDEE ont été aussi reconnues dans le domaine des Réseaux Électriques Intelligents, il n'en reste pas moins que travailler sur les « smart grids » nécessite d'abord de résoudre quelques problèmes de Génie Électrique.

Le projet CE2I que nous présentons dans cette « news letter » est un projet très ambitieux, porté par l'Université Lille 1 et le Professeur Betty Lemaire-Semal, au nom de sept autres tutelles de l'ancienne région Nord-Pas-de-Calais et financé dans le cadre du CPER 2015-2020.

Un Convertisseur d'Énergie (CE) Intégré (I) et Intelligent (II) :

Intégré car l'ambition technologique est de concevoir des systèmes de contrôle commande et d'alimentation qui s'intégreront à l'intérieur même des machines... Un enjeu d'efficacité énergétique, de compacité, de tenue à des températures élevées... pour répondre aux nouveaux besoins des industriels, traitant notamment de systèmes embarqués.

Intelligent car l'objectif est de concevoir des machines tolérantes aux pannes, dont le système de commande intégrera des fonctions d'auto-reconfiguration. Comme on disait il y a quelques années à propos de nos voitures : « Marcher sur 3 pattes » vaut mieux que de s'arrêter en rase campagne ! Là encore les applications industrielles sont potentiellement très nombreuses.

De nombreux verrous technologiques sont à lever : des matériaux isolants ou des aciers magnétiques hautes performances à mettre au point, des architectures de convertisseurs à inventer, des dispositifs innovants d'évacuation des calories...

Autant de challenges que la communauté scientifique se propose de relever, ensemble, toutes disciplines confondues. Il s'agit là sans aucun doute d'une grande force de ce projet.

Enfin, la porte est grande ouverte aux industriels, Groupes internationaux ou start-up à la recherche de nouveaux marchés, qui voudraient profiter de CE2I pour proposer leurs innovations : MEDEE saura les accompagner pour développer des projets collaboratifs contribuant à améliorer et enrichir ce que sera le « moteur du XXI^e siècle ».

A très bientôt et « bons courants » à CE2I !

Paul DUCASSE,
Directeur Général
de MEDEE

Entretien avec Betty LEMAIRE-SEMAIL



Professeur en Génie Électrique à l'Université de Lille 1 - Sciences et Technologies depuis 1998, affectée à Polytech'Lille, Betty Lemaire-Semal dirige le Laboratoire d'Électrotechnique et Électronique de Puissance (L2EP) depuis 2015 et coordonne le projet CE2I.

La Région Hauts-de-France prête pour concevoir le « moteur électrique du xxi^e siècle »

La dynamique européenne de la Transition Énergétique et le précédent soutien aux partenaires industriels et académiques du pôle MEDEE, via le Contrat de Plan État Région (CPER) 2007-2013, ont convaincu la Région Nord-Pas-de-Calais d'inscrire la thématique « composants et chaînes électriques courants forts » dans sa « Stratégie de Recherche et d'Innovation - Spécialisation Intelligente 2014-2020 » (SRI-SI). Cette décision favorise le lancement de nouveaux projets R&D collaboratifs sur des financements régionaux, nationaux et européens (FEDER, Fonds Européens de Développement Économique et Régional) dans le domaine du génie électrique.

Le mouvement vers le tout électrique, la souplesse d'utilisation de l'électricité, les gains accessibles en efficacité énergétique amènent de nouveaux sujets sur les machines électriques et les convertisseurs statiques associés (transformateurs, actionneurs électromagnétiques, onduleurs, etc.) et résonnent avec les thématiques du pôle MEDEE.

Des sauts technologiques se profilent grâce à l'apparition de nouveaux composants Semi-Conducteurs à grand gap — SiC, carbure de silicium et GaN, nitrure de gallium — à la nouvelle génération d'isolants organiques et inorganiques, à la naissance d'architectures de contrôle/commande originales et performantes pour les machines polyphasées. Ces évolutions bousculent les contraintes thermiques, mécaniques et d'encombrement actuelles et permettent d'envisager le « moteur électrique du xxi^e siècle », qui intégrera de nouvelles fonctionnalités, tout en respectant un haut niveau de compacité, de modularité et de fiabilité.

