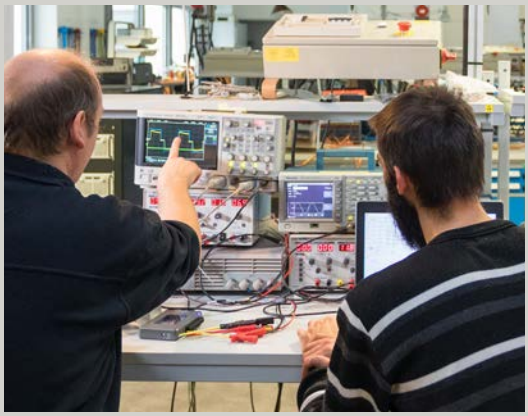
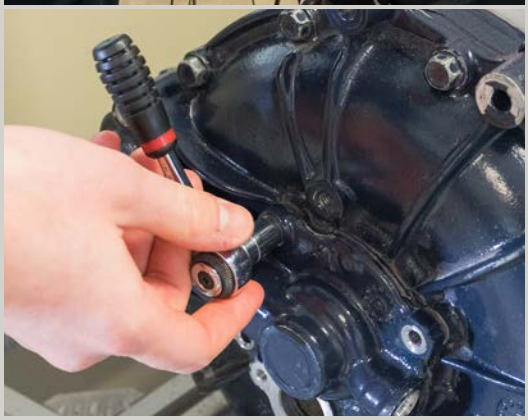
G2Elab

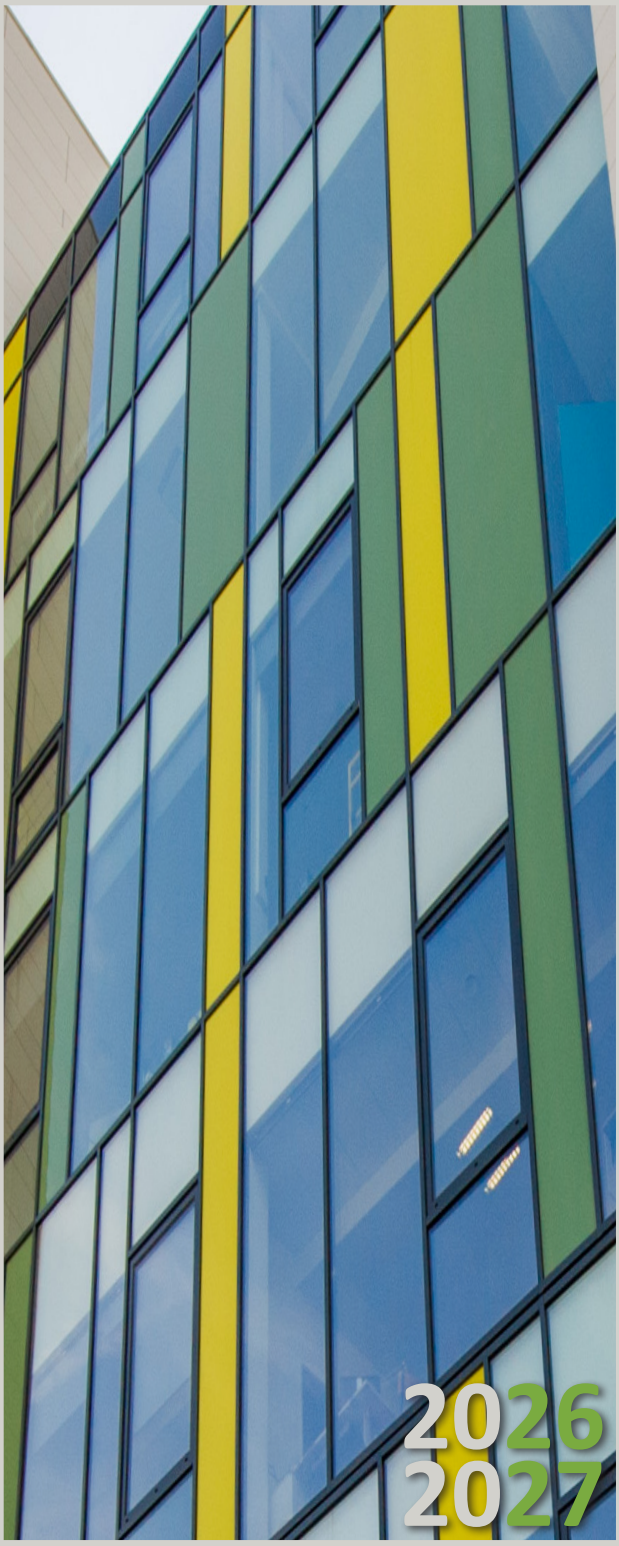
Laboratoire de Génie Électrique de Grenoble

Grenoble Génie Électrique
Grenoble Electrical Engineering

LIVRET DES STAGES
GRADUATE INTERNSHIPS







2026
2027

G2Elab :

laboratoire de génie électrique de Grenoble

La transformation du système énergétique pour atteindre les objectifs de décarbonation va nécessiter un doublement de la consommation électrique d'ici 2050. C'est dans ce contexte très stimulant que se place l'activité du **laboratoire de Génie Electrique de Grenoble**.

Il couvre l'ensemble du spectre du génie électrique, des matériaux aux systèmes, des actionneurs aux procédés, des micro systèmes aux grands réseaux d'énergie, de la production aux usages de l'énergie électrique. Ces sujets peuvent être abordés sous plusieurs angles, pour enrichir nos connaissances ou proposer de nouveaux concepts, produire des ruptures technologiques innovantes ou étudier les dynamiques sociotechniques qui se jouent dans la transformation du système énergétique.

Pour répondre aux défis de la recherche, le laboratoire est structuré en 5 équipes de recherche capables de capitaliser les connaissances et de valoriser leur savoir-faire :

Électronique de puissance (EP)

L'équipe EP a pour objectif de développer des technologies de conversion statique au carrefour des performances, de l'industrialisation et de la soutenabilité.

L'activité de recherche s'appuie sur des travaux de conceptualisation, modélisation et simulation, étayés par de la caractérisation et du prototypage.

Elle ambitionne de répondre aux défis sociétaux et environnementaux à travers l'augmentation des performances, l'amélioration des processus de conception et la réduction des impacts environnementaux.

Matériaux, machines et dispositifs électromagnétiques avancés (MADEA)

L'équipe MADEA développe des travaux pluridisciplinaires dont les objectifs sont de concevoir et réaliser des dispositifs électromagnétiques innovants dépassant les limites des dispositifs actuels.

Pour y parvenir, les membres de l'équipe partagent une culture scientifique commune et forte qui repose sur une connaissance des matériaux et de leurs potentiels applicatifs, la compréhension des champs électromagnétiques et de leurs effets des petites aux grandes échelles, ainsi qu'une pratique des comportements multi-physiques.

L'équipe est internationalement reconnue pour ses activités dans les domaines des matériaux magnétiques et des supraconducteurs

Modèles, méthodes et méthodologies appliqués au génie électrique (MAGE)

L'équipe MAGE développe des travaux de recherche autour de la modélisation, de l'optimisation et plus largement de la conception des composants et des systèmes du génie électrique. Ses objectifs scientifiques sont d'étendre les capacités de modélisation des dispositifs électromagnétiques et systèmes électriques, d'aider à leur expertise, à leur conception, à leur gestion énergétique, avec et pour les acteurs humains.

Ses recherches s'appuient sur une démarche méthodologique autour de la modélisation électromagnétique, de la modélisation multi-niveaux et multi-physiques, de l'ingénierie des modèles, de la conception et la gestion énergétique optimale mono et multi-acteurs, des méthodes d'optimisation.

Matériaux diélectriques et électrostatiques (MDE)

L'équipe MDE se consacre à l'étude des phénomènes induits par le champ électrique dans les matériaux diélectriques, ainsi qu'à leurs implications dans les systèmes d'isolation électrique et dispositifs électrostatiques innovants.

Ses recherches sont guidées par une double préoccupation : répondre à des aspects pratiques liés au transport, à la conversion et au stockage d'énergie électrique et accroître le champ de la connaissance liée à la conduction, à la polarisation, aux phénomènes de décharge, au claquage, et au vieillissement multi-physique.

Systèmes et réseaux électriques (SYREL)

L'équipe SYREL s'intéresse à l'évolution, l'optimisation et au pilotage des systèmes et réseaux électriques avec une ouverture vers les systèmes multi énergie. Toutes les échelles temporelles (de la stabilité transitoire à la planification long-terme) et spatiales (du micro-grid à la plaque continentale) sont concernées.

Les recherches se situent dans le contexte d'une transition énergétique soutenable et concernent les grands enjeux de décarbonation, digitalisation et décentralisation.

Liste des offres - *list of internships*

Électronique de puissance (EP)

1 | Solid State Tranformer (SST)

2 | Règles d'affectation et impacts du sur-système sur l'évaluation environnementale en EP

3 | Étude et réalisation d'un convertisseur d'électronique de puissance pour véhicule agricole léger

4 | Étude et optimisation des interconnexions des bus DC en techno PCB

5 | Étude et mise en situation d'une carte de puissance conçue en vue du diagnostic et de la réparation

6 | Apports de la partie contrôle-commande pour réduire l'impact environnemental de l'électronique de puissance

7 | Refroidir plus, vieillir moins ? Étude expérimentale de la fiabilité des convertisseurs refroidis par air

(EN) Cool more, age less? An experimental study of the reliability of air-cooled power converters

8 | Prise en compte de la CEM dans les microgrids DC

(EN) EMC study of DC microgrids

9 | Caractérisation et validation expérimentale d'un convertisseur AC/DC isolé monoétage à base de transistors GaN

(EN) Experimental Characterization and Validation of a Single-Stage Isolated AC/DC Converter Based on GaN Transistors

10 | Communication par courants porteurs en ligne dans les convertisseurs d'électronique de puissance modulaires

11 | Développement d'une alimentation de gate driver à transformateur *coreless* pour applications de conversion de puissance à haute température

Matériaux, machines et dispositifs électromagnétiques avancés (MADEA)

1 | Analysis of the inhomogeneous dissipation of High Temperature Superconductor tape using bubbling imaging

2 | Développement d'un banc de caractérisation magnétique pour les matériaux de l'électronique de puissance du futur

3 | Étude exploratoire d'une machine à forte densité de couple et à stator modulaire pour la petite mobilité : conception orientée robustesse et réparabilité

4 | Développement d'un banc de caractérisation des matériaux multi-ferroïques à effets magnétoélectriques

Modèles, méthodes et méthodologies appliqués au génie électrique (MAGE)

1 | Capteur innovant sans contact pour la mesure de courants en conducteurs multiples

2 | Détermination du potentiel de flexibilité de GreEn-ER

(EN) Determining the Flexibility Potential of GreEn-ER

3 | Développement logiciel open source embarqué d'un jumeau numérique pour système en autoconsommation PV+batterie

4 | Méthodologie d'aide à la décision multi-critères avec modélisation dynamique des préférences et optimisation socio-technique

5 | Définition d'une bibliothèque de modèles de systèmes multi-énergies pour la constitution d'un benchmark de dimensionnement à l'échelle quartier

(EN) Definition of a library of multi-energy system models for the development of a neighborhood-scale design benchmark

6 | Discrétisation adaptative spatio-temporelle pour la modélisation numérique des systèmes électromagnétiques non linéaires : application aux supraconducteurs

7 | Spécification et développement de la plateforme COFFEE pour la mise en ligne de cas d'étude énergétiques

(EN) Specification and Development of the COFFEE Platform for Publishing Energy Case Studies Online

8 | Modélisation multi-échelle non Linéaire des composites magnétiques avec MFEM

9 | Essor des besoins énergétiques de l'Intelligence Artificielle au regard de l'électrification de l'industrie : de la situation actuelle aux perspectives dans un cadre de nécessité de transition décarbonée soutenable

10 | Méthode des éléments virtuels pour la modélisation magnétomécanique

11 | Contribution aux développements et études pour la prédiction du CRM des navires

MATÉRIAUX DIÉLECTRIQUES ET ÉLECTROSTATIQUES (MDE)

1 | Electrical Discharges and Surface Potential Decay in Graphene Based Polypropylene Nanocomposites for Sustainable Electrical Insulation

2 | État de l'art des recherches en Génie Electrique dédiées aux enjeux de transitions : identification d'éventuelles lacunes eu égard aux quatre scénarios de l'ADEME

SYSTÈMES ET RÉSEAUX ÉLECTRIQUES (SYREL)

1 | Optimisation de la participation des centrales nucléaires aux marchés spot de l'énergie sous contraintes opérationnelles

2 | Technologies de communication pour la coordination des ressources énergétiques décentralisées (RED) dans les réseaux basse tension

(EN) Communication Technologies for DER Coordination in low voltage Grids

3 | Évaluation de l'intégration des MVDC dans les réseaux de distribution selon des critères de planification et de stabilité

(EN) Evaluation of MVDC Integration in Distribution Grids under Planning and Stability Criteria

4 | Intégration de critères environnementaux dans la planification à long terme des réseaux de distribution

(EN) Integrating Environmental Criteria into Long-Term Distribution Grid Planning

5 | Méthodes et outils pour animer la démocratie énergétique au sein d'une opération d'autoconsommation collective

PÔLE TECHNIQUE MUTUALISÉ DU LABORATOIRE

1 | Refonte de l'application de gestion des machines en réseau « GMR » sous CodeIgniter 4
2 | Création d'un objet connecté sur le monitoring de confort avec nudge intégré
3 | Développement d'une plateforme de simulation en temps réel (Hardware-in-the-Loop) sur FPGA pour le prototypage rapide de convertisseurs de puissance innovants
4 | Développement logiciel pour contrôle d'instruments

Stage de fin d'étude
M2

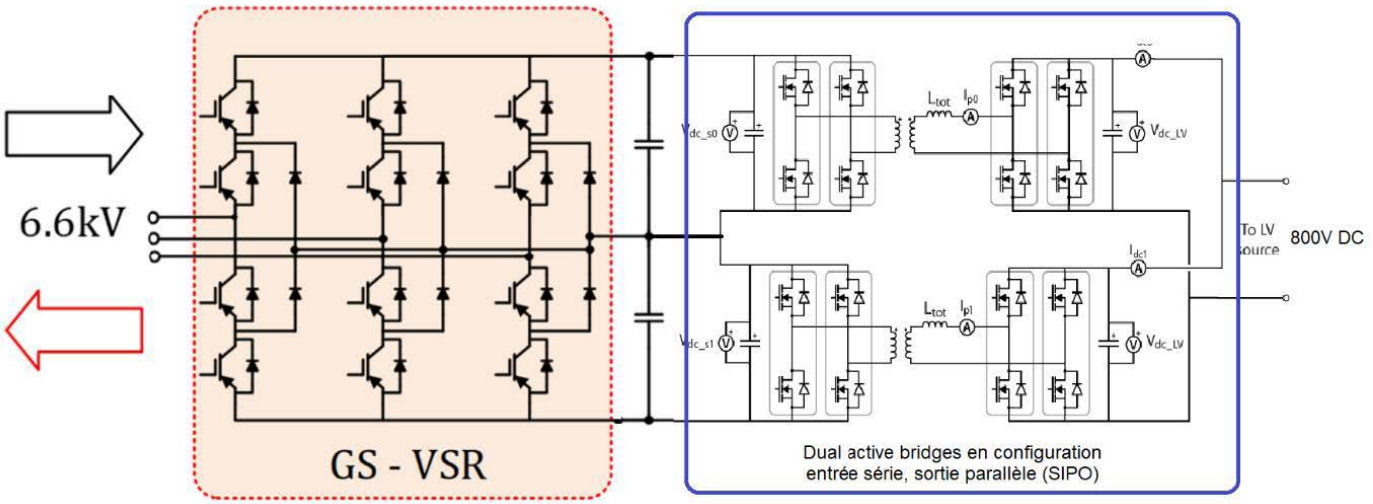
Solid State Tranformer (SST)

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :
Actuellement, le développement des microgrids DC, mais aussi des applications de type Datacenter, nécessite le développement de capacités permettant d'alimenter des réseaux Basse tension DC à partir de réseau HTA AC.
De fait, il est nécessaire de concevoir un convertisseur permettant à la fois d'isoler les réseaux, abaisser la tension et réaliser une conversion AC/DC.
Avec le développement des applications modulaires, une solution qui s'est développée est celle du SST. Ce système se compose de convertisseurs AC/DC connectés avec des systèmes DC/DC isolés appelés DAB (Dual Active Bridge).
L'architecture peut reposer sur une solution à deux étages de conversion comme présenté ci-dessous ou bien monoétages. L'étage AC/DC étant intégré dans le DAB.

Objectifs :
L'objet du stage est d'étudier les structures de type SST.
- Une première version reposera sur une association d'un onduleur multi-niveau de type NPC avec des convertisseurs DAB. Il s'agit d'une extrapolation d'une solution développée dans le cadre de la thèse de Nisith BHOWMICK.
- Une deuxième version, utilisera des associations de structure DAB équipées d'un étage matriciel sur les entrées AC.

Afin d'assurer la tenue en tension, les convertisseurs DAB seront associés en série du côté haute tension et en parallèle du côté basse tension.
Le schéma de principe est le suivant :



L’objectif sera d’étudier :

- Le fonctionnement du DAB ;
- L’association de plusieurs DAB en mode entrée série, sortie parallèle (SIPO).
- L’adaptation de ces blocs pour s’interconnecter avec une entrée AC. Cela pourra se faire en
- S’interconnectant avec un onduleur multiniveaux de type NPC ou autres avec un nombre de niveaux supérieurs à 3 ;
- Adaptant l’étage d’entrée des DAB et leur commande pour accepter des tensions alternatives.
- L’objectif sera de comparer les différentes solutions entre elles du point de vue du dimensionnement des composants, des performances CEM et des pertes.

Travaux attendus :

- Étude bibliographique ;
- Étude en simulation des différentes solutions ;
- Développement des lois de commande assurant les transferts de puissance et les équilibrages de contraintes entre les cellules ;
- Test sur système HIL (Hardware in the Loop) pour vérifier le fonctionnement de la commande;
- Dimensionnement et test d’un prototype.

Encadrement :

David Frey, Enseignant-chercheur - UGA, G2Elab (équipe EP)

Contact :

david.frey@g2elab.grenoble-inp.fr

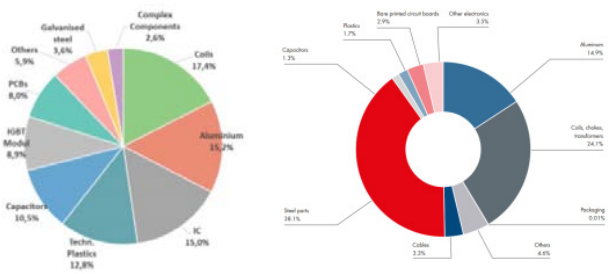
Stage de fin d'étude
M2

Règles d'affectation et impacts du sur-système sur l'évaluation environnementale en EP

Date : de mars à août 2027 (interruption les deux premières semaines d'août)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :
L'évaluation environnementale commence à être prise en compte dans la conception des systèmes de conversion pour en minimiser les impacts environnementaux. Toutefois, les nombreux travaux menés se heurtent tous au fait qu'ils s'inscrivent dans un tout plus grand, qu'il n'est pas facile de prendre en considération. Ainsi, le composant influence et est influencé par le convertisseur, le convertisseur influence et est influencé par le système électrique dans lequel il est intégré et le système électrique influence et est influencé par le produit dans lequel il est introduit. Le stage vise à étudier comment prendre en compte les aspects sur-systèmes (niveau supérieur) dans l'évaluation environnementale d'un système (niveau inférieur). Un aspect particulier de la problématique consiste à étudier comment définir les règles d'affectation dans le cadre des modélisations de l'économie circulaire, et en particulier la réparation et le reconditionnement mise en œuvre à n'importe quel niveau du composant jusqu'au produit.

Objectif :
Avec pour cas d'application la mobilité intermédiaire électrique, inférieure ou égale à 2kW, le stage vise en particulier à contribuer aux travaux de thèse en cours sur le développement de modèles d'inventaire paramétrique en électronique de puissance, dans la perspective de mener une évaluation environnementale la plus poussée pour infléchir les choix de conception.
En prenant en compte les « interactions » avec le sur-système, le stage apportera un ensemble de règles pour coupler l'évaluation environnementale d'un composant, convertisseur, etc.. avec « son environnement ».



Evaluation environnementale d'un convertisseur d'EP en mettant en avant la part des composants magnétiques.

Composants magnétiques à inventorier puis évaluer d'un point de vue environnemental.

Le stage est avant tout un travail de modélisation environnementale, avec la prise en main des techniques dans le contexte de l'électronique de puissance. Il est concret à travers un exemple actuel, mais ne permet pas d'aller jusqu'à la réalisation d'un prototype. Le caractère expérimental se situe au niveau de la prise en compte et de la caractérisation selon le besoin d'objets concrets. Le livrable du projet doit permettre de guider le concepteur en EP dans la prise en compte des impacts environnementaux dans ses choix de conception.

Encadrement :
Thibault Abry, chercheur - G2Elab (équipe EP)
André Andreta, enseignant-chercheur - UGA, G2Elab (équipe EP)
Jean-Christophe Crébier, chercheur - CNRS, G2Elab (équipe EP)

Contacts :
thibault.abry@g2elab.grenoble-inp.fr
andre.andreta@g2elab.grenoble-inp.fr
jean-christophe.crebier@g2elab.grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Étude et réalisation d'un convertisseur d'électronique de puissance pour véhicule agricole léger

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble
Mots-clés : électronique de puissance, conception, prototypage

Contexte :
L'électronique de puissance profite d'une dynamique de croissance liée à l'électrification des usages dans notre société. Cependant, cette tendance à la hausse de l'utilisation de l'électronique de puissance a pour effet l'augmentation des déchets de type EEE (Equipements Electriques et Electroniques) et les prédictions ne semblent pas être à la baisse (Global E-waste monitor : https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2024/12/GEM_2024_FR_28_NOV-web.pdf).

Dans ce contexte d'augmentation des déchets, des scénarios comme la réparabilité sont mis en place dans la phase de conception des convertisseurs afin d'allonger leur durée de vie. Cependant, la réparabilité avec une diagnosticabilité sous-jacente vont de paire avec une dégradation substantielle des performances traditionnelles de l'électronique de puissance : rendement, compacité et coût.
Le défi pour le concepteur en électronique de puissance, dans ce contexte de la conception pour la réparabilité est donc de trouver des compromis techniques.

Objectif :
Dans le cadre de la thèse de Marion ROZEC, un objet d'étude a été identifié : véhicule agricole léger pour la récolte de plantes aromatiques. Le développement et la fabrication du véhicule est co-porté par les utilisateurs eux-mêmes (paysans, paysanes) et l'Atelier Paysan (https://www.latelierpaysan.org/) qui travaillent ensemble sur les solutions « adaptées » aux milieux et aux territoires en ayant pour objectif global d'augmenter l'autonomie technique des paysan.ne.s. Ceci passe, par exemple, par des solutions mécaniques de type « mécano-soudées » avec un niveau de savoir-faire adapté aux pratiques néophytes moyennant une formation à l'Atelier Paysan.
L'électrification de ce véhicule n'étant pas une nécessité absolue pour les paysans, les raisons de l'électrification pouvant être différentes d'une exploitation à une autre, le défi de conception de l'électrification sera d'être adaptée aux différents usages et aux différents moyens de réparation. Dans ce stage, la solution d'électrification ne portera pas sur le système global

Travaux attendus :
- Analyse bibliographique des outils et méthodes de conception pour la réparabilité et spécifiquement en électronique de puissance
- Choix d'une topologie d'électronique de puissance adaptée aux contraintes socio-techniques
- Dimensionnement de la topologie (calculs des éléments, estimation des performances techniques, respect de contraintes globales)
- Simulations numériques pour valider le fonctionnement et les performances

- Prototypage (schéma et routage puis réalisation d'un ou plusieurs prototypes)

Encadrement :
Marion Rozec, doctorante - G2Elab (équipe EP)
Pierre Lefranc, maître de conférences - Grenoble-INP, G2Elab (équipe EP)
Florentin Salomez, chargé de recherche - CNRS, G2Elab (équipe EP)

Contacts :
marion.rozec@grenoble-inp.fr
pierre.lefranc@g2elab.grenoble-inp.fr
florentin.salomez@g2elab.grenoble-inp.fr

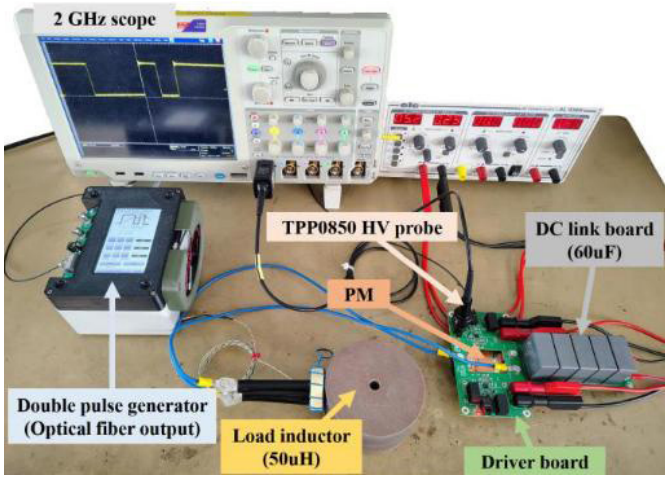
Stage de fin d'étude
M2

Étude et optimisation des interconnexions des bus DC en techno PCB

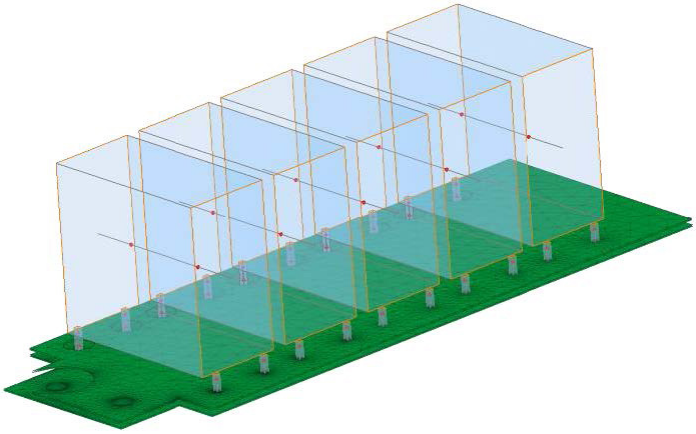
Date : mars à août 2027 (interruption les deux premières semaines d'août)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :
Le stage a pour objet le développement de règles et/ou d'une méthode de routage efficaces et ultimes des interconnexions PCB entre les condensateurs de découplage du bus DC et les modules de puissance et cellules de commutation en électronique de puissance. Plus que jamais d'actualité avec l'introduction des composants à grand gap pour réduire les oscillations et maximiser l'apport de ces composants en terme de dynamiques et de performances, ce sujet est le fruit d'un constat récent, mené dans le cadre d'un projet Européen qui s'est terminé récemment. Il a permis de mettre en évidence la nécessité d'approfondir ce problème de conception et de routage en électronique de puissance.
Le sujet de stage, à cheval entre modélisations numériques et caractérisations expérimentales sur des prototypes, vise à identifier les stratégies de routage, sur des PCB 4 couches permettant de réduire et de minimiser l'inductance parasite entre les condensateurs de découplage du bus DC et les cellules de commutation d'un convertisseurs d'électronique de puissance. Des travaux préliminaires ont permis de mettre en évidence qu'il était possible de réduire d'un facteur 3 à 5 ces inductances en fonction de stratégies et règles de routage spécifique.

Objectif :
Le stage vise à poursuivre ces travaux et conclure sur le sujet. Les modélisations numériques seront conduites pour analyser non seulement l'impact du routage du PCB mais aussi les positions relatives et les couplages électromagnétiques au niveau des condensateurs de découplage.



Banc expérimental mettant en oeuvre un module de puissance interconnecté avec un PCB DC link (objet du stage).



Modélisation éléments finis d'un bus DC de condensateurs sur carte PCB avec interconnexions vers le module de puissance

Les travaux expérimentaux permettront de valider les analyses théoriques. L'ensemble permettra de dégager des règles de routage pour optimiser et minimiser les inductances parasites dites de « cablage ». LE travail fera l'objet d'une publication scientifique.

Encadrement :

Yvan Avenas, enseignant-chercheur - Grenoble-INP, G2Elab (équipe EP)
Jean-Michel Guichon, enseignant-chercheur - UGA, G2Elab (équipe MAGE)
Jean-Christophe Crébier, chercheur - CNRS, G2Elab (équipe EP)

Contacts :

Yvan.avenas@g2elab.grenoble-inp.fr
jean-michel.guichon@g2elab.grenoble-inp.fr
jean-christophe.crebier@g2elab.grenoble-inp.fr

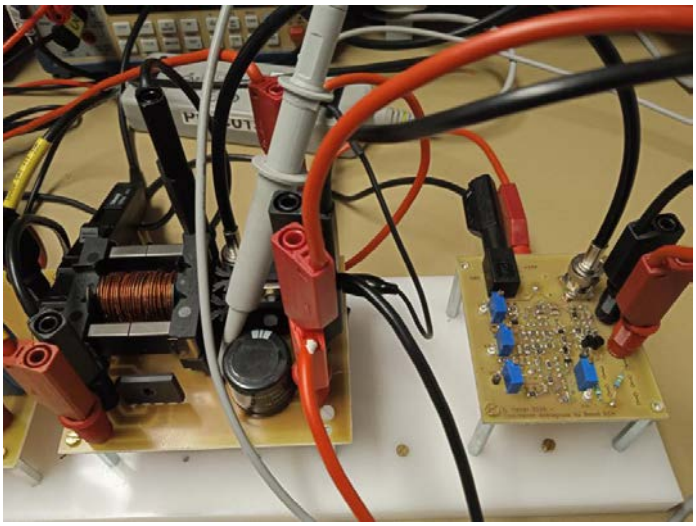
Stage de fin d'étude
M2

Étude et mise en situation d'une carte de puissance conçue en vue du diagnostic et de la réparation

Date : mars à août 2027 (interruption les deux premières semaines d'août)
Lieu : G2Elab, Grenoble
Mots-clés : électronique de puissance, conception, prototypage

Contexte :
Au sein de l'équipe EP du G2Elab, un travail de re-conception de chargeurs pour la micro mobilité a été conduit dans le cadre d'un travail de thèse. Cette re-conception a été envisagée avec deux objectifs complémentaires : réduire les difficultés (complexité) et les contraintes (sécurité) pour conduire un travail de diagnostic et faciliter les activités de réparation (accès aux composants, technologies d'assemblage, …). Le chargeur est un convertisseur d'électronique de puissance à raccorder au réseau électrique domestique alternatif. Il intègre donc une fonction de redresseur PFC (Power Factor Corrector) pour répondre aux contraintes normatives en vigueur. A ce titre il est très représentatif des dispositifs de conversion actuels qui doivent répondre à diverses contraintes en terme de norme, performance, cout etc… Un aspect très spécifique du travail de re-conception repose sur la prise en compte du contexte et du milieu dans lequel les activités de diagnostic et de réparation ont vocation à prendre forme.

Objectif :
Le stage proposé vise à présent à étudier si les choix de re-conception qui ont été fait apportent une valeur ajoutée vis-à-vis de différentes situations et d'usages. Il repose sur des mises en situation auprès de différents acteurs, qui ont été identifiés et mobilisés lors de la phase de re-conception. Ce travail de terrain a vocation à évaluer les apports de chaque choix de re-conception, et ses conséquences sur la capacité de différents acteurs à exercer les activités de diagnostic et de réparation en fonction de leur niveau de qualification et des moyens matériels dont ils disposent.



Prototype fonctionnel développé en 2026

Travaux attendus :
Sur la base du travail de prise en main du sujet et du travail de mise en situation qui sera mené sur les 2 premiers mois du stage, trois travaux seront à mener durant la seconde partie du stage :

- Analyser et évaluer l'apport du travail de re-conception aux regards des objectifs initiaux.
- Formuler des recommandations de conception et, selon le profil du stagiaire, les mettre en oeuvre dans une nouvelle version de la carte de puissance.
- Porter un regard critique sur l'adéquation entre le niveau de compétence, le niveau d'équipement nécessaire et la capacité à faire les activités de diagnostic et de réparation pour être en mesure de définir les formations et niveaux des personnes ayant vocation à conduire ces activités, localement, au sein d'entreprises non spécialisées, ou dans des entreprises qui, localement, pourront opérer ces services pour le compte d'autres.

Encadrement :
Jean-Christophe Crébier, chercheur - CNRS, G2Elab (équipe EP),
Gaëtan Heller, doctorant - G2Elab (équipe EP),
Pierre Lefranc, maître de conférences - Grenoble-INP, G2Elab (équipe EP),

Contacts :
pierre.lefranc@g2elab.grenoble-inp.fr
jean-christophe.crebier@g2elab.grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Apports de la partie contrôle-commande pour réduire l'impact environnemental de l'électronique de puissance

Date : de mars à août 2027 (interruption les deux premières semaines d'août)
Lieu : G2Elab, Grenoble, laboratoire Ampère, Villeurbanne
Mots-clés : électronique de puissance, éco-conception, contrôle-commande

Contexte :
L'éco-analyse permet d'évaluer l'impact environnemental lors des choix de conception. Appliquée à l'électronique de puissance, en s'appuyant sur l'analyse sur cycle de vie, l'objectif est de mieux appréhender les risques de transfert d'impacts induit par la décarbonation de nos sociétés via le vecteur électricité
Le stage vise à questionner l'apport de la partie contrôle-commande au niveau de la réduction des impacts environnementaux de la technologie électronique de puissance. Il fait suite à un précédent stage et s'inscrit dans la continuité d'un projet de collaboration entre plusieurs laboratoires.
L'électronique de puissance modulaire pourrait faciliter la circularité des convertisseurs de puissance, en facilitant et en réduisant les couts de réparation et de reconditionnement pour maintenir le plus longtemps possible les convertisseurs statiques en fonctionnement. La partie commande joue un rôle clé en offrant ou pas des capacités de diagnostic (pré-panne) et de reconfiguration (post-panne) des flux de puissances entre les modules, mais aussi plus directement au niveau de l'éco-optimisation du convertisseur

Objectif :
Le stage vise à poursuivre l'exploration de l'apport de la partie contrôle commande dans la réduction des impacts environnementaux sur un cas d'étude d'électronique de puissance modulaire. Le stagiaire devra prendre en main le cas d'étude (un hacheur série entrelacé à 3 bras et plus), l'analyse sur cycle de vie sur la base du travail déjà réalisé. Il sera amené à étudier comment la partie contrôle commande permet d'orienter très tôt les choix de conception de la partie hardware. Un volet expérimental à tension réduite est envisagé au niveau du laboratoire.

Compétences requises :
De bonnes bases en électronique de puissance et en automatique sont requises. Une appétence pour les questions scientifiques liées à l'écologie et aux STS (sciences technique et société) est également attendue.

Encadrement :
André Andreta, enseignant-chercheur - UGA, G2Elab (équipe EP)
Jean-Christophe Crébier, chercheur - CNRS, G2Elab (équipe EP)
Jean-François Tregouet, chercheur - Ampère

Contacts :
andre.andreta@g2elab.grenoble-inp.fr
jean-christophe.crebier@g2elab.grenoble-inp.fr
jean-francois.tregouet@insa-lyon.fr

Stage de fin d'étude
M2

Refroidir plus, vieillir moins ? Étude expérimentale de la fiabilité des convertisseurs refroidis par air

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble
Mots-clés : électronique de puissance, fiabilité, durée de vie, rendement, instrumentation

Contexte :

L'électronique de puissance est souvent l'élément le plus fragile des systèmes où elle est utilisée. Dans l'éolien comme dans le photovoltaïque, le convertisseur figure régulièrement parmi les premières causes de panne. Cette fragilité a longtemps été compensée par des marges de conception importantes et des remplacements préventifs.
Des méthodes existent aujourd'hui pour prédire la durée de vie d'un convertisseur à partir des contraintes qu'il subit en fonctionnement. C'est sur cet axe que travaille notre équipe. Une fois ces outils disponibles, la question se déplace vers les choix de conception : lesquels améliorent effectivement la fiabilité, et à quel coût. Le refroidissement en est un cas intéressant.
La température est le principal facteur de vieillissement. Les modèles de durée de vie sont exponentiels vis-à-vis d'elle, et quelques degrés de moins peuvent doubler la durée de vie d'un condensateur électrolytique. Augmenter le refroidissement est donc a priori bénéfique. Mais le ventilateur consomme, et cette consommation vient en déduction du rendement du convertisseur. Sur toute la durée de service, l'énergie ainsi perdue n'est pas négligeable. Refroidir davantage allonge la durée de vie et dégrade le rendement, et ces deux effets se compensent à un certain niveau de débit. Ce compromis est rarement quantifié à partir de mesures.
Un travail récent de l'équipe a établi une méthodologie d'estimation de durée de vie d'un convertisseur modulaire, à partir d'une caractérisation thermique expérimentale composant par composant en convection naturelle. Ce stage reprend cette démarche en refroidissement forcé, en traitant le débit d'air comme une variable de conception.
Le G2Elab dispose d'une tuyère instrumentée qui caractérise automatiquement des convertisseurs : régulation de la température d'air, pilotage des ventilateurs, contrôle des grandeurs électriques, acquisition sous LabVIEW. Le banc ne mesure pas encore le débit d'air. Un débitmètre a été acquis à cette fin et sera intégré en début de stage.

Objectifs :

- **Caractérisation expérimentale** : mesurer la température de chaque composant du convertisseur ainsi que son rendement, sur un plan d'expériences croisant puissance, température ambiante et débit d'air, par thermographie infrarouge et thermocouples.
- **Estimation de durée de vie** : utiliser ces mesures dans les modèles de vieillissement de l'équipe, sur un profil de mission représentatif, pour établir la relation entre débit d'air et durée de vie du convertisseur.

- **Quantification du compromis** : mesurer la consommation du ventilateur et son effet sur le rendement global, puis déterminer le niveau de refroidissement qui offre le meilleur compromis entre durée de vie gagnée et rendement perdu.

Travaux attendus :

- Revue bibliographique : mécanismes de vieillissement des composants d'électronique de puissance, influence de la température sur la durée de vie, méthodes d'estimation de fiabilité.
- Mise à niveau du banc : intégration du débitmètre dans la tuyère, interfaçage avec le système d'acquisition LabVIEW, qualification de la mesure et estimation de son incertitude. Le matériel étant disponible, cette phase est prévue sur environ six semaines.
- Campagne expérimentale : caractérisation d'une cellule de conversion de l'équipe selon le plan d'expériences défini, avec mesure des températures par composant, du rendement et de la consommation du ventilateur.
- Estimation de durée de vie : exploitation des données thermiques dans les modèles de vieillissement, comptage de cycles sur profil de mission, calcul des indicateurs de fiabilité B1 et B10 en fonction du débit d'air.
- Analyse du compromis : comparaison de la durée de vie gagnée et de l'énergie perdue sur la durée de service, identification du point de fonctionnement le plus favorable, discussion des conséquences pour la conception.
- Ouverture : la dégradation progressive du refroidissement constitue elle-même un mode de défaillance. Si le calendrier le permet, sa détection à partir des seules températures internes du convertisseur pourra être abordée.

Le stage porte sur de la caractérisation expérimentale, de l'instrumentation et de l'analyse de fiabilité. Le ou la stagiaire travaillera sur un banc existant, qu'il ou elle fera évoluer, et utilisera les données obtenues pour répondre à une question de conception encore ouverte. Les résultats ont vocation à être publiés. Le sujet peut servir de point de départ à une thèse dans l'équipe.

Encadrement :
André Andreta, enseignant-chercheur - UGA, G2Elab (équipe EP),
Yvan Avenas, enseignant-chercheur - Grenoble-INP, G2Elab (équipe EP),
Amina Zayoud, doctorante - G2Elab (équipe EP)

Contact :
andre.andreta@g2elab.grenoble-inp.fr

Internship offer
Graduate level

Cool more, age less? An experimental study of the reliability of air-cooled power converters

Date: february 2027 (duration: 6 months)
Location: G2Elab, Grenoble
Keywords: Power electronics, reliability, lifetime, efficiency, instrumentation

Context:
Power electronics is often the most fragile part of the systems it serves. In wind and photovoltaic installations alike, the converter regularly ranks among the leading causes of failure. This fragility has long been compensated for through large design margins and preventive replacement.
Methods now exist to predict converter lifetime from the stresses it actually experiences in operation. This is the direction our team works in. Once these tools are available, the question shifts towards design choices: which ones genuinely improve reliability, and at what cost. Cooling is an interesting case.
Temperature is the dominant ageing factor. Lifetime models are exponential with respect to it, and a few degrees less can double the lifetime of an electrolytic capacitor. Increasing cooling therefore looks beneficial. But the fan consumes power, and that consumption is subtracted from the converter efficiency. Over the full service life, the energy lost this way is not negligible. More cooling extends lifetime and degrades efficiency, and the two effects balance out at some airflow level. This trade-off is rarely quantified from measurements.
Recent work in the team established a lifetime estimation methodology for a modular converter, based on component-by-component experimental thermal characterization under natural convection. This internship extends that approach to forced-air cooling, treating airflow as a design variable.
G2Elab operates an instrumented wind tunnel that characterizes converters automatically: air temperature regulation, fan control, control of electrical quantities, and data acquisition under LabVIEW. The bench does not yet measure airflow rate. A flow meter has been purchased for this purpose and will be integrated at the start of the internship.

Objectives:
- Experimental characterization. Measure the temperature of each converter component and its efficiency, over a design of experiments combining power, ambient temperature and airflow rate, using infrared thermography and thermocouples.
- Lifetime estimation. Feed these measurements into the team's ageing models, over a representative mission profile, to establish the relationship between airflow rate and converter lifetime.
- Quantifying the trade-off. Measure fan power consumption and its effect on overall efficiency, then determine the cooling level offering the best trade-off between lifetime gained and efficiency lost.

Tasks and methodology:

- The intern will join the Power Electronics group at G2Elab.
- Literature review: ageing mechanisms of power electronic components, influence of temperature on lifetime, reliability estimation methods.
- Bench upgrade: integration of the flow meter into the wind tunnel, interfacing with the existing LabVIEW acquisition system, qualification of the measurement and estimation of its uncertainty. Since the hardware is available, this phase is planned over roughly six weeks.
- Experimental campaign: characterization of one of the team's conversion cells according to the defined design of experiments, measuring per-component temperatures, efficiency and fan consumption.
- Lifetime estimation: use of the thermal data in the ageing models, cycle counting over a mission profile, computation of the B1 and B10 reliability indicators as a function of airflow rate.
- Trade-off analysis: comparison of lifetime gained against energy lost over the service life, identification of the most favourable operating point, discussion of the design implications.
- Further work: progressive degradation of the cooling system is itself a failure mode. If the schedule allows, its detection from the converter internal temperatures alone may be addressed.

The internship covers experimental characterization, instrumentation and reliability analysis.
The intern will work on an existing test bench, extend it, and use the resulting data to address an open design question. The results are intended for publication. The topic can serve as a starting point for a PhD within the team.

Required skills:

Interest in experimental work. Experience with LabVIEW is a plus

Supervision and contacts:

André Andreta, enseignant-chercheur - UGA, G2Elab (équipe EP),
Yvan Avenas, enseignant-chercheur - Grenoble-INP, G2Elab (équipe EP),
Amina Zayoud, doctorante - G2Elab (équipe EP)

andre.andreta@g2elab.grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Prise en compte de la CEM dans les microgrids DC

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Schneider Electric - Grenoble

Contexte :

L'électrification croissante des usages et l'intégration massive des énergies renouvelables transforment progressivement les architectures électriques traditionnelles. Dans ce contexte, de nouveaux réseaux électriques à courant continu (DC), souvent appelés microgrids DC, émergent pour intégrer de manière flexible différentes sources d'énergie telles que les générateurs photovoltaïques, les systèmes de stockage et les interfaces avec le réseau alternatif (AC). Ces micro-réseaux alimentent également des charges industrielles variées, parmi lesquelles de nombreux entraînements électriques constitués de variateurs de vitesse et de moteurs.
Leur fonctionnement repose donc sur un grand nombre de convertisseurs d'électronique de puissance à découpage, auxquels s'ajoutent de nombreux capteurs dédiés à la supervision, à la régulation locale et au pilotage à distance des installations.
La coexistence de ces équipements soulève de nouvelles problématiques de compatibilité électromagnétique (CEM). En effet, les convertisseurs génèrent des perturbations conduites susceptibles d'affecter le fonctionnement des capteurs et des systèmes de contrôle. Ces interactions sont d'autant plus difficiles à anticiper que les impédances du réseau de distribution (câbles, raccordements, charges) sont généralement mal connues et fortement dépendantes de l'installation considérée.
À ce jour, les connaissances disponibles restent limitées pour garantir un fonctionnement harmonieux de l'ensemble des équipements dans ces nouveaux réseaux DC. Les normes CEM existantes définissent des niveaux admissibles d'émission et de susceptibilité, mais elles ont principalement été développées pour des architectures électriques plus conventionnelles.