C'est à cette problématique que les partenaires, académiques et industriels, du projet **Convertisseur d'Énergie Intégré Intelligent (CE2I)** ont décidé de s'attaquer, au titre du CPER 2015-2020.

Le projet CE2I réunit les acteurs académiques du génie électrique régional pour traiter de front ce problème pluridisciplinaire. Le L2EP – Laboratoire d'Électrotechnique et Électronique de Puissance (Université Lille1, École Centrale, ENSAM, Yncréa-HEI), le LSEE – Laboratoire des Systèmes Electrotechniques et Environnement (Université d'Artois), le LAMIH – Laboratoire Automatique, Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines (Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis) et l'URIA – Unité de Recherche en Informatique et Automatique (Institut Mines-Telecom Lille Douai) sont ainsi les principaux acteurs académiques du projet CE2I. Son objectif est de développer un ensemble intégrant l'actionneur électromagnétique fiable structurellement et fonctionnellement, et le convertisseur statique à base de composants grand gap. L'ensemble devra satisfaire des conditions de compacité, d'éco-efficacité et de modularité pour répondre à une large gamme d'applications exigeantes. La mise en œuvre du projet nécessite le développement d'outils de modélisation et d'optimisation électromagnétique et thermique.

Efficacité énergétique, éco-conception, fonctionnement en mode dégradé, robustesse, masse et encombrement réduits, refroidisseur intégré, Analyse de Cycle de Vie... : voilà les mots-clés de ce projet.

MEDEE

Quelles sont les raisons du projet ?

Betty LEMAIRE-SEMAIL

L'utilisation de l'électricité se déploie de manière de plus en plus importante dans les domaines de la production manufacturière, de la production d'énergie, des transports et de la mobilité. Afin de faciliter la conception d'un système complexe incluant un convertisseur d'énergie électrique, et par là même d'amplifier cette tendance, il est fondamental d'offrir une gamme de convertisseurs « plug and play » assurant toutes les qualités précitées, et capables de s'adapter aux environnements sévères d'utilisation.

Aujourd'hui, les convertisseurs statiques d'énergie demeurent pour la plupart désolidarisés de la machine électrique. Or, réduire le volume des équipements s'avère un enjeu principal pour les acteurs de l'industrie aéronautique, ferroviaire, automobile et de l'éolien. L'objectif de compacité amène cependant la contrainte de proximité et d'intégration des deux éléments — convertisseur statique et machine — avec la limitation thermique à intégrer. L'avènement de composants rapides et haute température, tels les composants en carbure de silicium (SiC) ou en nitrure de gallium (GaN), permet d'aborder maintenant ce problème.

Les domaines de l'aviation, l'éolien, l'hydrolien s'intéressent à la fiabilité structurelle et fonctionnelle des convertisseurs. Ceux-ci doivent garantir la meilleure robustesse, la sûreté en cas d'échauffements et de surintensités ou en cas d'aléas mécaniques. L'ensemble convertisseur-machine continuera de fonctionner en mode dégradé. Il assurera la continuité de service malgré la panne, les avaries... et se reconfigurera sans intervention humaine. Le convertisseur devra s'avérer « intelligent »

MEDEE

Quel est le lien avec la problématique environnementale ?

Betty LEMAIRE-SEMAIL

La Troisième Révolution Industrielle définit l'énergie électrique incontournable par sa souplesse d'utilisation, sa modularité et surtout son faible impact environnemental étant donné qu'il est possible de la produire à partir d'énergies totalement renouvelables. Les entraînements électriques, déjà fortement utilisés dans le secteur industriel, au cœur des préoccupations du pôle MEDEE, ont donc lieu de s'étendre et se déployer sur un maximum d'applications afin de limiter le recours à d'autres énergies qui seraient plus polluantes.

Dans ce contexte, il est fondamental d'accroître l'offre de convertisseurs d'énergie pour en simplifier le choix et l'utilisation en milieu industriel. Favoriser la solution électrique propre contribue aussi au développement durable.

MEDEE

En quoi consiste ce projet, comment est-il organisé ?

Betty LEMAIRE-SEMAIL

Le projet CE2I s'articule autour de sept tâches (elles-mêmes divisées en sous-tâches).

Cette démarche multi-tâches, représentée figure 1, nécessite des approches parallèles.

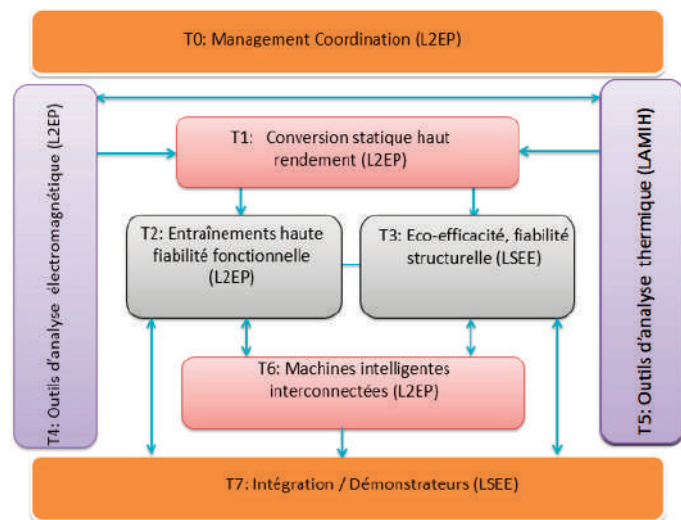


Figure 1 : Organisation scientifique du projet CE2I

Les tâches de développement des éléments du convertisseur (T1, T2, T3), d'interconnexion des convertisseurs (T6) s'articulent avec les tâches T4 et T5 de développement d'outils d'analyses électromagnétique et thermique. Comme objectif final, la réalisation d'un démonstrateur 40 kW est prévue tâche 7.

La tâche 1 concerne le développement d'un convertisseur statique (illustration 1) à forte densité de puissance, haut rendement, utilisant des composants à grand gap et pouvant fonctionner à température élevée.

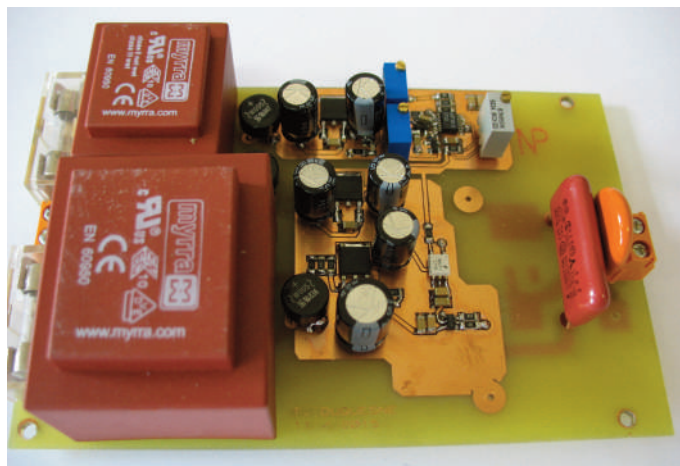


Illustration 1 : Convertisseur à base de transistor GaN – Institut Électronique Microélectronique et Nanotechnologie

Les tâches 2 et 3 (illustrations 2 et 3) sont focalisées respectivement sur le développement de machines polyphasées, tolérantes aux pannes, et sur celui de machines haute température, à masse réduite et structurellement fiables.