Objectifs :

L'objectif du stage est d'étudier et de caractériser les interactions électromagnétiques au sein des micro-réseaux DC industriels, afin d'identifier les mécanismes de couplage les plus critiques et de contribuer à l'élaboration de futures recommandations et normes adaptées à ces nouvelles architectures énergétiques.

Travaux attendus :

- **Tâche 1 – Analyse comparative des normes CEM applicables aux micro-réseaux DC**

Les réseaux DC industriels distribués constituent une architecture relativement récente pour laquelle les exigences de compatibilité électromagnétique (CEM) demeurent encore peu définies.

En particulier, il n'existe aujourd'hui pas de référentiel clairement établi spécifiant les niveaux admissibles d'émissions conduites des variateurs de vitesse industriels (Variable Speed Drives – VSD) lorsqu'ils sont directement raccordés à un micro-réseau DC.
La première partie du stage consistera à réaliser une étude comparative des principaux référentiels normatifs susceptibles d'être appliqués aux micro-réseaux DC industriels. L'objectif sera notamment :

→ d'identifier les normes actuellement applicables aux convertisseurs raccordés à des réseaux DC
→ d'analyser les niveaux d'émission et de susceptibilité prescrits par les différentes normes
→ de comparer les exigences issues des domaines industriel, résidentiel, automobile, aéronautique et éventuellement militaire
→ d'évaluer la cohérence de ces limites au regard des architectures de microgrids DC
→ d'identifier les éventuelles lacunes normatives et les besoins de standardisation futurs.

Cette étude permettra d'établir un état de l'art critique des pratiques normatives actuelles et de définir un cadre de référence pour les travaux du stage.

- **Tâche 2 – Modélisation CEM des micro-réseaux DC**

Cette partie du stage vise à développer une représentation cohérente des phénomènes de compatibilité électromagnétique (CEM) au sein des micro-réseaux DC industriels, en vue de comprendre et de quantifier les mécanismes de propagation des perturbations. Dans ce contexte, plusieurs questions structurantes se posent :

→ Quels sont les phénomènes CEM dominants dans un micro-réseau DC (courants de mode différentiel et de mode commun, résonances réseau-câbles-convertisseurs, couplages parasites, interactions entre boucles de contrôle et perturbations de découpage) ?
→ Comment représenter l'impédance équivalente d'un réseau DC multi-sources, en tenant compte des convertisseurs actifs et de leurs stratégies de commande ?
→ Dans quelle mesure les interactions entre sources influencent-elles la propagation des perturbations et les courants CM/DM ?
→ Le bus DC doit-il être modélisé comme une source rigide ou comme un élément dynamique (faible inertie, impédance fréquentielle, variations de tension), et quel est son impact sur les phénomènes de résonance ?
→ Comment caractériser le couplage entre les sources de perturbations, les chemins de propagation (câbles, plans de masse, connexions) et les équipements sensibles (capteurs, commandes, interfaces de communication) ?

L'objectif est de construire progressivement un modèle représentatif du système, intégrant à la fois :

- les sources d'énergie et leurs convertisseurs associés,
- les principales sources de perturbations liées à l'électronique de puissance,
- les chemins de propagation dans le réseau DC (impédances de câblage, boucles de masse, impédances parasites),
- les charges et équipements sensibles identifiés comme "victimes" potentielles.

Une première approche pourra reposer sur un modèle équivalent électrique de type circuit (représentation boîte noire des convertisseurs, modèles d'impédances fréquentielles, éléments parasites distribués), implémenté dans un environnement de simulation tel que LTspice ou équivalent. Ce modèle permettra d'identifier les phénomènes dominants et les scénarios critiques d'interaction. En parallèle, une réflexion sera menée sur la validité et les limites de ce type de modélisation, ainsi que sur le niveau de complexité nécessaire pour obtenir des résultats exploitables à l'échelle système. Enfin, une validation expérimentale pourra être envisagée sur une maquette ou une plateforme hardware existante (par exemple au G2Elab ou chez le partenaire industriel Schneider Electric), afin

de confronter les résultats de simulation à des mesures CEM en conditions représentatives.
Cette tâche vise ainsi à établir un premier cadre de modélisation multi-échelle des micro-réseaux DC, combinant approche circuit, analyse fréquentielle et validation expérimentale.

Encadrement :
Meriem Ouzouigh, docteure-ingénieure - Schneider Electric
Jean-Luc Schanen, enseignant-chercheur - Grenoble-INP, G2Elab (équipe EP)
Geneviève Frantz, professeure agrégée - UGA

Contacts :
meriem.ouzouigh@se.com
jean-luc.schanen@grenoble-inp.fr
genevieve.frantz@univ-grenoble-alpes.fr

Internship offer
Graduate level

EMC study of DC microgrids

Date: february 2027 (duration: 6 months)
Location: G2Elab, Grenoble

Context:
The increasing electrification of applications and the widespread integration of renewable energy sources are progressively transforming traditional electrical architectures. In this context, new direct-current (DC) electrical networks, often referred to as DC microgrids, are emerging to flexibly integrate different energy sources such as photovoltaic generators, energy storage systems, and interfaces with the alternating-current (AC) grid. These microgrids also supply a wide range of industrial loads, including numerous electric drives consisting of variable speed drives and motors.
Their operation therefore relies on a large number of switched-mode power electronic converters, in addition to numerous sensors dedicated to monitoring, local regulation, and remote control of the installations.
The coexistence of these devices raises new electromagnetic compatibility (EMC) challenges. Indeed, power electronic converters generate conducted disturbances that may affect the operation of sensors and control systems. These interactions are all the more difficult to anticipate because the impedances of the distribution network (cables, connections, loads) are generally poorly known and highly dependent on the installation under consideration.
To date, the available knowledge remains limited when it comes to ensuring the harmonious operation of all equipment within these new DC networks. Existing EMC standards define permissible emission and susceptibility levels, but they have primarily been developed for more conventional electrical architectures.
The objective of the internship is to study and characterize electromagnetic interactions within industrial DC microgrids, in order to identify the most critical coupling mechanisms and contribute to the development of future recommendations and standards adapted to these new energy architectures.

Objectives and tasks:
- Task 1 – Comparative Analysis of EMC Standards Applicable to DC Microgrids

Distributed industrial DC networks constitute a relatively recent architecture for which electromagnetic compatibility (EMC) requirements are still not defined. In particular, there is currently no clearly established standard or reference framework specifying permissible conducted emission levels for industrial variable speed drives (VSDs) when they are directly connected to a DC microgrid. The first part of the internship will consist of carrying out a comparative study of the main standards and regulatory frameworks that may be applicable to industrial DC microgrids. The objectives will include:
- identifying the standards currently applicable to converters connected to DC networks;
- analyzing the emission and susceptibility levels specified by the different standards;
- comparing requirements from the industrial, residential, automotive, aerospace, and potentially

military sectors;
• assessing the consistency of these limits with respect to DC microgrid architectures;
• identifying potential gaps in existing standards and future standardization needs.
• This study will provide a critical state-of-the-art review of current standardization practices and establish a reference framework for the subsequent work carried out during the internship.

- Task 2 – EMC Modeling of DC Microgrids

This part of the internship aims to develop a consistent representation of electromagnetic compatibility (EMC) phenomena within industrial DC microgrids, with the objective of understanding and quantifying disturbance propagation mechanisms. In this context, several key questions arise:

• What are the dominant EMC phenomena in a DC microgrid (differential-mode and common-mode currents, network–cable–converter resonances, parasitic couplings, interactions between control loops and switching disturbances)?
• How can the equivalent impedance of a multi-source DC network be represented while taking into account active converters and their control strategies?
• To what extent do interactions between sources influence disturbance propagation and CM/DM currents?
• Should the DC bus be modeled as a stiff source or as a dynamic element (low inertia, frequency-dependent impedance, voltage variations), and what impact does this have on resonance phenomena?
• How can the coupling between disturbance sources, propagation paths (cables, ground planes, connections), and sensitive equipment (sensors, control systems, communication interfaces) be characterized?

The objective is to progressively build a representative system model incorporating:

• energy sources and their associated converters;
• the main sources of disturbances related to power electronics;
• propagation paths within the DC network (cabling impedances, ground loops, parasitic impedances);
• loads and sensitive equipment identified as potential “victims.”

An initial approach may rely on an equivalent electrical circuit model, using a black-box representation of the converters, frequency-dependent impedance models, and distributed parasitic elements, implemented in a simulation environment such as LTspice or an equivalent tool. This model will make it possible to identify the dominant phenomena and critical interaction scenarios.
In parallel, consideration will be given to the validity and limitations of this type of modeling, as well as to the level of complexity required to obtain meaningful results at the system level.
Finally, experimental validation may be carried out using an existing test bench or hardware platform (for example, at G2Elab or at the industrial partner Schneider Electric), in order to compare simulation results with EMC measurements under representative operating conditions.
This task therefore aims to establish an initial multi-scale modeling framework for DC microgrids, combining a circuit-based approach, frequency-domain analysis, and experimental validation.

Supervision and contact:

Meriem Ouzouigh - Schneider Electric: meriem.ouzouigh@se.com
Jean-Luc Schanen - Grenoble-INP, G2Elab: jean-luc.schanen@grenoble-inp.fr
Geneviève Frantz - Université Grenoble Alpes: genevieve.frantz@univ-grenoble-alpes.fr

Stage de fin d'étude
M2

Caractérisation et validation expérimentale d'un convertisseur AC/DC isolé monoétage à base de transistors GaN

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Schneider Electric - Grenoble

Contexte :
Le stage sera co-encadré par le G2Elab et Schneider Electric. Vous intégrerez une équipe de recherche internationale composée de 12 experts en électronique de puissance, en conversion d'énergie et en commande de systèmes embarqués. L'équipe a pour mission d'explorer et de valider des solutions innovantes permettant d'améliorer l'efficacité énergétique, la densité de puissance et la durabilité des futurs produits Schneider Electric.

Objectif :
Rejoignez notre équipe de recherche en conversion de puissance afin de contribuer au développement d'un convertisseur AC/DC isolé monoétage, destiné aux futurs réseaux électriques à courant continu. Ces technologies trouvent notamment des applications dans les microréseaux, les infrastructures de recharge, ainsi que les bâtiments intégrant des systèmes de stockage et de production renouvelable en courant continu.

Votre mission consistera à participer à la validation expérimentale d'une architecture permettant l'interconnexion entre un réseau alternatif monophasé et un réseau DC ou un système de batteries, avec pour objectif d'améliorer les performances énergétiques et la compacité du système, tout en identifiant les axes d'amélioration pour les futurs développements.
Les résultats obtenus contribueront à la préparation de futurs travaux de recherche au sein de l'équipe. Le stage pourra déboucher sur une thèse de doctorat portant sur les convertisseurs AC/DC isolés monoétages à base de technologies GaN pour les applications de réseaux DC et de centres de données, selon les résultats obtenus et l'adéquation du candidat avec le projet de recherche.

Travaux attendus :
- Comprendre et maîtriser l'architecture du convertisseur étudié, son principe de fonctionnement et sa stratégie de commande.
- Prendre en main un prototype de convertisseur AC/DC isolé monophasé bidirectionnel développé au sein de l'équipe, ainsi que son environnement de commande numérique.
- Mesurer et analyser les performances électriques du système (rendement, comportement thermique, qualité des formes d'onde, densité de puissance).
- Comparer les performances obtenues avec celles d'une architecture conventionnelle à deux étages de type redresseur avec correction du facteur de puissance suivi d'un convertisseur DC/DC isolé.
- Identifier les limitations de l'architecture et proposer des pistes d'amélioration sur les aspects

commande, composants de puissance ou conception magnétique.
- Participer à la rédaction d'un rapport technique et à la présentation des résultats auprès de l'équipe de recherche.

Compétences requises :
Électronique de puissance ; Convertisseurs statiques ; Commande de convertisseurs statiques ; Mesures expérimentales et instrumentation de laboratoire ; Matlab ou PLECS
Souhaitées : Connaissance des transistors GaN ; Connaissance de la topologie de convertisseur Dual-Active Bridge

Encadrement :
Rebecca Tarraf, docteure-ingénieure, Schneider Electric
David Frey, Enseignant-chercheur - UGA, G2Elab (équipe EP)

Contacts :
rebecca.tarraf@se.com
david.frey@g2elab.grenoble-inp.fr

Internship offer
Graduate level

Experimental Characterization and Validation of a Single-Stage Isolated AC/DC Converter Based on GaN Transistors

Date: february 2027 (duration: 6 months)
Location: G2Elab, Grenoble

Context:
Schneider Electric's Technopole site, designs located on the Grenoble Scientific Peninsula, is a research and development center designing-generation technologies dedicated to energy management, smart grids, energy storage, and power electronics.
You will join an international research team made up of 12 experts in power electronics, energy conversion, and embedded systems control. The team's mission is to explore and validate innovative solutions to improve the energy efficiency, power density, and sustainability of future Schneider Electric products.
The internship will be co-supervised by G2Elab (Grenoble Electrical Engineering Laboratory), a world-renowned research laboratory specializing in electrical engineering and power electronics.

Objectives:
Join our power conversion research team and contribute to the development of a single-stage isolated AC/DC converter for future DC electrical grids. These technologies are particularly suited to applications such as microgrids, charging infrastructure, and buildings integrating DC energy storage and renewable generation systems.
Your mission will involve taking part in the experimental validation of an architecture enabling interconnection between a single-phase AC grid and a DC grid or battery system, with the objective of improving the system's energy performance and compactness, while identifying areas for improvement for future developments.
The results obtained will contribute to the preparation of future research work within the team. The internship may lead to a PhD thesis on isolated single-stage AC/DC converters based on GaN technologies for DC grid and data center applications, depending on the results obtained and the candidate's fit with the research project.
As such, your responsibilities will include:

- Understand and master the architecture of the converter under study, its operating principle, and its control strategy.
- Take ownership of a single-phase bidirectional isolated AC/DC converter prototype developed within the team, as well as its digital control environment.
- Measure and analyze the system's electrical performance (efficiency, thermal behavior, waveform quality, and power density).
- Compare the performance obtained with that of a conventional two-stage architecture consisting of a rectifier with power factor correction followed by an isolated DC/DC converter.
- Identify the limitations of the architecture and propose areas for improvement in terms of control,

power components, or magnetic design.
- Contribute to the preparation of a technical report and the presentation of results to the research team.

Required skills:
- Power electronics; Power converters; Control of power converters; Experimental measurements and laboratory instrumentation; Matlab or PLECS.
- Soft skills: Scientific rigor; Analytical mindset; Autonomy.
- Desired skills: Knowledge of GaN transistors; Knowledge of the Dual-Active Bridge converter topology.
- Desired English level: B2 minimum.

Supervision and contact:
Rebecca Tarraf - Schneider Electric, rebecca.tarraf@se.com
David Frey - UGA, G2Elab (équipe EP), david.frey@g2elab.grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Communication par courants porteurs en ligne dans les convertisseurs d'électronique de puissance modulaires

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble
Mots-clés : conversion de puissance modulaire, MMC, multi-active bridges (MAB), commande décentralisée, communication par courant porteur de ligne (CPL)

Contexte :
La nature DC (courant continu) de la production et du stockage des énergies renouvelables a suscité ces dernières années un fort intérêt scientifique et industriel envers les réseaux électriques DC haute et moyenne tension (HVDC et MVDC). La conversion de puissance électrique dans ces réseaux nécessite cependant un recours aux dispositifs d'électronique de puissance, et les contraintes fortes en flexibilité et en disponibilité des réseaux DC interconnectés entre eux font des architectures de puissance modulaires des outils particulièrement intéressants.
Le contrôle de ce type de structure est néanmoins plus complexe que pour les convertisseurs classiques. L'utilisation d'un contrôleur centralisé pilotant l'ensemble des modules n'est pas satisfaisant car il constitue alors un point de défaillance unique et critique. En outre, il va devoir centraliser et gérer un nombre très important de données dans des temps très courts ce qui est une contrainte très importante. Le contrôle décentralisé des modules permet d'alléger la quantité d'information échangée et de distribuer l'impact des défaillances sur les modules. Cependant la communication devient un élément clé de la stratégie de commande.
La communication par courants porteurs en ligne est prometteuse car les modules d'un convertisseur ou les modules d'un réseau énergétiques sont sur le même bus en série ou en parallèle selon les configurations. Il est ainsi envisageable de propager des informations modulées sur ce bus de puissance pour propager de l'information à l'ensemble des éléments d'un réseau. Les recherches récentes montrent qu'il est possible d'adapter directement le découpage des modules pour générer la donnée à propager (talkative power dans la littérature) et c'est cette technique qu'il est proposé d'étudier plus en détails dans ce stage.

Travaux attendus :
- Etude théorique et bibliographique sur les convertisseurs de puissance modulaires (MMC, MAB) et les stratégies de contrôle distribuées
- Prise en main des outils de simulation (Matlab/PSIM) pour la modélisation des modules de conversion et du CPL
- Développement d'une stratégie de communication par CPL induit par les commutations de puissance (talkative power)
- Validation expérimentale de la communication entre deux convertisseurs
- Poursuite et extension des travaux possible sur une thèse

Encadrement :
Adrien Corne, Maître de Conférences - UGA, G2Elab (équipe EP)

Contact : adrien.corne@univ-grenoble-alpes.fr

Stage de fin d'étude
M2

Développement d'une alimentation de gate driver à transformateur *coreless* pour applications de conversion de puissance à haute température

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :

Les systèmes de conversion de puissance, tels que les onduleurs et les disjoncteurs statiques (SSCB), intègrent des interrupteurs de puissance nécessitant des circuits de commande rapprochée (gate drivers). Ces derniers doivent disposer d'une alimentation auxiliaire isolée, assurant à la fois le transfert d'énergie et l'isolation galvanique entre les différents potentiels électriques du convertisseur. Les solutions actuelles reposent principalement sur des transformateurs à noyau magnétique. Cependant, leur utilisation peut devenir contraignante dans des environnements sévères, notamment à haute température, en raison des limitations des matériaux magnétiques, des pertes et des contraintes d'intégration.
Une alternative consiste à utiliser un transformateur *coreless*, dans lequel le transfert d'énergie est réalisé par couplage électromagnétique sans noyau magnétique. Cette approche permet d'envisager un fonctionnement à très haute fréquence et offre des perspectives intéressantes en termes de tenue en température, de miniaturisation et d'intégration.

Objectif :

L'objectif de ce stage est d'étudier et de développer une architecture d'alimentation isolée basée sur un transformateur *coreless* destinée à l'alimentation d'un gate driver en environnement contraint (altitude >3000m & température ambiante ≥105°C). La technologie *coreless* permet un transfert d'énergie par couplage électromagnétique tout en supprimant les contraintes liées aux matériaux magnétiques conventionnels. Le stage portera sur l'analyse des mécanismes de transfert d'énergie dans les structures *coreless* et sur la conception d'un convertisseur fonctionnant à des fréquences plus élevées que celles utilisées dans les architectures classiques.
Le stagiaire réalisera l'étude théorique du système, le dimensionnement du transformateur *coreless* ainsi que la conception du convertisseur associé (Vout=+15/-5V, 1.5W). Les performances seront évaluées par simulation électromagnétique et électronique, puis validées expérimentalement sur un prototype. Une attention particulière sera portée en priorité à l'isolation galvanique (notamment les distances d'isolement dans l'air et la capacité parasite primaire-secondaire), au rendement, à la densité de puissance, , ainsi qu'à l'influence de la température sur les performances globales du système.

Travaux attendus :

- Réaliser un état de l'art des alimentations isolées intégrant un transformateur *coreless* ;
- Sélectionner et dimensionner une architecture de conversion haute fréquence adaptée ;
- Modéliser et dimensionner le transformateur *coreless* ;
- Concevoir et réaliser un prototype ;
- Caractériser expérimentalement les performances et ajuster le modèle équivalent : rendement, pertes, capacités parasites, inductances de fuite, inductance magnétisante, densité de puissance et comportement en température ;
- Comparer les résultats expérimentaux aux simulations et identifier les pistes d'optimisation ;
- Rédiger un rapport d'essais et une synthèse du stage.

Contacts :

LE Thanh Long (SAFRAN) - thanh-long.le@sarangroup.com
WECKBRODT Julien (SAFRAN) - julien.weckbrodt@safrangroup.com
SALOMEZ Florentin (G2Elab) - florentin.salomez@g2elab.grenoble-inp.fr

Internship offer
Graduate level

Analysis of the inhomogeneous dissipation of High Temperature Superconductor tape using bubbling imaging

Date: february 2027 (duration: 6 months)
Location: G2Elab, Grenoble

Context:
The critical current density $\mathbf{J_c}$, defining the limit between superconducting and dissipative operations of a superconductor, is not homogeneous in the superconducting layer of ReBaCuO tape (High Temperature Superconductor).
An experimental platform was developed to observe the bubbling at the surface of a ReBaCuO tape immersed in a liquid nitrogen bath when powering it with transport current [1]. The analysis of the bubbling highlighted that the bubbling first occurs in the vicinity of the zones showing the lowest Jc.

[1] A. Zampa et al, IEEE TAS 32 6600807 (2022)

Objectives:
The experimental set-up is operational. Parts of the tasks of the candidate will consist of operating the set-up and add some improvements:
- Conduct imaging of several ReBaCuO tapes from different manufacturers
- Add a temperature measurement over the surface of the tape

Imaging processing is a powerful tool to evaluate the evolution of the dissipation. The candidate will develop some imaging processing to:
- Measure the normal zone propagation velocity
- Compare the evolution of the dissipation area locations after successive tests

Required skills:
The candidate should demonstrate interest for experimental work, multi-physics problem and data analysing.

Supervision and contact:
Alexandre Zampa, alexandre.zampa@g2elab.grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Développement d'un banc de caractérisation magnétique pour les matériaux de l'électronique de puissance du futur

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :

La transition énergétique s'accompagne d'une électrification croissante des usages et d'un développement massif des énergies renouvelables. Dans ce contexte, une part toujours plus importante de l'énergie produite, transportée et consommée transite par des convertisseurs d'électronique de puissance. Afin d'améliorer leur efficacité énergétique et leur compacité, les fréquences de commutation augmentent grâce à l'émergence de nouveaux semi-conducteurs à large bande interdite, tels que les composants à base de nitrure de gallium (GaN).
Cependant, cette montée en fréquence accentue les contraintes sur les composants magnétiques, qui représentent une part significative du volume des convertisseurs et constituent une source importante de pertes. Le développement de matériaux magnétiques performants et adaptés au fonctionnement haute fréquence apparaît ainsi comme un enjeu majeur. Parmi les solutions envisagées, les composites magnétiques (Soft Magnetic Composites, SMC) élaborés à partir de poudres nanocristallines de type Finemet offrent des perspectives prometteuses pour les applications en électronique de puissance.
La caractérisation de ces matériaux à des fréquences comprises entre quelques centaines de kilohertz et plusieurs mégahertz constitue toutefois un défi expérimental. Les méthodes fluxmétriques classiques utilisent généralement des échantillons toriques afin de bénéficier d'un circuit magnétique fermé. À ces fréquences élevées, les mesures nécessitent une compensation fine de l'énergie réactive afin de limiter l'influence des déphasages résiduels introduits par la chaîne d'acquisition. Par ailleurs, la faible perméabilité relative des composites magnétiques (de l'ordre quelques 10) impose des ampères-tours importants pour atteindre les niveaux d'induction souhaités. La géométrie torique devient alors fortement contraignante en raison de la section disponible pour le bobinage d'excitation.

Objectif :

L'objectif du stage est de développer un nouveau dispositif de caractérisation magnétique haute fréquence reposant sur une approche fluxmétrique utilisant un échantillon placé dans l'entrefer d'un circuit magnétique ouvert à l'instar des magnétomètres basse fréquence. Le principe étudié consiste à utiliser une culasse magnétique ferrite portant le bobinage d'excitation, l'échantillon étant inséré dans un premier entrefer. Un second entrefer de référence, laissé vide, permettant de mettre en oeuvre une méthode de calibration différentielle destinée à compenser l'influence des pertes et des déphasages introduits par la culasse magnétique.
La mesure du champ magnétique constitue également un verrou important. Les capteurs de type H-coil classiquement employés dans les Single Sheet Testers (SST) sont difficilement compatibles avec les faibles dimensions des échantillons envisagés. Outre les méthodes de correction de champ

démagnétisant, une approche alternative reposant sur une bobine de type Rogowski sera étudiée afin d'estimer la circulation du champ magnétique et d'accéder à la force magnétomotrice appliquée à l'échantillon.

Travaux attendus :

Au cours du stage, l'étudiant(e) sera amené(e) à :

- Réaliser une étude bibliographique sur les méthodes de caractérisation magnétique haute fréquence et les techniques de mesure du champ magnétique ;
- Participer à la définition de l'architecture du banc expérimental ;
- Dimensionner les différents éléments du système de mesure (circuit magnétique, bobinages d'excitation, capteurs de flux et de champ) ;
- Développer des modèles numériques du dispositif et réaliser des simulations par éléments finis afin de valider le principe de mesure ;
- Identifier et quantifier les principales sources d'incertitude et d'erreur de mesure ;
- Concevoir les éléments mécaniques nécessaires à l'intégration du dispositif ;
- Participer à la réalisation et à l'instrumentation du prototype expérimental ;
- Mettre en oeuvre les premiers essais de caractérisation et confronter les résultats expérimentaux aux prédictions numériques.

Le stage permettra ainsi d'aborder l'ensemble de la démarche de recherche, depuis la définition du concept jusqu'à sa validation expérimentale.

Compétences requises :

Des connaissances dans plusieurs des domaines suivants seront appréciées :

- Magnétisme et matériaux magnétiques ;
- Électrotechnique et circuits magnétiques ;
- Simulation numérique par éléments finis (COMSOL, Ansys Maxwell, Flux ou équivalent) ; Instrumentation et métrologie ;
- Traitement de données sous Matlab ou Python.

Le ou la candidat(e) devra faire preuve d'autonomie, de rigueur scientifique et d'un goût prononcé pour le travail expérimental. Une curiosité pour les problématiques liées à la transition énergétique et aux technologies de conversion d'énergie sera particulièrement appréciée.

Encadrement :

Hervé Chazal, maître de conférences - Grenoble-INP, G2Elab (équipe MADEA)

Contact : herve.chazal@g2elab.grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Étude exploratoire d'une machine à forte densité de couple et à stator modulaire pour la petite mobilité : conception orientée robustesse et réparabilité

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :

Face aux enjeux de l'économie circulaire et de la souveraineté des chaînes d'approvisionnement, le paradigme de conception des machines électriques évolue. Si la recherche s'est longtemps focalisée sur la course à la densité de puissance et à la compacité (souvent au détriment de la recyclabilité), le projet REVER1 en prend le contre-pied industriel : placer la robustesse, la réparabilité et la modularité au coeur des critères de conception, quitte à accepter des compromis sur la performance brute.

Objectif :

L'application visée est la petite mobilité urbaine (vélos-cargos, trottinettes, légers véhicules urbains), exigeant un fort couple à basse vitesse. Pour s'affranchir de réducteurs mécaniques sujets à l'usure, le choix se porte sur une topologie de machine à forte densité de couple par effet d'engrenage magnétique intégré.
Le concept innovant à explorer repose sur une architecture inversée (rotor externe passif et robuste) dont la partie active centrale est découpée en secteurs amovibles indépendants. Ces secteurs intègrent un bobinage concentré favorisant le taux de remplissage et des sources magnétiques insérées de manière à simplifier le processus d'assemblage. L'interface entre ces blocs amovibles et la structure de modulation du flux utilise des liaisons mécaniques spécifiques assurant à la fois le maintien radial et l'optimisation du transfert de flux.

Travaux attendus :

Le/la stagiaire aura pour mission de valider la viabilité magnéto-mécanique de cette architecture en rupture à travers les phases suivantes :
Étape 1 : Algèbre des périodicités et optimisation harmonique
- L'objectif est double : maximiser les harmoniques spatiales utiles au couple, et utiliser la périodicité des interfaces d'assemblage comme un filtre harmonique.
- Modélisation analytique pour définir l'harmonie géométrique optimale du moteur.
- Choix et dissociation de la périodicité des différents constituants (secteurs statoriques, pièces de modulation, pôles du rotor et motifs des liaisons mécaniques).

Étape 2 : Simulation FEM et gestion des efforts parasites
À l'aide d'un logiciel de simulation par éléments finis (Altair Flux, piloté par un script Python), le/la

stagiaire devra :

- Évaluer les performances électromagnétiques nominales de la structure.
- Calculer les forces radiales, quantifier l'effet des efforts asymétriques sur le rotor et les efforts entre secteurs.
- Explorer et comparer des solutions d'atténuation : intégration d'une structure double armature, ou modélisation d'un enroulement de filtrage sélectif aux interfaces pour court-circuiter spécifiquement les harmoniques parasites.

Étape 3 : Analyse de sensibilité et robustesse aux variations de matériaux

Dans l'optique d'un cycle de vie étendu (doublé ou triplé) où les pièces de rechange d'origine ne sont plus garanties (évolution du sourcing matériau) :

- Scénario global : Simulation de la dégradation des performances si l'ensemble de la machine subit un changement de nuance des matériaux magnétiques (propriétés dégradées).
- Scénario local (Réparation) : Simulation du comportement de la machine lors du remplacement de seulement 1 ou 2 secteurs par des modules de caractéristiques différentes (sources magnétiques ou bobinages légèrement différents). Évaluation des déséquilibres magnétiques et des forces radiales induites.

Étape 4 : Ouverture sur la quantification de la circularité (Indicateurs clés)

En fin de stage, le/la stagiaire mettra en place une méthodologie pour évaluer objectivement les gains du concept développé :

- Aptitude au désassemblage : Établissement d'un score ou d'un indice de réparabilité (basé sur des critères de temps de maintenance, d'outillage et d'accessibilité des secteurs).
- Indicateur de Robustesse : Quantification du ratio de dégradation des performances (chute de couple, apparition de vibrations) par rapport au niveau de dégradation des matériaux testé à l'étape 3, afin de valider la viabilité à long terme de cette approche modulaire.

Compétences requises :

- Solides connaissances en électromagnétisme et physique des machines électriques.
- Appétence pour la simulation numérique et compétences de base en programmation (Python).
- Sensibilité pour l'éco-conception et l'approche système.

Encadrement :

Marylin Fassenet, maître de conférences - IUT GMP Grenoble UGA, G2Elab (équipe MADEA)
Hervé Chazal, maître de conférences - Grenoble INP , G2Elab (équipe MADEA)
Adrien Prévost, maître de conférences - Grenoble INP, G2Elab (équipe MADEA)

Contacts :
herve.chazal@g2elab.grenoble-inp.fr
marylin.fassenet@g2elab.grenoble-inp.fr
adrien.prevost@g2elab.grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Développement d'un banc de caractérisation des matériaux multi-ferroïques à effets magnétoélectriques

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble
Mots-clés : composites magnétoélectriques, ferro-électrique, ferromagnétique, banc de caractérisation, instrumentation, électromagnétisme, mécanique

Contexte :
Ces dernières années un intérêt fort a été porté au phénomène de couplage magné-toélectrique au sein de structures hétérogènes. Ce couplage se caractérise par une polarisation électrique induite en réponse à un champ magnétique appliqué, ou par une aimantation induite sous l'action d'un champ électrique appliqué. Les composites multiferroïques, composées d'une phase ferromagnétique et d'une phase ferroélectrique, présentent des effets magnétoélectriques importants, plusieurs ordre de grandeur au-dessus de la réponse des composés à phase unique. Le couplage magnétoélectrique dans ces composites résulte principalement du transfert des champs mécaniques entre les deux phases, et dépend de nombreux paramètres tels que la configuration géométrique, les fractions volumiques, les propriétés intrinsèques des phases constitutives (structure cristalline, microstructure), la qualité des interfaces...
Les propriétés spécifiques de ces matériaux composites rend possible la conception de nouvelles structures de capteurs, d'actionneurs ou de dispositifs de récupération d'énergie. Pour adapter ces matériaux à ces applicatifs, l'amélioration/optimisation des propriétés magnétoélectriques nécessite de disposer d'un outil de caractérisation expérimentale est essentielle pour comprendre les mécanismes responsables du couplage et le modéliser.

Objectif :
La recherche sur les matériaux magnétoélectriques nécessite d'accéder à leurs compor-tements intrinsèques et de faire le lien avec les propriétés physiques des matériaux (composition, microstructure,. . .) et les paramètres de fabrication. Pour y parvenir, ce stage propose de développer un nouveau banc de caractérisation dédié à l'étude de ces matériaux composites. Le principe étudié repose sur la mesure de grandeurs électriques, magnétiques et mécaniques de matériaux soumis à un champ magnétique alternatif superposé à un champ magnétique continu.

Travaux attendus :
Le stage qui associera modélisation/simulation et réalisations expérimentales aura pour principales tâches :

- Bibliographie sur les composites magnétoélectriques et les méthodes de caractérisations magnétique, électrique et mécanique,
- Étude et dimensionnement d'un système magnétique pour le contrôle du champ (AC+DC), compatible avec les niveaux de champ magnétique à appliquer,
- Étude, dimensionnement et test de l'instrumentation (magnétique, électrique et mécanique) pour identifier le meilleur système à même d'effectuer la caractérisation des comportements

magnétoélectriques,
- Développement du système de génération, acquisition et traitement des données de caractérisations,
- Mise en place du protocole expérimental et première campagne de caractérisation sur des échantillons standards pour vérification et validation du banc,
- Évaluer le coefficient de couplage magnétoélectrique de matériaux de références et comparer les résultats obtenus aux données de la littérature,
- Analyser les mécanismes physiques et proposer une première approche de modélisation.

Le stage couvrira l'ensemble de la démarche de recherche, de la conception du concept à sa validation expérimentale. Selon les résultats obtenus et la motivation du·de la candidat·e, une poursuite en thèse sera possible.

Compétences requises :

- Solides connaissances en sciences des matériaux, physique (magnétostatique, mécanique des milieux continus, électrostatique),
- Instrumentation et métrologie,
- Programmation et traitement de données (Labview, Python) et en simulation numérique par éléments finis.

Encadrement :
Aktham Asfour, enseignant-chercheur - UGA, G2Elab (équipe MADEA)
Nicolas Galopin, enseignant-chercheur - UGA, G2Elab (équipe MADEA)

Contacts :
nicolas.galopin@univ-grenoble-alpes.fr
aktham.asfour@univ-grenoble-alpes.fr

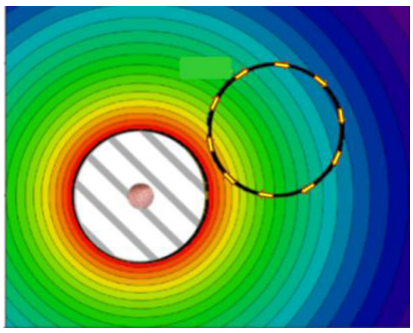
Stage de fin d'étude
M2

Capteur innovant sans contact pour la mesure de courants en conducteurs multiples

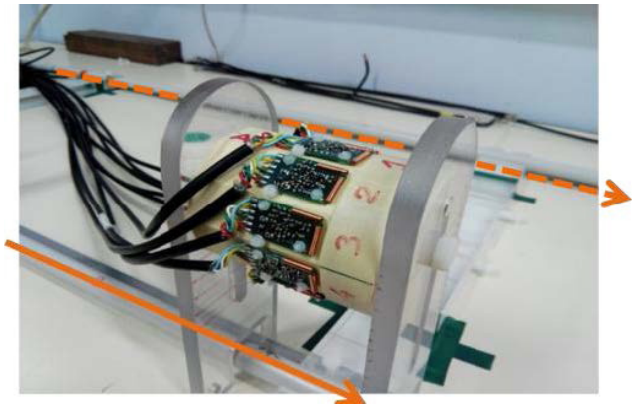
Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :
Au G2Elab, l'équipe Champs Magnétiques Faibles est experte en identification de sources électromagnétiques en champ faible et très faible fréquence (DC-kHz) ; l'équipe Matériaux, Machines et Dispositifs Electromagnétiques Avancés conçoit et dimensionne des capteurs, dispositifs et microsystèmes basés sur l'exploitation des propriétés physiques des matériaux, notamment magnétiques. Depuis 2006, nos équipes co-inventent des capteurs de courant (AC & DC) basés sur l'analyse du champ magnétique [MSAED, 2009], [WILSCH, 2016].

La technologie HarmoSens2D, issue de la thèse de B. Wilsch, a été validée sur 3 premiers prototypes. Elle exploite les harmoniques d'espace des champs rayonnés, et est particulièrement adaptée à la mesure sans contact du courant dans un conducteur, applicable aux réseaux électriques (triphasé aérien, ferroviaire…). Des démonstrateurs à gamme de mesure étendue ont été développés en phase de maturation au sein de la SATT Linksium Grenoble Alpes [HS2D, 2016-24]. HarmoSens2D est protégée par un brevet licencié [BREVET, 2017], un logiciel et un savoir-faire.



Objectif :
Notre objectif est un capteur pour la mesure simultanée des courants dans plusieurs conducteurs. La mesure du courant dans un conducteur est souvent invasive, nécessitant soit l'insertion dans le circuit d'un shunt ou d'un transformateur de courant, soit une sonde entourant le câble ; cette seconde solution est plus souple car elle ne requiert ni l'ouverture du circuit ni l'arrêt momentané de l'alimentation, mais requiert toutefois l'accès au câble pour l'entourer.



Si de nombreux capteurs de courant exploitent les champs magnétiques, peu le font de manière non invasive, simplement positionnés à proximité. Cette configuration de mesure subit des difficultés, en premier lieu les champs perturbateurs provenant d'autres câbles, ainsi que l'incertitude de position du capteur vis-à-vis du conducteur étudié. Le

projet HS2D a levé ces deux principaux verrous pour des applications où l'on rejette les sources perturbatrices sans les identifier, alors qu'elles pourraient provenir de conducteurs d'intérêt
Le projet vise à faire évoluer ce capteur, pour mesurer au moins deux conducteurs proches.
Parmi les applications d'une telle configuration multi-câbles, la plus contrainte regroupe dans une même gaine des brins polyphasés.

Les travaux seront de nature à la fois théorique et expérimentale. Le premier objectif sera d'adapter le principe de mesure à deux conducteurs dont la distance et les courants relatifs sont paramétrés

Travaux attendus :
Notre approche inclut des étapes analytiques, pour identifier les principaux paramètres influenceurs permettant d'établir la géométrie du capteur, notamment sa distance aux câbles, ainsi que l'agencement des magnétomètres individuels en son sein. Nos outils d'optimisation et de calcul seront mis en œuvre pour valider l'approche, et explorer particulièrement certains paramètres :

- Un premier principe de mesure sera validé sur une maquette simple, dans un cas idéal (sans perturbations, géométrie connue)
- Les perturbateurs seront spécifiquement analysés, notamment leur proximité maximale, potentiellement indicée par le rapport avec les courants dans les conducteurs d'intérêt. Cette réjection des perturbateurs sera prise en compte ab initio. L'impact du bruit des capteurs disponibles sur le marché sera analysé, car il affectera les performances du capteur, en particulier sa précision
- On pourra étudie un principe d'auto-calibration : c.à.d. la capacité du capteur à déterminer la relation entre les grandeurs mesurées et les courants à déterminer, sans connaître a priori tous les paramètres géométriques, notamment sa position relative aux câbles d'intérêt. L'approche sera testée numériquement, puis sur la maquette
- Un dernier volet visera l'étude des performances attendues, la complexification du cas d'étude (par ex. forte proximité des conducteurs dans une gaine), ou la miniaturisation du capteur, en environnement perturbé ou non

Compétences requises :

- Matlab + LabVIEW
- Bases d'algèbre linéaire : espaces vectoriels, décomposition matricielle…
- Electromagnétisme simple
- Mesure, traitement du signal
- Rigueur, méthodologie

Encadrement :
Olivier Pinaud, Laure-Line Rouve, Orphée Cugat

Contacts :
Olivier.Pinaud@g2elab.grenoble-inp.fr
Laure-Line.Rouve@g2elab.grenoble-inp.fr
orphee.cugat@grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

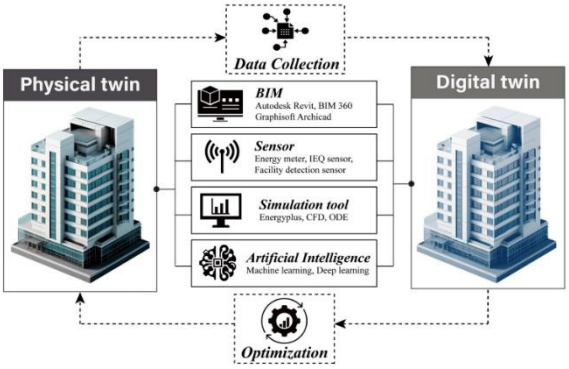
Détermination du potentiel de flexibilité de GreEn-ER

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :
Ce projet vise à évaluer comment un bâtiment tertiaire comme GreEn-ER peut être transformé en un actif énergétique interactif avec le réseau et adapté aux besoins des utilisateurs.
Le site offre un environnement réel représentatif, combinant la demande de refroidissement, la production photovoltaïque sur site et la recharge de véhicules électriques (VE) pour des groupes d'utilisateurs hétérogènes.
Le projet se concentre sur la création d'un jumeau numérique modélisant le ces systèmes énergétiques et leur réponse à un signal de flexibilité sur la ventilation ou la recharge des VE, tout en garantissant le confort et la transparence auprès des occupants.

Objectifs :
- Évaluer la possibilité d'intégration d'un système de gestion énergétique des bâtiments (BEMS) existant avec des mécanismes de flexibilité basés sur le marché de l'électricité pour les grands bâtiments tertiaires.
- Modéliser le comportement dynamique et le pilotage du système en réaction à des signaux de flexibilité.
- Créer un jumeau numérique dédié à la flexibilité de GreEn-ER

Travaux attendus :
Le.a candidat.e devra développer une méthodologie articulée autour de ces technologies clés :
- La spécification FlexReady pour l'interopérabilité entre le BEMS et un agrégateur (autorisé à participer au marché de l'énergie) lui envoyant des signaux de flexibilité.
- Un jumeau numérique devant être synchronisé (estimation d'état) au jumeau physique réel par des données de capteurs, et permettant de tester virtuellement des scénarii sous incertitudes pour l'aide à la décision et le pilotage.
- La modélisation par apprentissage machine, exploitant par exemple les réseaux de neurones profonds, et permettant les prédictions du système et de son environnement.



Compétences requises :

- Développement python
- Modélisation basée sur les données
- Physique et énergétique des bâtiments

Encadrement :

Benoit Delinchant, enseignant-chercheur - Grenoble INP, G2Elab (équipe MAGE)
Frédéric Wurtz, directeur de recherche - CNRS, G2Elab (équipe MAGE)
Vincent Imard, ingénieur-technicien - G2Elab

Contact :

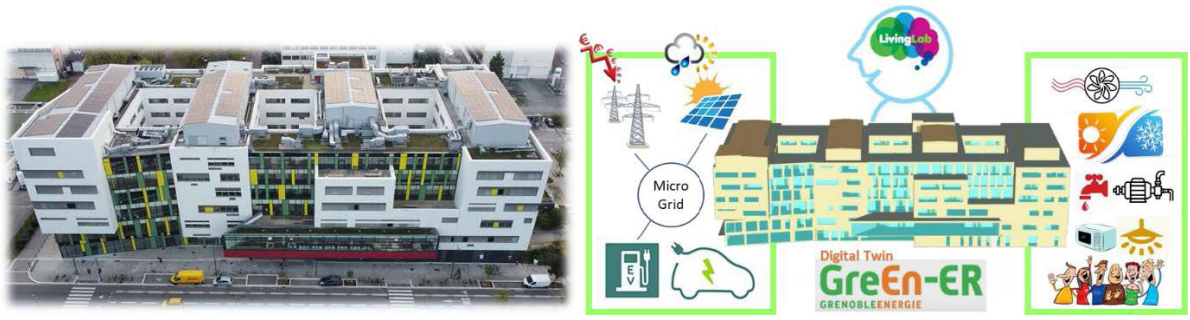
benoit.delinchant@grenoble-inp.fr

Internship offer
Graduate level

Determining the Flexibility Potential of GreEn-ER

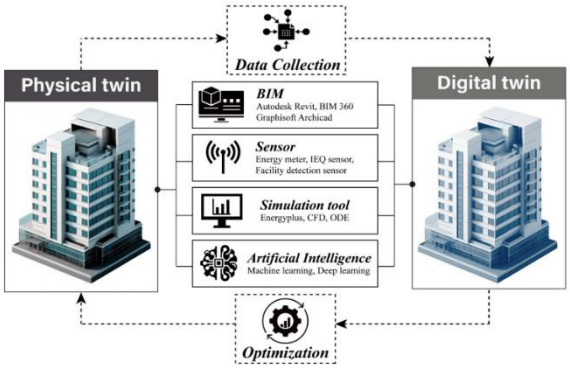
Date: february 2027 (duration: 6 months)
Location: G2Elab, Grenoble

Context:
This project aims to evaluate how a building such as GreEn-ER can be transformed into an energy asset that interacts with the grid and is tailored to users' needs.
The site provides a representative real-world environment, combining cooling demand, on-site photovoltaic generation, and electric vehicle (EV) charging for diverse user groups.
The project focuses on creating a digital twin that models these energy systems and their response to a flexibility signal regarding ventilation or EV charging, while ensuring comfort and transparency for occupants.