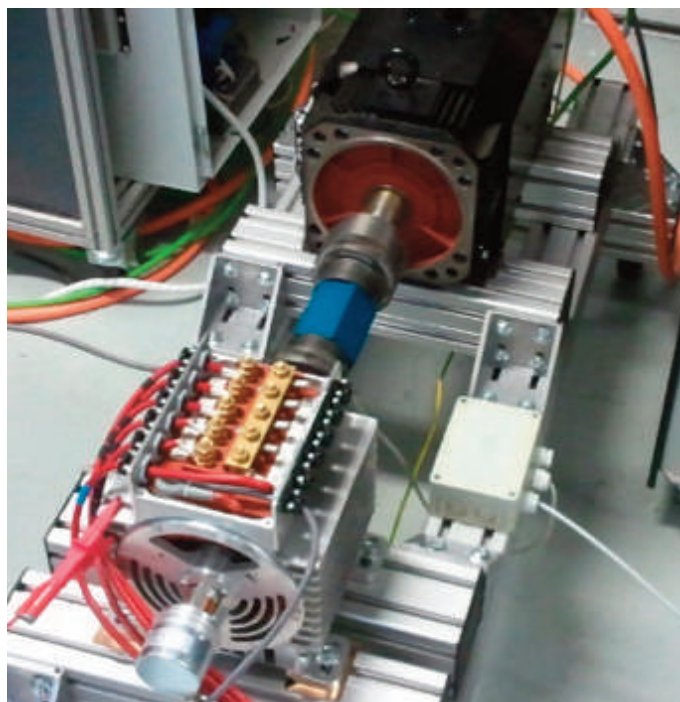


Illustration 2 : Prototype d'une machine à 5 phases à aimants permanents - L2EP



Illustration 3 : Bobines à isolant plat anodisé - LSEE

Les tâches 4 et 5 développent des outils de modélisation numérique dans les domaines électromagnétique et thermique (illustrations 4, 5, 6) qui seront appliqués aux prototypes réalisés dans le cadre du projet. La phase d'optimisation sera également traitée, ainsi que le couplage entre les deux domaines.

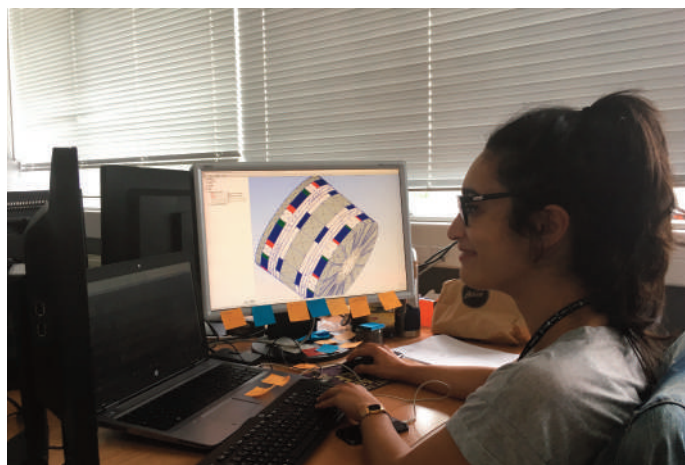


Illustration 4 : Modélisation machine - LSEE

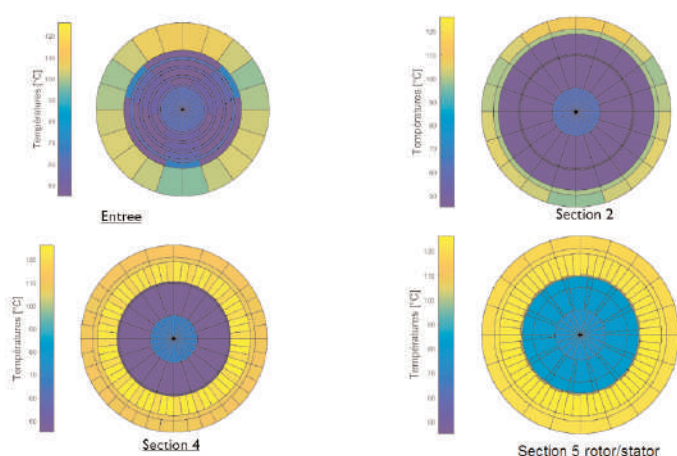


Illustration 6 : Cartographie thermique de la machine obtenue à l'aide du code SAME (Simulation Aérothermique des Machines Électriques) - LAMIH

Le projet s'étend sur la période 2015-2020 et sans doute un peu au-delà. Il fait travailler des enseignants-chercheurs et chercheurs permanents des établissements universitaires partenaires, ainsi que des chercheurs et ingénieurs recrutés sur les fonds dédiés du CPER ou par les partenaires industriels. Hors les réunions informelles d'échanges entre les intervenants des différentes tâches, deux comités de suivi scientifique ont lieu chaque année, ainsi qu'un comité de pilotage institutionnel. Ces réunions sont l'occasion de vérifier l'avancée du projet selon les livrables intermédiaires et les indicateurs, et de planifier les futures actions et demandes de financement.