Objectives:
- Evaluate the feasibility of integrating an existing building energy management system (BEMS) with market-based flexibility mechanisms for large commercial buildings.
- Model the system's dynamic behavior and control in response to flexibility signals.
- Create a digital twin dedicated to flexibility for GreEn-ER

Tasks and methodology:
The candidate will be required to develop a methodology centered on these key technologies:



- The FlexReady specification for interoperability between the BEMS and an aggregator (authorized to participate in the energy market) that sends flexibility signals to the BEMS.
- A digital twin that must be synchronized (state estimation) with the actual physical twin using sensor data, and that enables the virtual testing of scenarios under conditions of uncertainty to aid in decision-making and control.
- Machine learning-based modeling, utilizing, for example, deep neural networks, and enabling predictions about the system and its environment.

Required skills:
Python development, data-driven modeling, and building physics and energy efficiency.

Supervision and contact:
Benoit Delinchant, benoit.delinchant@grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Développement logiciel open source embarqué d'un jumeau numérique pour système en autoconsommation PV+batterie

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :

Une serre en aquaponie est installée sur le toit de GreEn-ER. Elle dispose notamment d'une pompe électrique pour faire circuler l'eau, de panneaux photovoltaïques, d'un onduleur/ chargeur connecté au réseau, et d'une batterie.

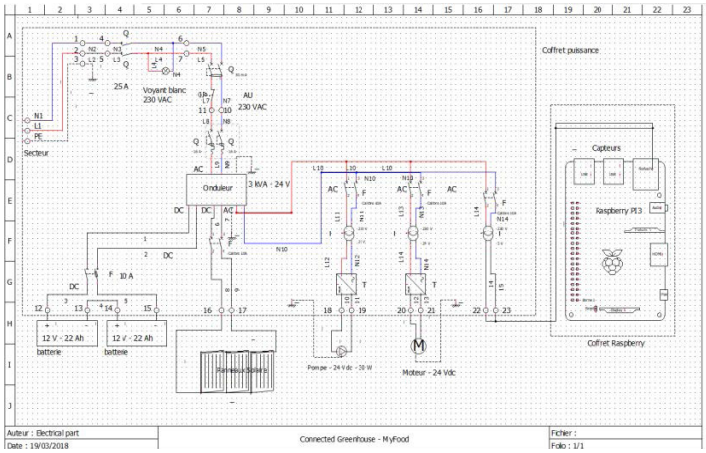
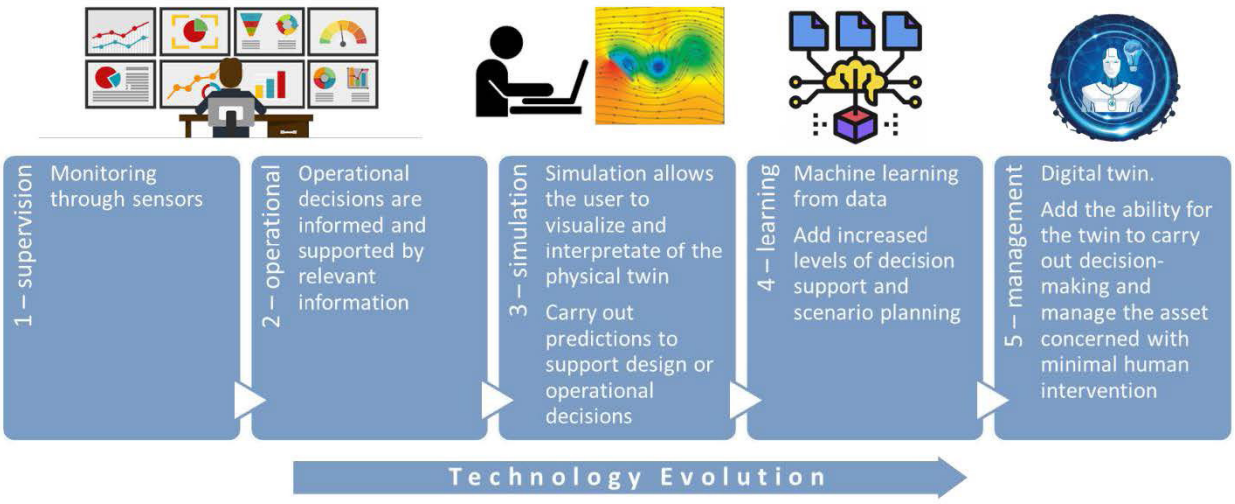


Schéma électrique de l'installation

Par ailleurs, le G2Elab développe des méthodes et outils de simulation et d'optimisation pour le pilotage optimal des systèmes énergétiques. Au-delà des modèles physiques exploités pour simuler un système, l'acquisition de données et leur exploitation pour améliorer la modélisation est devenue classique avec l'avènement de l'intelligence artificielle. L'étape ultime exploitant les connaissances physiques hybridées aux données afin d'offrir des services de diagnostic et de prédiction est le jumeau numérique :



Objectif :

L'objectif de ce stage sera de développer un logiciel open source embarqué dans un raspberry py pour le déploiement d'un jumeau numérique de micro réseau (PV+EMS+Batterie).
Le jumeau numérique devra être réalisé à partir de mesures issues du système et s'adapter en temps réel. Il servira à reproduire à l'identique le comportement du système électrique et sera ensuite exploité pour réaliser un diagnostique automatisé du fonctionnement de la serre. Avec par exemple l'envoi d'alertes lorsque la production PV est anormale, ou lorsque l'état de charge de la batterie est estimé arriver à une trop faible valeur avant la prochaine période de recharge par les panneaux solaires.
Ce travail sera valorisé en recherche par une publication en conférence et en enseignement par la création de supports pédagogique et l'utilisation du jumeau numérique par les étudiants.

Travaux attendus :
Une analyse bibliographique sera réalisée sur :

- Les principes de modélisation des jumeaux numériques, en particulier des principes de :
  - o Estimation des paramètres du systèmes
  - o Estimation d'état en temps réel.
  - o Diagnostic des défauts et pronostic des défaillances
- Les modèles classiques de production PV et d'état de charge et de santé de batteries

Un logiciel orienté objet sera développé en python pour structurer le code embarqué. Une attention particulière sera donnée à la place mémoire et charge du processeur.

Le logiciel sera testé sur la serre et un déploiement sur d'autres sites devra être envisagé en terme de généricité du code développé. Des tests unitaires seront développés ainsi qu'une documentation automatique type Sphinx pour un dépôt sur readthedoc et gitlab en open access.

Références bibliographiques :

- Rapports des projets étudiants antérieurs sur la serre
- De nombreux articles scientifiques tels que :

[1] Thelen, A., Zhang, X., Fink, O., Lu, Y., Ghosh, S., Youn, B. D., ... & Hu, Z. (2022). A comprehensive review of digital twin—part 1: modeling and twinning enabling technologies. Structural and Multidisciplinary Optimization, 65(12), 354.
[2] Wagg, D. J., Worden, K., Barthorpe, R. J., & Gardner, P. (2020). Digital twins: state-of-the-art and future directions for modeling and simulation in engineering dynamics applications. ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B: Mechanical Engineering, 6(3), 030901
[3] Hu C, Youn BD, Chung J (2012) A multiscale framework with extended Kalman filter for lithium-ion battery SOC and capacity estimation. Appl Energy 92:694–704

Encadrement :
Benoit Delinchant, enseignant-chercheur - Grenoble INP, G2Elab (équipe MAGE)
Jérôme Ferrari, ingénieur-technicien - G2Elab
Vincent Imard, ingénieur-technicien - G2Elab

Contact :
benoit.delinchant@grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Méthodologie d'aide à la décision multi-critères avec modélisation dynamique des préférences et optimisation socio-technique

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :

Pour concevoir des systèmes électriques durables, résilients et acceptés, le G2Elab développe des méthodologies de conception intégrant de nombreux critères: techniques (fiabilité, intégration EnR), économiques (coût, rentabilité), environnementaux (CO_2, biodiversité), sociaux (acceptabilité, équité) et réglementaires (normes, sécurité).
Les méthodes classiques d'aide à la decision multi-critères (ADMC) supposent souvent que les préférences des décideurs sont statiques, complètes et cohérentes, ce qui est rarement le cas dans la réalité.
Les défis à relever pour ce stage sont :
• L'incertitude : Les préférences peuvent évoluer en fonction du contexte ou de nouvelles informations.
• L'hétérogénéité : Les décideurs ont des préférences parfois contradictoires ou difficiles à exprimer.
• L'intégration dans l'optimisation : Les méthodes MCDM sont souvent découplées des processus d'optimisation, limitant leur efficacité.

Objectifs et méthodes :

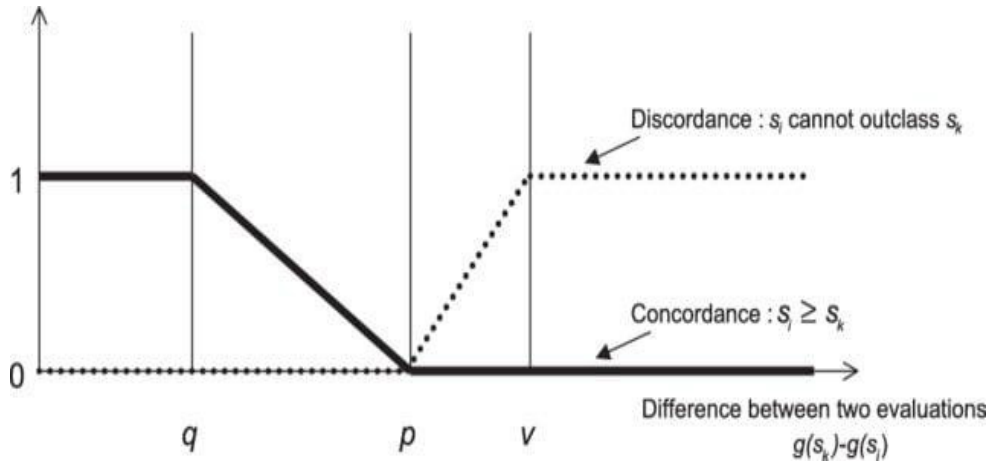
Le ou la stagiaire commencera par un état de l'art et une analyse critique en réalisant une revue des méthodes d'ADMC existantes et de leurs limites, ainsi qu'une étude des approches de modélisation des préférences.

L'objectif sera ensuite de mettre en œuvre une méthodologique d'ADMC, en commuant par l'élicitation qui est le processus visant à extraire, formaliser et quantifier les préférences, connaissances, croyances ou jugements d'un individu ou d'un groupe, afin de les intégrer dans un modèle décisionnel. Les étapes sont généralement les suivantes :

- Clarifier ce qui doit être élicité (ex. : poids des critères, fonctions d'utilité, probabilités)
- Sélectionner la technique la plus adaptée (ex. : comparaisons par paires pour les poids, loteries pour l'utilité)
- Créer des questionnaires, scénarios, ou échelles visuelles
- Récolter les données par interviews, ateliers, ou questionnaires en ligne
- Analyser des réponses et vérifier la cohérence (ex. : transitivité des préférences)

Ces préférences seront ensuite intégrées dans le modèle décisionnel grâce à une méthode d'ADMC de type surclassement :

Afin d'enrichir la connaissance des décisionnaires dans un processus itératif d'elicitation, nous souhaitons mettre en place une méthodologie d'ADMC interactive, couplée à de l'optimisation multi-objectif
Ce travail sera réalisé en programmation Python en exploitant la librairie PyMCDA (https://py-mcda.readthedocs.io/) et s'appuyera sur des cas d'étude existants de conception de système d'énergie électrique afin de comparer la méthodologie proposée avec des approches existantes (benchmarking). Selon le temps disponible, la méthodologie pourra être etendue à des groupes de décideurs avec des préférences conflictuelles.



p : seuil de préférence
q : seuil d'indifférence
v : seuil de véto

Compétences requises :
- Mathématiques appliquées : Optimisation, théorie des décisions.
- Programmation : Maîtrise de Python.
- Analyse de données : Manipulation de jeux de données, visualisation.
- Rédaction scientifique : Capacité à synthétiser et communiquer des résultats

Encadrement :
Benoit Delinchant, enseignant-chercheur - Grenoble INP, G2Elab (équipe MAGE)
Sacha Hodencq, chargé de recherche - CNRS, G2Elab (équipe MAGE)

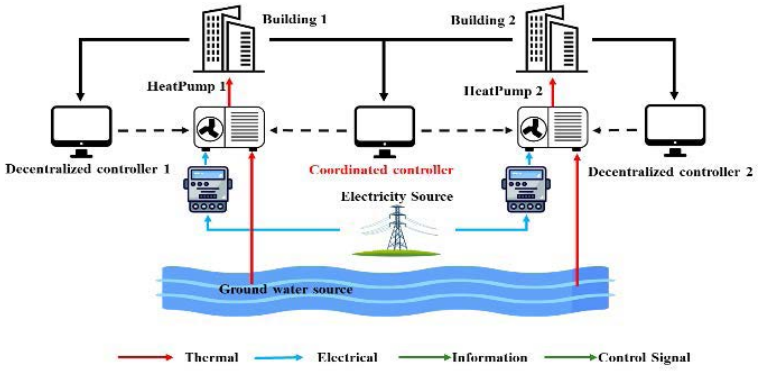
Contact :
benoit.delinchant@grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Définition d'une bibliothèque de modèles de systèmes multi-énergies pour la constitution d'un benchmark de dimensionnement à l'échelle quartier

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :
Dans le cadre du projet HyMES (https://www.pepr-tase.fr/projet/hymes/) qui explore les solutions de modélisation hybrides pour traiter de la complexité des systèmes et réseaux multi-énergie, nous souhaitons caractériser et développer une modélisation quartier dans le but de tester des stratégies de dimensionnement.
Nous avons déjà développé un modèle de quartier basé sur le vecteur électrique, et exploité ce modèle pour dimensionner les pompes à chaleur afin de respecter le confort des occupants tout en définissant une stratégie de contrôle permettant de limiter les appels de puissance sur le réseau.



Quartier Cambridge, Presqu'île de Grenoble

Objectifs :
Dans ce stage, nous souhaitons compléter notre modèle quartier par d'autres composants énergétiques de conversion et de stockage (électrochimique, thermique, hydrogène). Nous souhaitons que le benchmark permette de facilement tester différentes configurations du système multi-énergie, et si possible de disposer de plusieurs niveaux de finesse de modélisation pour chaque composant.

Travaux attendus :
Le.a candidat.e devra dans un premier temps analyser l'existant déjà mis en oeuvre dans l'outil OMEGAlpes (https://omegalpes.readthedocs.io/) et le type d'analyse qu'on peut en faire [1].
En lien avec les encadrants, une liste des composants à compléter, et les différentes configurations du système seront définies. Pour chaque composant, une analyse bibliographie permettra d'identifier un modèle adapter à la problématique. Les modèles seront implémentés dans l'outil OMEGAlpes en python, documentés, puis testés pour s'assurer des résultats calculés. Enfin, des études de dimensionnement seront réalisées pour identifier les solutions optimales vis-à-vis d'un cahier des

charges spécifié.

Références :

[1] Mainak Dan, Camille Caby, Benoit Delinchant, Sacha Hodencq, Bruno Sareni, et al.. Demand side management using buildings' thermal dynamics in a MILP based framework for residential heat pump operation at district level. IBPSA France 2026, International Building Performance Simulation Association, May 2026, Lyon, France. hal-05650940

Compétences requises :

Développement python, modélisation multi-physique, optimisation.

Encadrement :

Benoit Delinchant, enseignant-chercheur - Grenoble INP, G2Elab (équipe MAGE)
Camille Caby, doctorante - laboratoire Laplace, Toulouse

Contact :

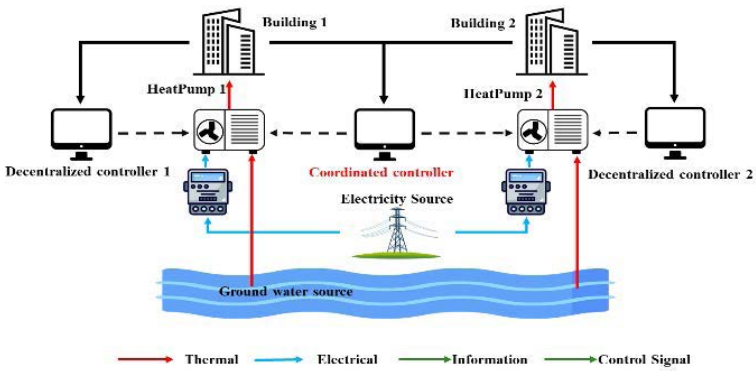
benoit.delinchant@grenoble-inp.fr

Internship offer
Graduate level

Definition of a library of multi-energy system models for the development of a neighborhood-scale design benchmark

Date: february 2027 (duration: 6 months)
Location: G2Elab, Grenoble

Context:
As part of the HyMES project (https://www.pepr-tase.fr/en/projet/hymes_en/) about hybrid modeling solutions to address the complexity of multi-energy systems and networks, we aim to characterize and develop a neighborhood-scale model in order to test sizing strategies.
We have already developed a neighborhood model based on the electricity vector and used this model to size heat pumps to ensure occupant comfort while defining a control strategy that limits power demands on the grid.



Cambridge neighbourhood, Grenoble

Objectives:
In this internship, we aim to expand our neighborhood model to include additional energy conversion and storage components (electrochemical, thermal, hydrogen). We want the benchmark to make it easy to test different configurations of the multi-energy system and, if possible, to offer several levels of modeling detail for each component.

Tasks and methodology:
The candidate will first analyze the existing functionality already implemented in the OMEGAlpes tool (https://omegalpes.readthedocs.io/) and the types of analyses that can be performed using it [1].
In consultation with the supervisors, a list of components to be added and the various system configurations will be defined. For each component, a literature review will be conducted to identify a model suited to the problem at hand. The models will be implemented in the OMEGAlpes tool using Python, documented, and then tested to verify the calculated results. Finally, design studies will be conducted to identify the optimal solutions based on a specified set of requirements.

Reference: [1]Mainak Dan, Camille Caby, Benoit Delinchant, Sacha Hodencq, Bruno Sareni, et

al.. Demand sidemanagement using buildings' thermal dynamics in a MILP based framework for residential heat pumpoperation at district level. IBPSA France 2026, International Building Performance Simulation Association,May 2026, Lyon, France. hal-05650940

Required skills:
Python development, multiphysics modeling, optimization.

Supervision and contact:
Benoit Delinchant: benoit.delinchant@grenoble-inp.fr
Camille Caby, PhD student - laboratoire Laplace, Toulouse

Stage de fin d'étude
M2

Discrétisation adaptative spatio-temporelle pour la modélisation numérique des systèmes électromagnétiques non linéaires : application aux supraconducteurs

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :
La modélisation numérique des phénomènes électromagnétiques basse fréquence dans les matériaux à forte non-linéarité présente des défis numériques majeurs. C'est particulièrement le cas des matériaux supraconducteurs à haute température critique (HTS), dont la loi de comportement électrique $\mathbf{E}(\mathbf{J})$ (avec $\mathbf{E}$ le champ électrique et $\mathbf{J}$ la densité de courant électrique) suit une loi de puissance très raide.
Pour assurer une bonne convergence tout en assurant une très bonne précision des grandeurs modélisées, il est nécessaire d'avoir une discrétisation optimale de l'espace et du temps du dispositif étudié. En effet, une grille spatiale fixe ou un pas de temps constant peut s'avérer inefficaces : un maillage uniforme trop fin entraîne un coût de calcul prohibitif, tandis qu'un pas de temps fixe échoue à bien modéliser les transitoires rapides (phénomène de quench) sans une discrétisation inutile ses régimes quasi-permanents.

Objectifs :
L'objectif de ce stage est de développer et de valider un schéma numérique adaptative spatio-temporelle.

Les travaux s'articuleront autour de deux axes principaux :
- Adaptation temporelle : Mise en oeuvre de schémas d'intégration temporelle à pas variable (par exemple méthodes d'Euler ou de Runge-Kutta,…) pilotés par un indicateur d'erreur locale à chaque pas de temps.
- Adaptation spatiale : Définition d'estimateurs d'erreur pour guider le raffinement local du maillage aux zones de forts gradients.

Travaux attendus :
- Étude bibliographique : Prise en main des formulations électromagnétiques et des techniques de discrétisation temporelle et spatiale appliquées aux problèmes non linéaires.
- Développement méthodologique : Etude des techniques de discrétisation spatio-temporelle adaptatives (types de schéma, critères d'erreur,…).
- Implémentation numérique : Intégration du schéma adaptatif dans un code de calcul (l'outil MFEM par exemple).
- Validation et application : Évaluation des performances (précision, temps CPU, convergence) sur des cas-tests académiques (ruban HTS, …) soumis à des régimes transitoires rapides

Compétences souhaitées :
Solides compétences en méthode des éléments finis, analyse numérique et résolution de problèmes non linéaires.
Maîtrise de la programmation scientifique (C++, Python ou Matlab).

Encadrement :
Brahim RAMDANE, enseignant-chercheur - Grenoble-INP, G2Elab (équipe MAGE)
Innocent NIYONZIMA - enseignant-chercheur - Université Grenoble Alpes, G2Elab (équipe MAGE)

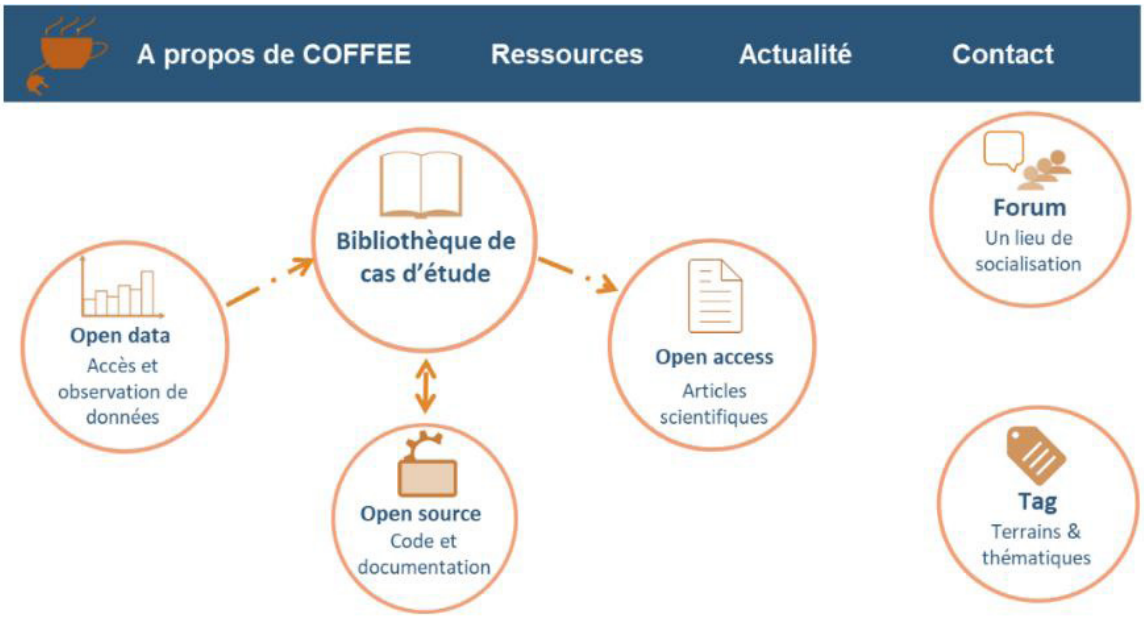
Contacts :
brahim.ramdane@g2elab.grenoble-inp.fr – 04 76 82 64 30
innocent.niyonzima@g2elab.grenoble-inp.fr - 04 76 82 62 08

Stage de fin d'étude
M2

Spécification et développement de la plateforme COFFEE pour la mise en ligne de cas d'étude énergétiques

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :
Dans le cadre de la transition énergétique, la modélisation ouverte, (basée sur des données, logiciels et cas d'études accessibles et réutilisables) est un catalyseur pour la diffusion et le déploiement rapide des solutions innovantes et performantes.
Dans ce contexte, le G2Elab propose de développer une plateforme web de cas d'étude réutilisables. Un premier prototype a déjà été développé :



COFFEE: Collaborative Open Framework For Energy Engineering

Objectif :
Dans ce stage, l'étudiant.e accompagnera un chercheur pour spécifier et développer cette plateforme. Il ou elle sera amené.e à utiliser des notebooks Jupyter qui modélisent des cas d'étude, s'appuyant sur des données ouvertes, des logiciels de simulation et d'optimisation open source, et des résultats diffusés sous la forme de publications scientifiques.
En s'appuyant sur la méthodologie ORUCE [1], la structuration et documentation de ces différentes sources sera améliorée afin d'automatiser en partie la publication dans COFFEE (par exemple par l'utilisation de FrontMatter pour organiser et enrichir la documentation Markdown)
L'interface web sera mise à jour en conséquence, et testée auprès d'un panel de chercheurs du domaine pour établir un retour d'expérience.

Référence :

[1] Sacha Hodencq, Benoit Delinchant, Wurtz Frederic. Open and Reproducible Use Cases for Energy (ORUCE) methodology in systems design and operation: a dwelling photovoltaic self-consumption example. Building Simulation 2021, Sep 2021, Bruges, Belgium. hal-03341883

Compétences requises :

Développement python et web, modélisation énergétique, animation d'une communauté.

Encadrement :

Seun Osonuga,
Frédéric Wurtz,
Sacha Hodencq,
Benoit Delinchant

Contact :

seun.osonuga@g2elab.grenoble-inp.fr

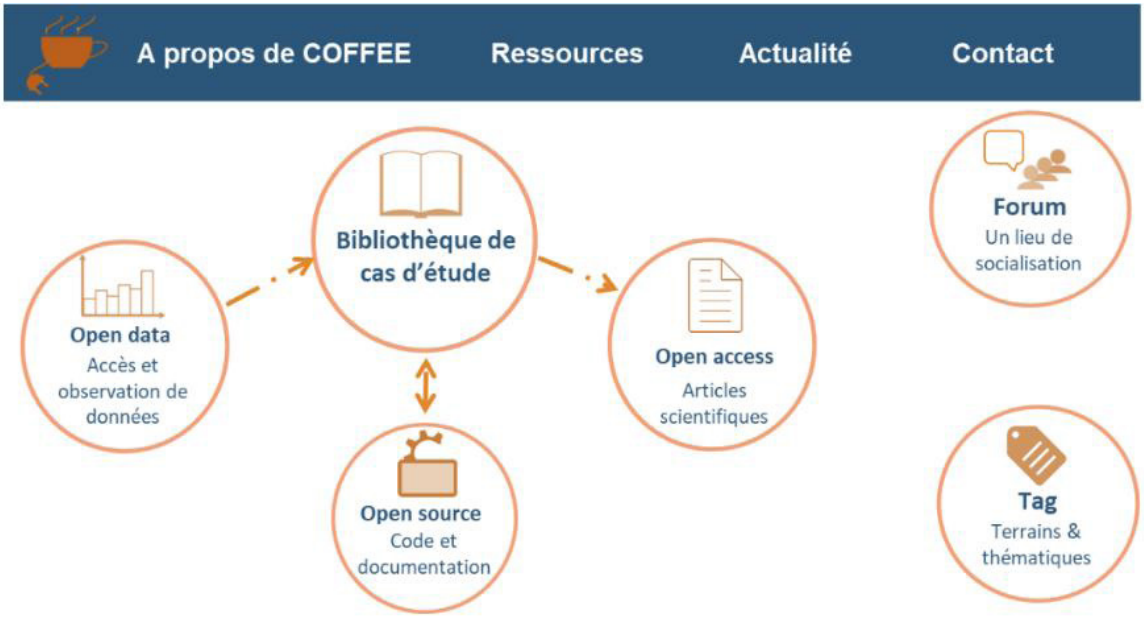
Internship offer
Graduate level

Specification and Development of the COFFEE Platform for Publishing Energy Case Studies Online

Date: february 2027 (duration: 6 months)
Location: G2Elab, Grenoble

Context:

As part of the energy transition, open modeling—based on accessible and reusable data, software, and case studies—serves as a catalyst for the rapid dissemination and deployment of innovative and high-performance solutions.
In this context, G2Elab proposes to develop a web-based platform for reusable case studies. An initial prototype has already been developed



COFFEE: Collaborative Open Framework For Energy Engineering

Objectives:

During this internship, the student will work alongside a researcher to define and develop this platform.

Tasks and methodology:

He or she will be required to use Jupyter notebooks to model case studies, drawing on open data, open-source simulation and optimization software, and results disseminated in the form of scientific publications.

Using the ORUCE methodology [1], the structuring and documentation of these various sources will be improved to partially automate publication in COFFEE (for example, by using FrontMatter to organize and enrich Markdown documentation).
The web interface will be updated accordingly and tested with a panel of researchers in the field to gather feedback.

Reference: [1] Sacha Hodencq, Benoit Delinchant, Wurtz Frederic. Open and Reproducible Use Cases for Energy (ORUCE) methodology in systems design and operation: a dwelling photovoltaic self-consumption example. Building Simulation 2021, Sep 2021, Bruges, Belgium. hal-03341883

Required skills:

Python and web development, energy modeling, community management.

Supervision and contact:

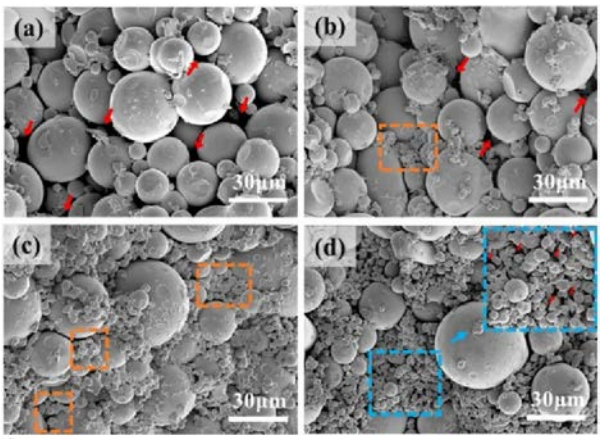
Seun Osonuga, seun.osonuga@g2elab.grenoble-inp.fr
Frédéric Wurtz
Sacha Hodencq
Benoit Delinchant

Stage de fin d'étude
M2

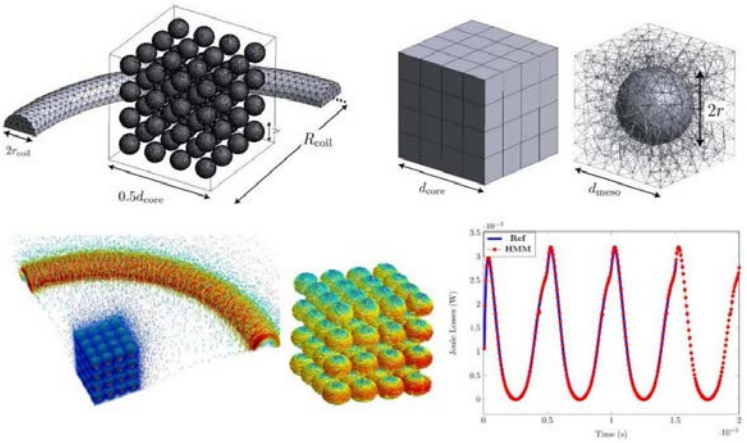
Modélisation multi-échelle non Linéaire des composites magnétiques avec MFEM

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :
Les matériaux composites magnétiques doux (Soft Magnetic Composites, SMC) sont de plus en plus utilisés dans les dispositifs d'électrotechnique et d'électronique de puissance pour 3 raisons : (1) Contrairement aux tôles laminées, qui canalisent efficacement le flux magnétique uniquement dans leur plan, les SMC présentent un comportement ferromagnétique isotrope en trois dimensions, permettant des topologies de machines et de convertisseurs jusqu'ici inaccessibles ; (2) l'isolation électrique de chaque particule ferromagnétique limite fortement les courants de Foucault, réduisant les pertes fer aux fréquences moyennes et élevées et rendant les SMC adaptés aux convertisseurs de puissance à fréquence de découpage élevée ; (3) leur mise en forme par métallurgie des poudres permet d'obtenir des géométries 3D complexes à moindre coût, sans les opérations d'usinage ou d'assemblage requises pour les empilements de tôles.
Cette liberté géométrique s'accompagne toutefois d'une difficulté accrue de modélisation numérique. La méthode des éléments finis (EF) est couramment utilisée pour étudier les matériaux composites ferromagnétiques aux géométries complexes et non linéaires. Elle est souvent associée aux techniques d'homogénéisation afin de réduire le coût numérique d'un maillage fin du composite. Dans ce contexte, la méthode Heterogeneous Multiscale Method (HMM), connue sous le nom de FE2 en mécanique, est largement utilisée et fournit d'excellents résultats pour les problèmes multi-échelles lorsque l'hypothèse de séparation d'échelles est vérifiée [1].
Cette approche a déjà été mise en oeuvre au sein du laboratoire de Génie électrique de Grenoble (G2Elab). Des techniques d'homogénéisation ont été développées pour traiter des problèmes magnétostatiques (MS) et magnétoquasistatiques (MQS) dans les noyaux laminés ou dans les SMC idéalisés :



Micrographie d'un composite magnétique doux



Géométries et résultats de simulations comparant les résultats de référence et ceux obtenus par homogénéisation pour un composite magnétiques doux idéalisé.

Un premier travail exploratoire a aussi récemment permis de développer une implémentation pour résoudre des problèmes MS et MQS, 2D et 3D `a une seule échelle. Ce travail a aussi permis de développer une première ébauche d'un modèle multi-échelle 2D pour un problème magnétostatique multi-échelle linéaire dans la plateforme de calcul numérique open-source MFEM [2, 3].

Objectifs :
Ce stage a pour objectif de prolonger l'implémentation de la méthode HMM initiée lors des travaux précédents, en l'étendant simultanément selon trois axes : extension du modèle 2D du régime linéaire au régime non linéaire, prise en compte des courants induits et, selon l'avancement du stage, extension du modèle 2D au cas 3D.

Références :
[1] J. Yvonnet, Computational Homogenization of Heterogeneous Materials with Finite Elements. Springer, 2019
[2] R. Anderson, et al. "MFEM: A modular finite element methods library." Comput. Math. Appl. 81 (2021): 42-74
[3] MFEM (https://mfem.org/)

Travaux attendus :
- Étude bibliographique sur l'homogénéisation multi-échelle non linéaire et sur son extension aux problèmes instationnaires (courants induits).
- Extension du modèle HMM 2D existant (actuellement linéaire et statique) aux matériaux non linéaires, en régime magnétostatique.
- Extension du modèle HMM 2D au problème des courants induits (régime instationnaire), d'abord en linéaire puis en non linéaire.
- Extension de l'implémentation HMM à la 3D, en s'appuyant sur les développements 2D précédents.
- Validation et comparaison systématique des modèles HMM 2D/3D avec des simulations de référence à l'échelle fine, sur des cas tests représentatifs.

Compétences requises :
- Maîtrise des méthodes numériques, notamment de la méthode des éléments finis.
- Bonne maitrise de la programmation orientée-objet.
- Intérêt pour la modélisation numérique et pour l'électromagnétisme numérique.

Encadrement :
Brahim RAMDANE, enseignant-chercheur - Grenoble-INP, G2Elab (équipe MAGE)
Innocent NIYONZIMA - enseignant-chercheur - Université Grenoble Alpes, G2Elab (équipe MAGE)

Contacts :
brahim.ramdane@g2elab.grenoble-inp.fr – 04 76 82 64 30
innocent.niyonzima@g2elab.grenoble-inp.fr - 04 76 82 62 08

Stage de fin d'étude
M2

Essor des besoins énergétiques de l'Intelligence Artificielle au regard de l'électrification de l'industrie : de la situation actuelle aux perspectives dans un cadre de nécessité de transition décarbonée soutenable

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :

Dans le cadre d'une transition énergétique décarbonée soutenable, passant par l'électrification, il devient nécessaire de modéliser et d'anticiper les besoins des secteurs. Ce sujet de proposer de focaliser tout particulièrement sur l'industrie et sa feuille de route décarbonation, et le secteur de l'IA dont la croissance impacte la disponibilité des ressources électrifiées. Les 2 secteurs ont en de commun de relever de qu'on appelle les électro-intensifs, à savoir les acteurs qui vont consommer de grandes quantités d'électricité, et générer de grandes quantités de chaleur, posant ainsi la question de leurs impacts et leur insertion à l'interface des réseaux électriques de transports et de distribution et des réseaux urbains de chaleur.

Objectifs et méthodes :

L'objet du stage sera de contribuer à une cartographie française et européenne des acteurs des installations existantes, ou à venir dans le secteur de l'IA et dans les secteurs industriels électrifiés ou dont l'électrification est à venir (sidérurgie, chimie, agro-alimentaire, papéterie, industrie de la chaleur…), et de les mettre en correspondance avec des électro-intensifs relevant d'infra-structures de recherche.

Le G2Elab, en lien avec le laboratoire LNCMI, par l'intermédiaire de projet nationaux et européens, a déjà travaillé sur l'identification des électro-intensifs que sont les grandes installations de recherche (à l'instar du LNCMI, du CERN, …) et de leur exploitation flexible à l'interface des réseaux électriques et des réseaux de chaleur. La cartographie qui en a résulté à l'échelle européenne a vocation à être mise en regard avec une cartographie des autres électro-intensifs que les sont les industries et les data-centres massivement au service de l'IA. Ceci doit permettre de mettre en regards les quantités de puissance et d'énergie respectivement mobilisées par les uns et les autres.

On cherchera à classer ces acteurs dans des typologies (au regard des caractéristiques de leur demande électrique et des leviers de flexibilité socio-techniques qu'ils peuvent offrir en consommation électrique et production de chaleur), de sorte à pouvoir permettre une mise en correspondance pouvant notamment contribuer à mesurer les risques de concurrences et/ou de complémentarité dans le cadre d'une transition énergétique qui doit tendre vers la décarbonation et la soutenabilité.

Références :

[1] Séverin Valla, Nana Twum-Duah, Sacha Hodencq, Francois Debray, Frédéric Wurtz. Flexibilité pour la durabilité des systèmes multiénergie : le cas d'une grande infrastructure de recherche. Symposium de Génie Électrique SGE 2025, Jul 2025, Toulouse, France. hal-05235968

[2] Rapport de l'IEA, «Energy and AI», https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/energy-and-ai#

[2] Site du PEPR SPLEEN sur la décarbonation de l'Industrie : https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/energy-and-ai#

Compétences requises:

Développement python, modélisation énergétique, contribution à l'établissement de base de données et de cartographie d'acteurs en vue de publication dans des bases de données ouvertes

Encadrement :

Frédéric Wurtz, Séverin Valla, Sacha Hodencq, Benoit Delinchant, Nana Twum Duah - G2Elab
François Debray, chercheur CNRS-CEA - LNCMI

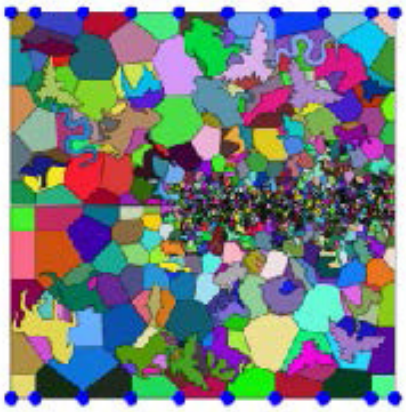
Contact : frederic.wurtz@g2elab.grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Méthode des éléments virtuels pour la modélisation magnétomécanique

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble
Mots-clés : Méthode des éléments virtuels, maillage polygonale/polyédrique, formulation, projection, programmation scientifique, simulation numérique, magnétostatique, mécanique, forces magnétiques

Contexte :
La modélisation numérique des phénomènes magnéto-mécaniques constitue un problème multi-physique complexe dans lequel les interactions entre le champ électromagnétique et la réponse mécanique de la structure doivent être prises en compte de manière cohérente. Ces interactions peuvent résulter d'un couplage intrinsèque, ie. à l'échelle du matériau (magnétostriction,. . .), ou d'un couplage extrinsèque, ie. à l'échelle de la structure. Ces couplages interviennent notamment dans les dispositifs électromécaniques, les matériaux magnéto-actifs, les machines électriques et les systèmes soumis à des forces électromagnétiques importantes.
La méthode des éléments finis (MEF) constitue aujourd'hui l'un des outils de référence pour traiter ce type de problèmes. Cependant, son utilisation peut devenir délicate lorsque la géométrie est complexe, lorsque les interfaces entre matériaux évoluent ou lorsque les déformations mécaniques entraînent une modification importante du domaine électromagnétique.
La méthode des éléments virtuels (Virtual Element Method, VEM) offre une alternative particulièrement intéressante. Contrairement aux éléments finis classiques, elle permet de construire des espaces d'approximation sur des maillages polygonaux ou polyédriques généraux, sans avoir besoin de connaître explicitement les fonctions de base à l'intérieur de chaque élément. Celles-ci sont déterminées implicitement sur chaque élément pendant le calcul, d'où le nom virtuel. Des nœuds peuvent ainsi être ajoutés ou supprimés pendant le calcul sans nécessité de recalculer ou de changer la base de l'élément. Cette propriété ouvre notamment la voie à des méthodes plus robustes pour les problèmes à géométrie évolutive et les couplages multiphysiques.



Objectifs :
Ce stage vise à explorer le potentiel de la VEM pour la résolution et l'analyse de problèmes magnéto-mécaniques fortement couplés. Le stage aura donc pour objectif principal de développer une formulation VEM pour un problème magnéto-mécanique couplé et d'en étudier les propriétés mathématiques et numériques. Il cherchera à répondre à la question : Comment construire une formulation par éléments virtuels stable, consistante et efficace permettant de représenter le couplage entre le problème électromagnétique et le problème mécanique, tout en conservant les propriétés de flexibilité géométrique de la VEM ?
Dans ce cadre, le (la) candidat(e) participera à l'étude et à l'implémentation de la méthode des éléments virtuels pour traiter des problèmes magnéto-mécaniques couplés. Une comparaison avec la méthode des éléments finis sera conduite afin d'analyser le comportement de la VEM sur des cas tests.

Travaux attendus :
Les différentes phases du stage pourront notamment porter sur :
- la formulation variationnelle du problème magnéto-mécanique,
- la construction d'espaces VEM adaptés aux sous-problèmes mécanique et électromagnétique,
- la définition des opérateurs de projection nécessaires à la construction des formes bilinéaires,
- la construction d'un terme de stabilisation adapté au problème couplé,
- l'étude du transfert des efforts électromagnétiques vers le problème mécanique,
- l'analyse de différentes stratégies de couplage entre les deux physiques,
- l'étude de la convergence de la méthode sur des maillages polygonaux généraux,
- la comparaison avec une discrétisation éléments finis de référence.

Compétences requises :
- Le ou la candidat·e devra faire preuve d'autonomie, de rigueur scientifique et d'un goût prononcé pour le développement d'outils de modélisation et code de calcul scientifique. Il (elle) doit être motivé(e) par la recherche appliquée en collaboration avec des chercheurs de différentes disciplines.
- Un bon niveau d'anglais et des capacités de rédaction sont demandés.
- Bonne connaissance de la méthode des éléments finis, programmation scientifique (Java, Python, Matlab), notion en algorithmique, un peu de physique (magnétostatique, mécanique des milieux continus).

Encadrement :
Nicolas Galopin, enseignant-chercheur - UGA, G2ELab (équipes MADEA et MAGE)

Contact : nicolas.galopin@univ-grenoble-alpes.fr - 04 76 82 71 77

Stage de fin d'étude
M2

Contribution aux développements et études pour la prédiction du CRM des navires

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble
Mots-clés : électromagnétisme quasi statique, simulations numériques

Contexte :
Dans un contexte de furtivité, les champs électromagnétiques générés par les navires produisent des anomalies détectables : celles-ci doivent d'être maitrisées.
Il existe deux grandes familles d'anomalie ; l'anomalie de champ magnétique principalement produite par le ferromagnétisme de coque et l'anomalie de champ électrique principalement produite par les phénomènes de corrosion sur les parties immergées.
Or, la présence d'un champ électrique dans un milieu conducteur, l'eau de mer, génère à son tour un champ magnétique. Ainsi, les courants de corrosion naturelle ou ceux générés par les systèmes de protection associés créent un champ magnétique appelé CRM (« Corrosion Related Magnetic » field ou champ magnétique relatif à la corrosion). Il est certes admis que ce CRM est du second ordre en comparaison de l'anomalie magnétique engendrée par le ferromagnétisme de coque. Néanmoins, il est possible de montrer que son évolution spatiale diffère du champ créé par la coque lorsqu'on s'éloigne du bâtiment.
Aujourd'hui, le ferromagnétisme de coque génère une anomalie magnétique qui est de mieux en mieux maîtrisée grâce à de meilleures techniques de traitement ou la mise en oeuvre de systèmes d'immunisation actifs de plus en plus performants. Par conséquent, le CRM doit être mieux maîtrisé pour ne pas devenir une indiscrétion importante. Cette maîtrise passe par le développement d'outils de modélisation plus précis ainsi que la réalisation d'une étude complète concernant les niveaux que l'anomalie générée par le CRM peut atteindre en fonction de la distance.