MEDEE

Quels sont les résultats et les impacts attendus ?

Betty LEMAIRE-SEMAIL

Les résultats attendus sur les plans scientifique et technique sont nombreux. Même avec une finalité appliquée, le projet comporte de nombreux challenges scientifiques qui pourront être traités grâce à la synergie créée entre les différents partenaires. Des questions encore non résolues telles l'intégration de systèmes de refroidissement simultané pour l'électronique et la machine, la poursuite du fonctionnement en environnement dégradé et contraint thermiquement, la propreté électromagnétique des convertisseurs malgré la haute fréquence de fonctionnement, l'utilisation d'isolants haute température, etc. pourront donner lieu à des diffusions scientifiques ou à des dépôts de brevets.

Le projet CE2I impactera les niveaux économique, sociétal et territorial.

D'un point de vue économique, outre le renforcement partenarial des entreprises et des laboratoires du pôle MEDEE, ce projet sollicitera la participation

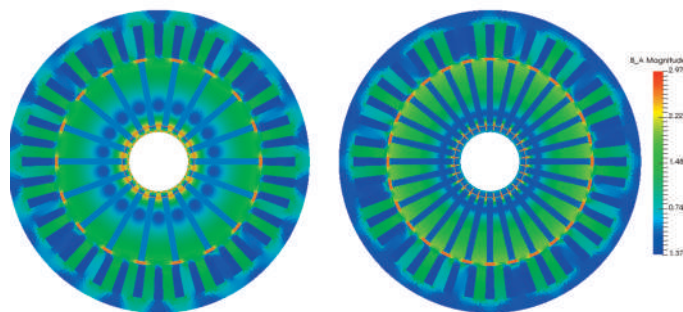


Illustration 5 : Induction magnétique dans la machine modélisée sous le code calcul code_Carmel¹ - L2EP

d'investissements de PME high-tech. Le réseau de compétences régionales facilitera l'implantation de start-up. Le projet CE2I établira des qualifications machines, homologuera les dispositifs et ainsi créera de nouvelles normes étiquetées « éco-efficaces ».

Les retombées économiques industrielles sont attendues dans les budgets des activités exploitation/maintenance et travaux neufs. En effet, les acteurs académiques et industriels de ce projet visent à concevoir un convertisseur type « plug and play ». Cet outil « clé en main », se déclinera en différentes puissances selon les applications ciblées. Intégrer ce convertisseur d'énergie dans un processus industriel, dépourvu à son origine ou difficile d'accès (hydrolienne), offre un meilleur rendement énergétique, une flexibilité de fonctionnement et une continuité de service intrinsèque.

Afin d'améliorer la part renouvelable du mix électrique, les sources de production d'énergie décentralisées augmentent. La mutation de notre paysage énergétique sollicite davantage les convertisseurs d'énergie. Avec ce convertisseur intelligent, robuste, la production d'énergie électrique à partir d'énergie renouvelable pourra tirer partie de cette famille de convertisseurs.

Des gains en puissance massique, en consommation sont attendus dans les milieux automobile, ferroviaire, avionique. La généralisation des motorisations hybrides ou des nouvelles technologies des réseaux électriques embarqués réduira le coût carbone. Les systèmes de production d'énergie renouvelable progresseront significativement en coût de conception, d'installation et gain en efficacité énergétique. Enfin, la baisse de la production d'énergie fossile améliorera la qualité de notre environnement.

En matière de développement territorial, la région favorisera la participation de PME et d'investissements high-tech : un avantage certain pour créer un réseau de compétences régionales et faciliter l'implantation de start-up sur le thème des convertisseurs d'énergie.

MEDEE

Quelles sont les cibles industrielles ?

Betty LEMAIRE-SEMAIL

Par nature, ce projet répond aux problématiques de réduction de masse et d'encombrement des systèmes embarqués — aérospatiale — de production d'énergie renouvelable — éolienne, hydrolienne — de changements de technologies, de mobilité électrique — équipementiers automobiles, véhicules hybrides, transports ferroviaires, maritimes - et de fiabilité des process industriels — continuité de service.

¹ Code Avancé de Recherche en Modélisation Électromagnétique.

MEDEE

Quel est le positionnement de ce projet, en France et à l'international ?

Betty LEMAIRE-SEMAIL

La démarche originale de ce projet repose sur l'implication simultanée de plusieurs compétences académiques et industrielles au sein d'un même consortium. L'ensemble du projet s'appuie sur quatre laboratoires de MEDEE — sept établissements d'enseignement supérieur et de recherche — en électrotechnique, électronique de puissance, thermique, informatique et automatique. La force de ce rassemblement réside dans sa complémentarité fondamentale et la volonté des équipes de recherche de collaborer en région Nord-Pas-de-Calais.

Porteur du projet, le Laboratoire d'Électrotechnique et d'Électronique de Puissance (L2EP) étudie, conçoit, réalise les convertisseurs statiques, développe des modèles numériques et méthodologiques efficaces, conçoit des machines tolérantes aux pannes, aborde l'aspect interconnexion des machines électriques et ainsi valide la fiabilité fonctionnelle du projet CE2I.

Le Laboratoire de Systèmes Électrotechniques et Environnement (LSEE) apporte ses compétences sur la conception de machines électriques éco-efficaces. Il adapte les matériaux magnétiques et diélectriques aux nouvelles contraintes induites par les composants rapides. Le LSEE définit la fiabilité structurelle.

L'Unité de Recherche en Informatique et Automatique (URIA) s'implique dans l'analyse de données du convertisseur de puissance pour établir son diagnostic en temps réel.

Le Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines (LAMIH) — couvre les compétences en thermique et technologies de refroidissement.

Différents projets européens et américains existent sur le sujet ; ce qui confirme l'actualité et la pertinence de la problématique économique et scientifique. Projet bénéficiant d'une programmation plus longue (5 ans de R&D), CE2I présente la particularité d'intégrer, en même temps, l'ensemble des contraintes — thermique, fiabilité fonctionnelle, structurelle, éco-efficacité, CEM, interconnexion — dans le processus de conception de ces convertisseurs d'énergie. Dans chaque tâche, les dernières avancées scientifiques au niveau international seront éprouvées de manière à optimiser les performances du dispositif final.

MEDEE

Quels sont les intérêts pour un industriel de participer au projet ?

Betty LEMAIRE-SEMAIL

Une vitrine à la fois pour les industriels impliqués et le monde de la recherche : pas seulement...

Le monde industriel disposera d'un benchmark accessible, synonyme de montée en compétences techniques. Ce projet portera les entreprises à répondre

à des appels à projet sur cette thématique « convertisseur d'énergie intégré intelligent ».

Les industries, adhérentes au pôle MEDEE, bénéficieront de la compétence des académiques de la région Hauts-de-France à travers ce démonstrateur sur les questions de consommation, fiabilité, émission électromagnétique. Les futurs partenaires découvriront le savoir-faire de la communauté scientifique du Nord de la France.

MEDEE

Quel est le budget du projet ?

Betty LEMAIRE-SEMAIL

Le projet CE2I nécessite des ressources matérielles et humaines importantes. Sur l'ensemble du projet, la participation d'une cinquantaine de post-doctorants, ingénieurs d'étude ou recherche et vingt à trente doctorants (hors budget CE2I) est nécessaire. Une trentaine de chercheurs permanents provenant des sept établissements concernés sont également impliqués dans le projet.

Le coût global de CE2I se chiffre à 11 millions d'euros. L'État — D2RT, Délégation Régionale à la Recherche et à la Technologie — et la Région Hauts-de-France — Direction Recherche, Enseignement Supérieur, Santé - budgétisent le projet CE2I à hauteur de 4,6 millions d'euros. Le solde est porté par le FEDER, les partenaires industriels¹ et les établissements de tutelle sur leur fond propre.

MEDEE

Quelles collaborations nationales et internationales sont envisagées ?