Objectif :
L'objectif de ce stage est de participer aux développements et études pour faire progresser de manière significative la compréhension et l'évaluation des anomalies magnétiques générées par le CRM. Étant donné la complexité d'obtenir des mesures sur des cas réels, l'approche privilégiée reposera principalement sur des modélisations numériques. Des méthodes numériques seront donc élaborées et comparées sur des cas simples, pour lesquels des solutions analytiques sont disponibles.

Travaux attendus :
Les principales tâches seront :
• Bibliographie des différentes méthodes de calcul du CRM actuellement disponibles dans la littérature
• Avec l'appui d'un ingénieur spécialisé dans le développement de codes scientifiques, un premier modèle sera développé et implémenté dans les outils de calcul développés au laboratoire. Il permettra de prendre en compte le champ généré par les courants circulant dans la carène et les

courants circulant dans l'eau. Le modèle devra prendre en compte les interfaces (eau/air, eau/sol) et être compatible avec la prise en compte des symétries afin de réduire les temps de calcul.

• Une étude globale pourra être menée et permettra de déterminer la contribution du CRM sur l'anomalie magnétique globale de l'objet modélisé. Une attention particulière sera portée sur l'évolution de cette anomalie CRM avec notamment une comparaison à celle dû au ferromagnétisme de coque. Les niveaux et directions des deux anomalies seront comparés en particulier à grande distance.

Compétences requises :

Compétences en sciences physiques (magnétostatique, électrostatique, électrochimie), programmation (Python, Java, Matlab) et en simulation numérique (éléments finis, intégrales de frontières).

Encadrement :

Olivier Pinaud - G2Elab (équipe MAGE)
Laure-Line Rouve - G2Elab (équipe MAGE)

Contacts :

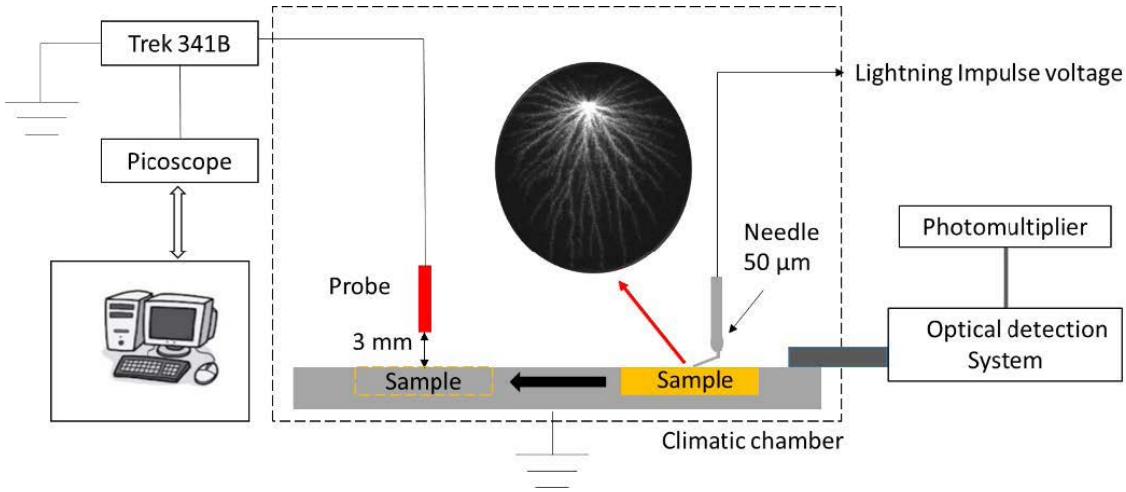
olivier.pinaud@g2elab.grenoble-inp.fr
laure-line.rouve@g2elab.grenoble-inp.fr

Internship offer
Graduate level

Electrical Discharges and Surface Potential Decay in Graphene Based Polypropylene Nanocomposites for Sustainable Electrical Insulation

Date: february 2027, duration : 6 months
Location: G2Elab, Grenoble
Keys-words: High-voltage engineering, Sustainable electrical insulation, Surface potential decay, Electrical discharges, Experimental characterization

Context:
The transition towards more sustainable electrical insulation systems has become a major challenge for future medium and high voltage equipment. Replacing cross-linked polyethylene (XLPE), the current reference insulating material, with recyclable thermoplastic polymers is a key objective. Among the most promising candidates, graphene-filled polypropylene (PP) nanocomposites offer attractive mechanical and thermal properties. However, the influence of graphene nanoparticles on the dielectric behaviour of these materials remains only partially understood.
Charge trapping, transport and accumulation strongly influence electrical ageing, partial discharge activity and dielectric breakdown. Surface potential decay (SPD) measurements provide valuable information on charge dynamics and trap characteristics, while electrical discharge measurements reveal the mechanisms leading to insulation degradation and breakdown. Establishing links between these experimental observables and the material microstructure is therefore essential for developing the next generation of environmentally friendly insulating materials.



Objectives:
The objective of this internship is to experimentally investigate the electrical behaviour of graphene-based polypropylene nanocomposites through complementary charge and discharge diagnostics (using the experimental set up of the above figure).

The work will focus on:

- Surface potential decay measurements to characterize charge relaxation mechanisms and trapping phenomena.
- Electrical discharge measurements
- Analysis of the influence of graphene concentration on the electrical behaviour of the materials.
- Correlation between discharge characteristics, charge decay behaviour and material properties.

Contribution to the identification of physically meaningful parameters that could later be integrated into physics-informed predictive models for dielectric insulation.

Tasks:

You will join the MDE (Materials, Dielectrics and Electrostatics) research team at G2Elab and will benefit from the supervision and expertise of researchers from G2Elab, the LAPLACE laboratory (France), and polymèrETS (Montréal, Canada), within the framework of an international academic collaboration.

The student will:

- Become familiar with high-voltage experimental techniques and electrical insulation materials.
- Participate in the development and optimization of experimental setups.
- Perform electrical measurements and analyse the experimental data.
- Compare the behaviour of different nanocomposite formulations.
- Present the results through a technical report and an oral presentation.

Contact:

Rachelle Hanna - Rachelle.hanna@grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

État de l'art des recherches en Génie Electrique dédiées aux enjeux de transitions : identification d'éventuelles lacunes eu égard aux quatre scénarios de l'ADEME

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :
En 2021, RTEi a entrepris d'élaborer et d'analyser les scénarios prévisionnels et prospectifs sur le système électrique français. De son côté et de façon concomitante, l'ADEME a pris la responsabilité de soumettre au débat public quatre chemins « types » cohérents qui présentent de manière volontairement contrastée des options économiques, techniques et de société pour atteindre la neutralité carbone en 2050. Enfin en 2022, le «ComEtSii (Comité d'éthique du CNRS) a conféré à la communauté académique la responsabilité particulière de s'interroger sur les usages qui pourront être faits des connaissances (notamment leur transformation en innovations) et sur la manière dont ces dernières peuvent répondre aux problèmes que rencontre la société ou au contraire les pérenniser voire les aggraver.

Objectifs et travail demandé :
Ce mémoire de master a pour objectif de dresser l'état de l'art des recherches en Genie Electrique dédiées aux enjeux de transitions. Le sous objectif de ce projet consistera à pointer d'éventuelles lacunes en matière de diversification de ces recherches eu égard aux quatre scénarios de l'ADEME et à construire le cas échéant un projet scientifique visant à adresser l'une des questions de « recherches non faites ».
Le ou la stagiaire construira ainsi cet état de l'art par une analyse exhaustive des sujets de thèses en Génie Electriques dédiées aux enjeux de transitions de 1960 à ce jour. Il s'agira d'identifier les objectifs de recherche contenus dans ces thèses, permettant de les catégoriser suivant les 4 scénarios de l'ADEME. Le ou la stagiaire proposera des infographies (chronologique, thématique et géographique) permettant de révéler d'éventuelles lacunes ou au contraire une forme d'équilibre entre les scénarios explorés. Cette première partie du travail fera l'objet d'une publication scientifique.
Dans une deuxième partie, il s'agira de co-construire avec l'aide de partenaires issus des SHS un sujet de recherche fondé sur un objectif de recherche inédit dédié à une soutenabilité forte alliant le Génie Electrique et les SHS et sur lequel le ou la stagiaire aurait envie de s'investir pour les 3 années suivantes.

Compétences requises :
L'étudiant·e en Master 2 ou en dernière année d'École d'Ingénieur (en Génie Électrique), sera apprécié·e·pour son acculturation aux 4 scénarios de l'ADEMEiii, son intérêt porté·e sur les rôles et positionnements de la recherche face aux enjeux socio-écologiques iv, et ouvert·e à l'idée de mener ensuite une thèse située dans le spectre de l'interdisciplinarité forte (SHS/STS)v

Encadrement :
Le stage se déroulera au G2Elab (Grenoble) au sein de l'équipe MDE. Le où la stagiaire pourra compter sur la direction scientifique d'Olivier Gallot-Lavallée, Enseignant Chercheur - HDR (G2Elab/IUT1 dpt. MP UGA). Cette étude, de nature transversale, sera menée en interaction avec des membres des 4 autres équipes de recherche du G2Elab impliqués par les questions de soutenabilité forte en GE (SYREL, MADEA, EP, MAGE)

Contact :
olivier.gallot-lavallee@g2elab.grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

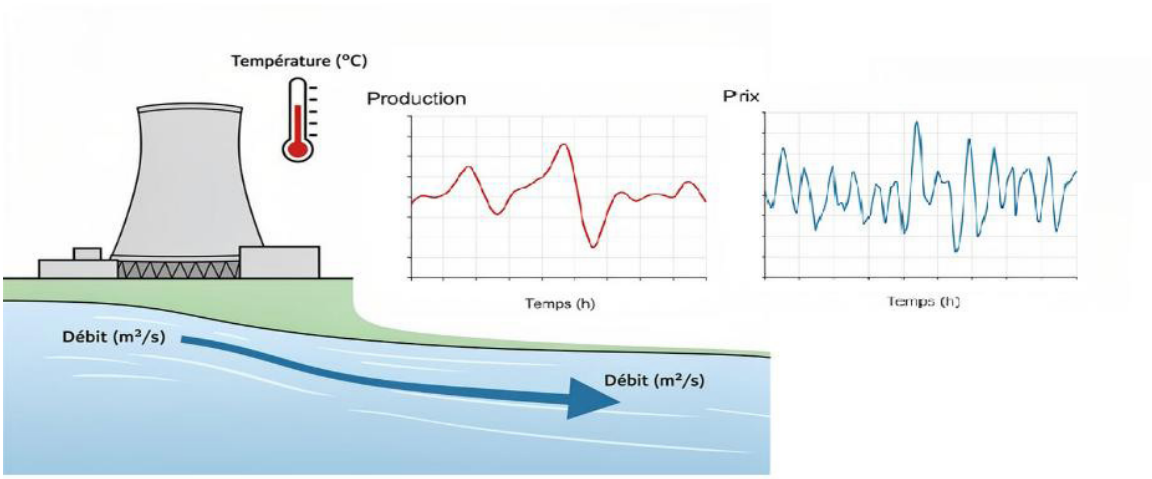
Optimisation de la participation des centrales nucléaires aux marchés spot de l'énergie sous contraintes opérationnelles

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :
La transition énergétique et l'essor des énergies renouvelables intermittentes imposent une flexibilité accrue du système électrique. Les centrales nucléaires, traditionnellement utilisées en production de base, pourraient contribuer à cette flexibilité en participant aux marchés spot de l'énergie (ex : EPEX Spot). Ce stage, en collaboration avec Framatome, vise à étudier l'opportunité pour les groupes de production nucléaire de s'engager sur ces marchés, en optimisant leur exploitation en réponse à des signaux de prix dynamiques, tout en respectant des contraintes opérationnelles (rampe de puissance, temps de redémarrage).

Objectifs :
Les principaux objectifs et étapes du stage consisteront à:

• Identifier et formaliser les contraintes opérationnelles - limites techniques des réacteurs.
• Lier ces contraintes à des données environnementales (e.g. température, débit d'eau).
• Traduire ces contraintes dans le modèle mathématique d'un groupe de production nucléaire.
• Intégrer ce modèle dans un problème d'optimisation pour la maximisation du revenu d'un groupe de production participants aux marchés SPOT de l'électricité.
• Effectuer des optimisations sur une période représentative et faire une analyse technico-économique des résultats obtenus – revenue, régime de fonctionnement, énergie générée.



Compétences requises :

- Connaissances en modélisation et formulation de problèmes d'optimisation (linéaire, mixte-entière).
- Programmation et modules : Expérience en Python (Pyomo, Pandas, NumPy) ou MATLAB (YALMIP) ou Julia (JuMP).
- Utilisation de solveurs : Gurobi, CPLEX, CBC.
- Autonomie et rigueur : Capacité à travailler avec des données industrielles et à proposer des solutions innovantes.

Encadrement :

Dr Rémy RIGO-MARIANI - CNRS, G2Elab (équipe SYREL)

Contact :

remy.rigo-mariani@grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Technologies de communication pour la coordination des ressources énergétiques décentralisées (RED) dans les réseaux basse tension

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :
La pénétration croissante de la production photovoltaïque (PV) décentralisée dans les réseaux de distribution à basse tension (BT) nécessite des solutions de communication fiables et rentables, capables de faciliter la coordination des ressources énergétiques décentralisées (RED) par les gestionnaires de réseaux de distribution (GRD).
Le choix d'une technologie de communication adaptée constitue donc une étape cruciale pour la mise en oeuvre de stratégies de contrôle évolutives destinées aux futurs réseaux intelligents.
Le projet s'appuie actuellement sur la technologie LoRa pour la communication à distance avec les onduleurs résidentiels. Cependant, d'autres technologies — notamment Wi-SUN — doivent faire l'objet d'études et d'évaluations expérimentales afin d'évaluer leur adéquation en termes de fiabilité, de latence, d'évolutivité, d'interopérabilité et de facilité de déploiement. C'est ce qui motive les travaux proposés dans ce mémoire de master.

Objectif :
Faire le point sur l'état de l'art des technologies de communication (LoRa, Wi-SUN) utilisées pour la coordination des ressources énergétiques décentralisées (RED) dans les réseaux de distribution à basse tension.
• Mettre en place une liaison de communication Wi-SUN avec des onduleurs résidentiels en laboratoire, en parallèle du déploiement LoRa existant.
• Concevoir et mener une campagne expérimentale comparative, en définissant des critères puis en les évaluant en termes de fiabilité, de latence, d'évolutivité, d'interopérabilité et de facilité de déploiement.
• Formuler des recommandations sur l'architecture de communication la plus appropriée pour des stratégies de contrôle évolutives des ressources décentralisées (DER), sur la base des résultats obtenus lors de l'évaluation précédente.

Travaux attendus :
Le/la stagiaire contribuera à cet effort en mettant en oeuvre et en testant ces deux technologies de communication, en apportant son soutien aux expériences en laboratoire et en réalisant une évaluation comparative des performances. Ce travail s'articule autour des activités suivantes :
• Mise en place d'un banc d'essai en laboratoire comprenant des onduleurs résidentiels, une passerelle de communication et une application de collecte de données côté gestionnaire de réseau de distribution (DSO).
• Configuration et évaluation comparative d'une liaison Wi-SUN Field Area Network (FAN), et comparaison avec la liaison LoRa/LoRaWAN existante.

- Définition et mesure des indicateurs clés de performance (taux de transmission des paquets, latence de bout en bout, évolutivité du réseau, facilité de mise en service, etc.).
- Analyse de l'interopérabilité avec les stratégies de contrôle des ressources énergétiques distribuées (RED) en cours de développement, afin que la recherche fondamentale puisse rester axée sur le contrôle des onduleurs.

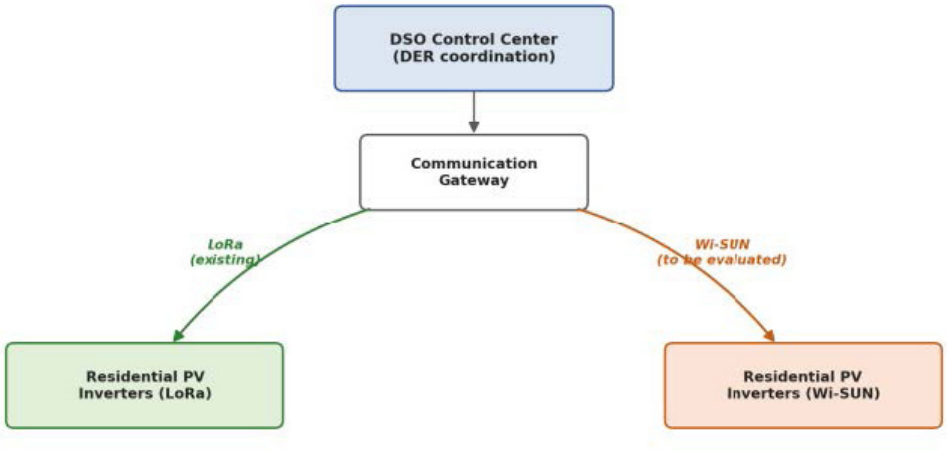


Figure 1. Architecture de communication visée entre le centre de contrôle du DSO et les onduleurs photovoltaïques résidentiels

Compétences requises :
Réseaux et protocoles de communication embarqués, Python ou C pour les scripts de test et les micrologiciels, et un intérêt pour les systèmes électriques et les réseaux intelligents.

Encadrement :
Vincent DEBUSSCHERE et Carlos MANRIQUEZ VENAGAS

Contact : carlos-nicolas.manriquez-venegas@grenoble-inp.fr

Internship offer
Graduate level

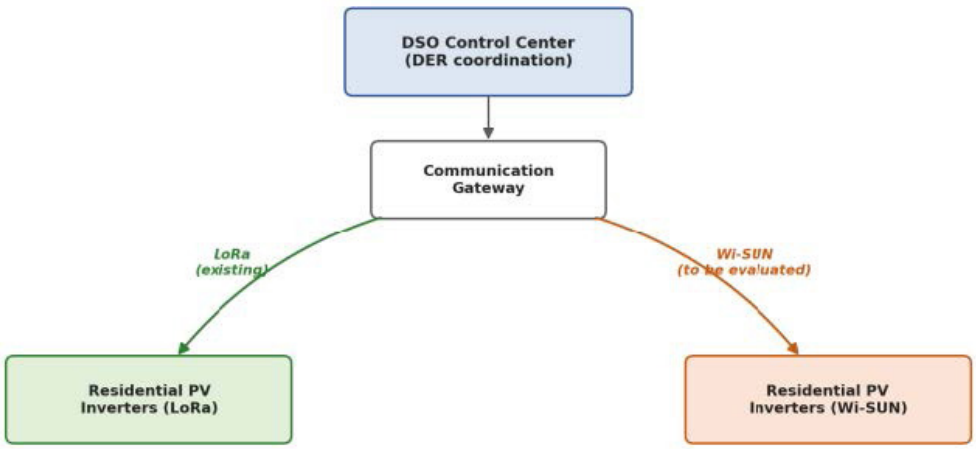
Communication Technologies for DER Coordination in low voltage Grids

Date: february 2027, duration: 6 months
Location: G2Elab, Grenoble

Context:
The growing penetration of distributed photovoltaic (PV) generation in Low Voltage (LV) distribution grids calls for reliable, cost-effective communication solutions capable of supporting the coordination of Distributed Energy Resources (DERs) by Distribution System Operators (DSOs).
Choosing the right communication technology is therefore a critical step toward deploying scalable control strategies for future smart grids.
The project currently relies on LoRa for remote communication with residential inverters. However, alternative technologies — Wi-SUN in particular — require investigation and experimental evaluation to assess their suitability in terms of reliability, latency, scalability, interoperability, and ease of deployment. This is the motivation for the work proposed in this Master's Thesis.

Objectives:
Review the state of the art of communication technologies (LoRa, Wi-SUN) used for DER coordination in LV distribution grids.
- Implement a Wi-SUN communication link with residential inverters in the laboratory, in parallel with the existing LoRa deployment.
- Design and run a comparative experimental campaign, defining criteria then assessing them regarding reliability, latency, scalability, interoperability, and ease of deployment.
- Formulate recommendations on the most appropriate communication architecture for scalable DER control strategies based on the results obtained in the previous assessment.

Tasks and methods:



Target communication architecture between the DSO control center and residential PV inverters

The intern will contribute to this effort by implementing and testing the two communication technologies, supporting laboratory experiments, and carrying out a comparative performance evaluation. This work centers on the following activities:

• Setting up a laboratory test bench with residential inverters, a communication gateway, and a DSO-side data collection application.

• Configuring and benchmarking a Wi-SUN Field Area Network (FAN) stack, and comparing it against the existing LoRa/LoRaWAN link.

• Defining and measuring key performance indicators (packet delivery ratio, end-to-end latency, network scalability, ease of commissioning, etc.).

• Analyzing interoperability with DER control strategies under development, so that core research can remain focused on inverter control.

Required skills:

Networking and embedded communication protocols, Python or C for test scripts and firmware, and an interest in power systems / smart grids.

Supervision and contacts:

Vincent DEBUSSCHERE and Carlos MANRIQUEZ VENAGAS - G2Elab
carlos-nicolas.manriquez-venegas@grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Évaluation de l'intégration des MVDC dans les réseaux de distribution selon des critères de planification et de stabilité

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :
L'expansion rapide des ressources énergétiques distribuées (RED) intégrées a exercé une pression considérable sur les réseaux de distribution, augmentant ainsi le risque de dépasser les contraintes opérationnelles et de compromettre les limites de sécurité du réseau. Bien que les méthodes opérationnelles existantes aient été mises en oeuvre pour relever ces défis, leur capacité corrective limitée nécessite la mise en place de mesures de développement du réseau afin de garantir les performances dans le respect des mêmes limites opérationnelles. De plus, l'augmentation de la part des DER au sein du réseau révèle une évolution vers des sources de production en courant continu (CC) natives au sein du réseau de distribution et, du point de vue de la demande, une augmentation des charges en CC natives. Ces tendances plaident en faveur de l'introduction d'une topologie de réseau hybride capable d'accueillir un flux de courant continu depuis la source jusqu'au point de raccordement ou sous la forme d'une connexion point à point en courant continu au sein du réseau en courant alternatif (AC).

Objectifs :
Ce stage s'inscrit dans le cadre du projet **DC Architect**, financé par l'ANR, qui étudie l'intégration du courant continu au sein du réseau de distribution. L'objectif de ce stage est d'étudier les scénarios et les opportunités que les segments en courant continu peuvent offrir au réseau selon une approche multicritère, allant des paramètres de planification statiques à l'intégration de critères de stabilité dans un cadre décisionnel. Les responsabilités et les objectifs du stagiaire sont les suivants :

- Étudier les scénarios d'intégration du courant continu au niveau de la distribution et définir les topologies candidates susceptibles d'être évaluées.
- Prendre en charge la chaîne d'évaluation multicritère existante et reproduire les résultats de référence avec différentes topologies et différents critères de comparaison.
- Appliquer le cadre à l'ensemble de la matrice de scénarios et identifier les cas où la stabilité modifie la décision de planification.
- Adopter une perspective plus large sur les avantages ou l'influence que le MVDC peut apporter au réseau de distribution, au-delà des critères déjà pris en compte, et développer cette piste de recherche.