Betty LEMAIRE-SEMAIL

D'un point de vue national :

- Les attentes des équipementiers automobiles, ferroviaires, du secteur aérospatial structurent le projet CE2I. Cet ancrage industriel dirige les axes opérationnels et intermédiaires de la recherche appliquée. Les adhérents industriels au pôle MEDEE peuvent accompagner une ou des parties du projet CE2I.
- Des associations avec des laboratoires régionaux — l'Institut d'Électronique de Microélectronique et de Nanotechnologie, le laboratoire de mathématiques Paul Painlevé — apportent une expertise identifiée sur une tâche du projet. D'autres laboratoires régionaux pourront être impliqués ponctuellement afin d'injecter des compétences spécifiques.

A l'international :

- Des collaborations sont en cours les universités de Sherbrooke (LN2, Laboratoire Nanotechnologies et Nanosystèmes au Canada) et d'Eindhoven (École polytechnique aux Pays-Bas) et sont prévues avec l'université de Gand (UGent, Belgique) pour introduire des savoir-faire extérieurs sur différentes parties du projet.

¹En cohérence avec les sujets de recherche dans les challenges industriels, sept industriels ont signé une lettre de soutien : Jeumont Electric, Auxel, Thales Alenia, EDF, ThyssenKrupp, Valeo, Safran.

Présentation du L2EP

Laboratoire d'Électrotechnique et d'Électronique de Puissance

Le laboratoire L2EP naît, en 1989, de la volonté de 4 établissements partenaires : l'Université de Lille 1 - Sciences et Technologies, Arts et Métiers ParisTech - Campus de Lille, l'École Centrale de Lille et l'École Hautes Études d'Ingénieur (Yncréa-HEI). Il regroupe, à Lille, au sein d'un même laboratoire toutes les activités de Recherche et Développement inhérentes en Génie Électrique.

Rayonnant à l'international avec des collaborations universitaires étrangères (Université de Toronto - Canada, Harbin Institute of Technology - Chine, l'École Polytechnique de Turin - Italie...), le L2EP est constitué de 4 équipes complémentaires dont les travaux gravitent autour de la commande des systèmes électriques, l'électronique de puissance, la modélisation électromagnétique, l'optimisation des dispositifs électriques et les réseaux électriques. Aujourd'hui 107 personnes en qualité d'enseignants-chercheurs, personnels IATOS, doctorants, personnels non titulaires constituent le laboratoire.

Le L2EP, acteur du pôle MEDEE, exerce une activité de recherche collaborative avec les laboratoires (LSEE, LAMIH, IEMN, CRISIAL, IRCICA, LEC...), partenariale avec les industriels, PME et grands groupes du pôle (Jeumont Electric, Safran, Alstom Transport, Engie Green, Auxel...). En outre, EDF est associé à CE2I notamment à travers le LAMEL - Laboratoire de Modélisation de Matériel Électrique - laboratoire commun avec le L2EP.

Il apporte également son expertise au réseau scientifique national MEGEVH (Modélisation Énergétique et Gestion d'Énergie des Véhicules Hybrides) au réseau RT3 (Recherche Technologique sur les Transports Terrestres) du Ministère de la Recherche. Le L2EP a intégré l'Institut Carnot ARTS (Actions de Recherche pour la Technologie et la Société), dispositif national en réponse au développement des transferts de technologies et promotion de l'innovation.

Le L2EP, lauréat du Trophée INPI (Institut National de la Propriété Industrielle) de l'Innovation 2012, regroupe les activités de recherche en génie électrique sur les courants forts et les convertisseurs d'énergie.

En 2014, Le L2EP et EDF R&D ont signé un accord cadre de recherche sur le thème des systèmes électriques intelligents axé sur la production d'électricité décentralisée dans les systèmes électriques de demain.

En janvier 2017, le L2EP et le Réseau de Transport d'Électricité ont signé un contrat cadre — engagement commun sur un programme scientifique de cinq ans — afin de poursuivre leurs investigations sur la pénétration de l'électronique de puissance dans les réseaux. Trois projets européens (Twenties, Bestpath, Migrate) et une collaboration sur le projet « Powergrid Campus Lille » constituent les compléments formalisés par ce contrat et travaux de recherche associés.

Contact MEDEE :

Paul DUCASSE
Directeur Général MEDEE
ducasse@pole-medee.com
Tél. : 00 33 320 99 46 37
Mobile : 00 33 682 57 87 37



Avec le soutien financier de