Profil recherché :

- Connaissances en matière de réseaux électriques et de modélisation dynamique des réseaux électriques.
- Compétences en programmation sous MATLAB/Simulink.
- Autonomie, rigueur et curiosité scientifique.

- Bonnes aptitudes à la communication et capacité à travailler dans un environnement de recherche collaboratif.

Encadrement :
Vincent DEBUSSCHERE, enseignant-chercheur - UGA, G2Elab (équipe SYREL)
Carlos CHAPARRO, doctorant - G2Elab (équipe SYREL)

Contacts :
vincent.debusschere@grenoble-inp.fr
carlos.chaparro@g2elab.grenoble-inp.fr

Internship offer
Graduate level

Evaluation of MVDC Integration in Distribution Grids under Planning and Stability Criteria

Date: february 2027, duration: 6 months
Location: G2Elab, Grenoble

Context:
The rapid expansion of integrated Distributed Energy Resources has placed significant stress on distribution grids, increasing the risk of exceeding operational constraints and compromising grid safety limits. Although existing operational methods have been employed to address these challenges, their limited corrective capacity necessitates the implementation of grid development measures to ensure performance within the same operational boundaries. Additionally, the increase in the share of DERs within the grid reveals a shift towards native DC generation sources in the distribution grid and, from the perspective of demand, an increase in DC native loads. The trends support the introduction of a hybrid grid topology that accommodates DC flow from the source to the point of connection or as a DC point-to-point connection within the AC grid.

Objectives:
This internship takes place within the **DC Architect project f**unded by the ANR, which studies the introduction of DC within the distribution network. The goal of the internship is to investigate the scenarios and opportunities that DC segments can offer to the grid from a multi-criteria perspective, ranging from static planning parameters to the introduction of stability criteria within a decision framework. The responsibilities and objectives of the intern are the following:
• Investigate DC integration scenarios at the distribution level and define the possible candidate topologies to be assessed.
• Take ownership of the existing multi-criteria evaluation chain and reproduce the baseline results with different topologies and benchmarks.
• Apply the framework across the scenario matrix and identify where stability changes the planning decision.
• Take a broader perspective on what MVDC can benefit or influence in the distribution network, beyond the criteria already covered, and develop this line of investigation.

Profile:
• Knowledge of electrical power systems and dynamic modeling of electrical networks.
• Programming skills in MATLAB/Simulink.
• Autonomy, rigor, and scientific curiosity.
• Good communication skills and ability to work in a collaborative research environment.

Supervision and contacts:
Vincent DEBUSSCHERE, vincent.debusschere@grenoble-inp.fr
Carlos CHAPARRO, carlos.chaparro@g2elab.grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Intégration de critères environnementaux dans la planification à long terme des réseaux de distribution

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

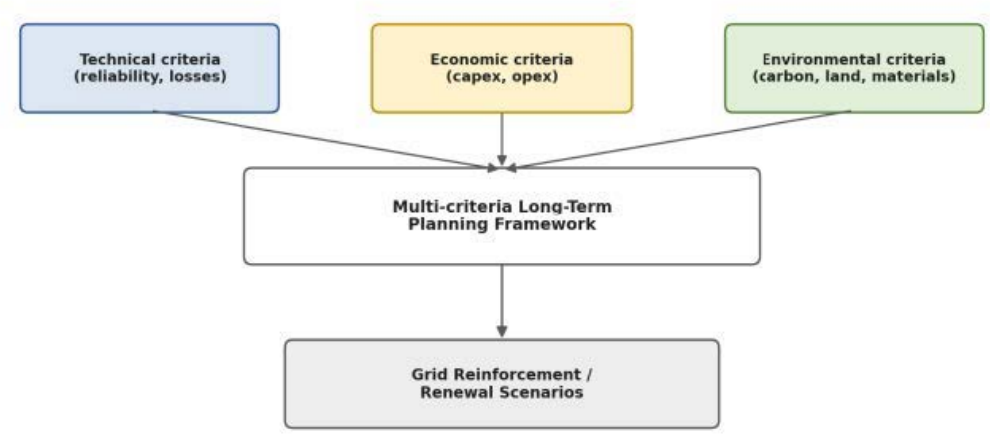
Contexte :
La planification à long terme des réseaux de distribution a traditionnellement été guidée par des critères techniques (fiabilité, qualité de l'énergie, pertes) et économiques (coûts d'investissement et d'exploitation), qui ont orienté les décisions relatives au renforcement des réseaux, au renouvellement des actifs et à leur extension.
La transition énergétique et l'empreinte environnementale croissante des infrastructures électriques (telle que l'épuisement des matières premières, l'occupation des sols et l'impact carbone de la fabrication, de l'installation et de l'exploitation des équipements du réseau) exigent des méthodologies de planification qui placent les critères environnementaux sur un pied d'égalité avec les critères techniques et économiques.
L'intégration de ces critères dans la planification à long terme pose des défis méthodologiques : les impacts environnementaux sont hétérogènes, souvent évalués sur des horizons temporels et à des échelles spatiales différentes de celles des indicateurs techniques ou économiques, et nécessitent des approches multicritères spécifiques pour accompagner la prise de décision des gestionnaires de réseau de distribution.

Objectifs :
- Passer en revue les cadres de planification existants des réseaux de distribution et identifier les indicateurs environnementaux pertinents (empreinte carbone sur l'ensemble du cycle de vie, consommation de matériaux, occupation des sols, impacts en fin de vie).
- Proposer une méthodologie de planification à long terme multicritère intégrant un ou plusieurs critères environnementaux, éventuellement parallèlement à des critères techniques et économiques.
- Appliquer cette méthodologie à une sélection de scénarios d'extension du réseau de distribution.
- Analyser les compromis et les synergies entre les objectifs de planification environnementaux, techniques et économiques.

Méthodologie et travaux attendus :
Le/la candidat(e) devra travailler sur une méthodologie axée sur les éléments clés suivants :
- Méthodes d'analyse décisionnelle multicritère permettant de regrouper des indicateurs hétérogènes au sein d'un cadre décisionnel commun.
- Approches d'analyse du cycle de vie (ACV) visant à quantifier les impacts environnementaux des infrastructures du réseau (câbles, transformateurs, postes électriques, ouvrages de génie civil).
- Modèles d'extension et de renouvellement à long terme du réseau, intégrant des scénarios de croissance de la charge et de la production (y compris le photovoltaïque distribué) sur des horizons

de plusieurs décennies.

- Étude de cas portant sur un réseau de distribution représentatif, comparant différentes voies de renforcement/renouvellement selon différentes pondérations des critères.



Cadre de planification à long terme du réseau de distribution selon plusieurs critères

Compétences requises :
Prise de décision multicritère, maîtrise des méthodes d'analyse du cycle de vie, planification des réseaux électriques, et maîtrise de Python ou d'outils similaires pour l'optimisation et l'analyse de données

Encadrement :
Marie-Cécile Alvarez, enseignante-chercheuse - Grenoble-INP, G2Elab (équipe SYREL)
Vincent Debusschère, enseignant-chercheur - UGA, G2Elab (équipe SYREL)

Contact :
Marie-Cecile.ALVAREZ@g2elab.grenoble-inp.fr
vincent.debusschere@grenoble-inp.fr

Internship offer
Graduate level

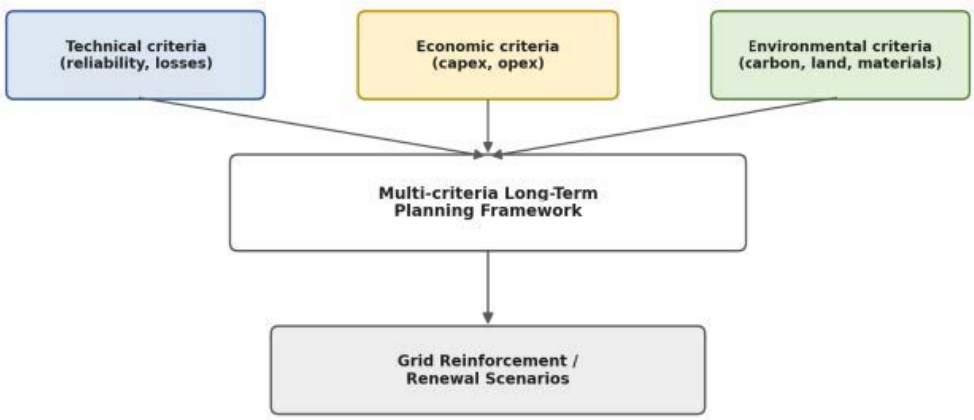
Integrating Environmental Criteria into Long-Term Distribution Grid Planning

Date: february 2027 (duration: 6 months)
Location: G2Elab, Grenoble

Context:
Long-term distribution grid planning has traditionally been driven by technical criteria (reliability, power quality, losses) and economic criteria (investment and operational costs), guiding decisions on grid reinforcement, asset renewal, and expansion.
The energy transition and the growing environmental footprint of electrical infrastructure (such as raw material depletion, land use, and the carbon impacts of manufacturing, installing, and operating grid assets) call for planning methodologies that place environmental criteria on an equal footing with technical and economic criteria.
Integrating such criteria into long-term planning is methodologically challenging: environmental impacts are heterogeneous, often assessed over different time horizons and spatial scales than technical or economic indicators, and require dedicated multi-criteria approaches to support DSO decision-making.

Objectives:
- Review existing distribution grid planning frameworks and identify relevant environmental indicators (life-cycle carbon footprint, material consumption, land occupation, end-of-life impacts).
- Propose a multi-criteria long-term planning methodology that integrates (one or some) environmental criteria, possibly alongside technical and economic ones.
- Apply the methodology to selected distribution grid expansion scenarios.
- Analyze the trade-offs and synergies between environmental, technical, and economic planning objectives.

Tasks and methodology:
The candidate will be required to work on a methodology centered on these key elements:
- Multi-criteria decision analysis methods to combine heterogeneous indicators into a common decision framework.
- Life-cycle assessment (LCA) approaches to quantify the environmental impacts of grid assets (cables, transformers, substations, civil works).
- Long-term grid expansion and renewal models, incorporating load and generation growth scenarios (including distributed PV) over multi-decade horizons.
- A case study on a representative distribution grid, comparing reinforcement/renewal pathways under different criteria weightings.



Multi-criteria long-term distribution grid planning framework

Required skills:
Multi-criteria decision-making, familiarity with life-cycle assessment methods, power system planning, and Python or similar tools for optimization and data analysis.

Supervision and contact:
Marie-Cécile ALVAREZ, Vincent DEBUSSCHERE - G2Elab
Marie-Cecile.ALVAREZ@g2elab.grenoble-inp.fr
vincent.debusschere@grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Méthodes et outils pour animer la démocratie énergétique au sein d'une opération d'autoconsommation collective

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :
L'autoconsommation collective propose un modèle soutenable d'intégration des énergies renouvelables au réseau électrique, notamment parce que les productions d'énergie doivent coïncider temporellement avec des besoins énergétiques. Par ailleurs, elle favorise une proximité géographique et technique entre production et consommation, tout en encourageant une réflexion collective sur l'énergie, permettant de dépasser la logique individuelle du «chacun derrière sa facture».
Ces deux dimensions — proximité technique et négociation collective — créent les conditions d'un questionnement collectif de nos besoins énergétiques correspondant à une démarche de sobriété.
Cependant, la simple présence d'équipements partagés (comme des panneaux solaires) ne garantit pas un fonctionnement collectif. Il est donc essentiel d'animer ces groupes qui doivent prendre un certain nombre de décisions : élargissement de la communauté, répartition de la production, ou encore objectifs de consommation locale.

Objectif :
Ce stage vise à identifier les outils et les conditions permettant à une opération d'autoconsommation collective de renforcer les liens sociaux et de devenir un espace de négociation autour des enjeux énergétiques.

Travaux attendus et méthodologie :
Le travail s'appuiera sur un terrain d'étude concret : une opération d'autoconsommation collective dans la vallée du Grésivaudan. Une première phase de revue de la littérature permettra de proposer des outils, des conditions et des méthodes d'évaluation pour animer cette communauté. Ces outils pourront prendre des formes variées : jeu sérieux, aide à la décision en collectif, mise en débat d'un enjeux énergétique, mise en récit de la communauté, ateliers pour rendre l'énergie visible, retour ludique sur les éléments quantitatifs de production. Ces propositions pourront être mises à l'épreuve du terrain dans une ou plusieurs des réunions du collectif chaque deux mois. Enfin, cette boîte à outils et son mode d'utilisation pourront s'intégrer dans le logiciel open source de suivi de l'autoconsommation collective proposé par Elocoop issue du réseau des coopératives Enercoop.

Compétences requises :
La ou le candidat.e devra être motivé.e par les enjeux sociétaux de transition énergétique avec une ouverture à l'interdisciplinarité. La ou le candidat.e doit disposer de compétences en facilitation de groupe, ainsi que sur l'évaluations qualitatives de ces méthodes de facilitation. Les étudiant·e·s venant des masters en sciences humaines et sociales avec des composantes en sociologie et sciences politiques sont encouragé.es à postuler.

Encadrement :
Jonathan Coignard, chargé de recherche - CNRS, G2Elab
Frédéric Wurtz, directeur de recherche - CNRS, G2Elab

Contact :
jonathan.coignard@grenoble-inp.fr
frederic.wurtz@g2elab.grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Refonte de l'application de gestion des machines en réseau « GMR » sous CodeIgniter 4

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte :
L'application GMR, actuellement conçue avec une architecture « spaghetti code », permet la gestion automatisée des configurations réseau (DNS, DHCP, RADIUS) à partir d'une base de données centralisée. Une précédente modernisation en 2015 avait introduit PHP 7 et Bootstrap, mais l'architecture reste obsolète.

Objectif :
Ce stage vise à réécrire l'intégralité de l'application en adoptant le framework PHP CodeIgniter 4 pour implémenter une architecture MVC (Modèle-Vue-Contrôleur) robuste.

Travaux attendus :
- Migration et refonte : réécrire le code existant pour passer d'une logique procédurale à une architecture MVC, en révisant si nécessaire la structure de la base de données MySQL.1
- Environnement de test (optionnel) : déployer une maquette de test sous Proxmox avec des serveurs DNS, DHCP et Radius sous Debian 13 (64 bits), afin de remplacer l'environnement actuel sous Debian 12 (32 bits) et valider la compatibilité des configurations, notamment celle du service Radius qui évolue avec la dernière version de FreeRadius.
- Rédaction : produire une documentation technique claire et structurée pour l'ensemble de la solution.

Compétences requises :
- Développement Web : maîtrise de PHP (niveau avancé), MySQL et des architectures MVC.
- Frameworks : capacité à maîtriser rapidement CodeIgniter 4 et Bootstrap 5.
- Systèmes et Réseaux : notions en administration Linux (Debian), virtualisation (Proxmox) et protocoles réseaux (DHCP, DNS, RADIUS).
- Savoir-être : autonomie, rigueur rédactionnelle et bon relationnel.

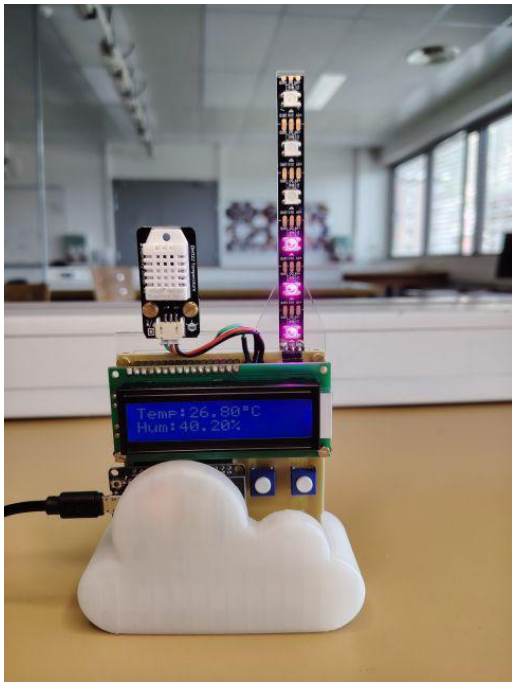
Encadrement et contact :
Corine MARCON, ingénieure-technicienne - G2Elab (pôle technique)
Corine.marcon@g2elab.grenoble-inp.fr
04 76 82 64 52

Stage de fin d'étude
M2

Création d'un objet connecté sur le monitoring de confort avec nudge intégré

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte et objectif :
Ce stage s'inscrit dans la mouvance de la transition énergétique et principalement dans le cadre du Living Lab BELL (Building Energy Living Lab) avec un projet de monitoring intégrale de la plateforme MHI (Monitoring Habitat Intelligent) + du Cluster MAGE. Pour cela, nous aimerions poursuivre la conception d'un objet connecté permettant de mesure de confort ainsi que l'envoi de nudge (signaux incitatoires) avec comme support une connectivité WiFi et dont les données transitent au travers du protocole MQTT et InfluxDB. Une première version a été développée (image 1) avec des fonctionnalités basiques (mesure de température/hygrométrie). Le but de ce stage est de concevoir une version plus poussée et compacte en ajoutant d'autres mesures (CO2, Luminosité, COV,…) et un retour utilisateur en temps réel.



Prototype de capteur communiquant de type nudge)

Travaux attendus :
Les étapes du stage seront sous cette forme :
Ce stage est structuré de façon à ce que le stagiaire puisse voir les différents aspects d'un laboratoire ainsi que la conception de A à Z d'une solution apportant un support aux équipes de recherche.

- Apprentissage de la solution développée
- Analyse et bibliographie des solutions existantes

- Prototypage d’une solution
- Test en conditions réelles ou sur le terrain

Compétences souhaitées :
- Compréhension des capteurs (Notion générale)
- Connaissance en C (Notion générale)
- Connaissance en électronique (Notion générale)
- Initiative et esprit pratique

La maîtrise de l’anglais est souhaitable

Encadrement et contact :
Jérôme Ferrari, ingénieur-technicien - G2Elab (pôle technique)
jerome.ferrari@g2elab.grenoble-inp.fr

Stage de fin d'étude
M2

Développement d'une plateforme de simulation en temps réel (Hardware-in-the-Loop) sur FPGA pour le prototypage rapide de convertisseurs de puissance innovants

Date : à partir de février 2027 (6 mois)
Lieu : G2Elab, Grenoble
Mots-clés : Hardware-in-the-Loop (HIL), Électronique de puissance, FPGA, VHDL, Prototypage rapide, dSPACE MicroLabBox, Variateurs de vitesse.

Contexte :
Depuis plusieurs années, le G2Elab mène des travaux de recherche de pointe visant à bousculer le paradigme traditionnel de conception des chaînes de traction électriques. Face aux enjeux de transition énergétique, le laboratoire explore des architectures disruptives à base de convertisseurs de puissance innovants. Ces systèmes agissent comme des surfluxeurs par compensation de puissance réactive, une approche novatrice qui permet d'optimiser le comportement et le rendement global des machines électriques à vitesse variable. Récemment, ces années de recherche et d'innovation ont franchi une étape majeure de valorisation industrielle à travers la création de la startup SUMOT, dont l'objectif est d'industrialiser ces technologies pour les futurs chaînes de traction de Véhicule Electriques.
Dans le cadre du développement de ces nouvelles topologies et de leurs lois de contrôle complexes, la validation en amont des prototypes physiques est un enjeu crucial pour le laboratoire. Pour accélérer ces phases de recherche et sécuriser les essais, le laboratoire déploie une plateforme de simulation temps réel intégrant du Hardware-in-the-Loop (HIL). L'objectif de ce stage est de concevoir et de déployer cette plateforme HIL sur un système dSPACE MicroLabBox. L'idée est de faire tourner un modèle de simulation ultra-rapide d'un convertisseur innovant directement au sein du FPGA (de la MicroLabBox). Tandis que le processeur (DSP) exécutera le contrôle-commande et la régulation des courants. À terme, cette plateforme permettra de tester en avance de phase les futures briques technologiques avant leur prototypage physique.

Objectifs et missions :
Sous la supervision de l'ingénieur encadrant, le/la stagiaire aura pour mission principale de développer le modèle VHDL du convertisseur, de l'intégrer dans l'écosystème dSPACE et de valider la chaîne de conversion complète. Le travail sera structuré selon les jalons de développement suivants :

Jalon 1 : Modélisation mathématique et modèle de référence (MATLAB/Python)
- Prise en main de la topologie du convertisseur.
- Mise en équation d'état du circuit électrique et discrétisation temporelle (méthode d'Euler).
- Développement d'un modèle de référence en temps discret et en virgule fixe (Fixed-Point) sous MATLAB ou Python pour valider l'algorithme de simulation.

Jalon 2 : Codage VHDL et Co-simulation
- Traduction du modèle mathématique en langage VHDL (architecture pipelinée, gestion de la

quantification Q-m.n).
- Simulation numérique du code VHDL sous Xilinx Vivado Simulator afin de valider la stricte correspondance avec le modèle de référence de l'étape 1.

Jalon 3 : Intégration sur dSPACE MicroLabBox et Boucle Ouverte
- Implémentation du bloc IP Core VHDL dans l'environnement dSPACE (RTI FPGA Programming Blockset) permettant de faire cohabiter votre code VHDL personnalisé avec le reste du système dSPACE.
- Configuration du mapping mémoire pour la communication entre le processeur (DSP) et le FPGA.
- Validation du comportement en temps réel sous ControlDesk en boucle ouverte.

Jalon 4 : Validation HIL en Boucle Fermée Virtuelle
- Implémentation des lois de régulation de courant sur le processeur de la MicroLabBox.
- Connexion interne du contrôle (DSP) et du modèle de puissance (FPGA) pour valider la stabilité des boucles de régulation en mode 100% virtuel.

Jalon 5 : Couplage de Puissance (Power-HIL)
- Configuration des sorties de la MicroLabBox pour interfacer le modèle FPGA avec les commandes de l'onduleur physique de test.
- Essais expérimentaux sur le banc de puissance pour valider le fonctionnement du convertisseur simulé au sein de la chaîne de conversion réelle.

Profil recherché :
Étudiant(e) en dernière année d'École d'Ingénieurs ou Master 2 en Génie Électrique, Électronique de Puissance ou Systèmes Embarqués.
- Solides compétences en modélisation des convertisseurs statiques et en automatique (régulation de courant, PWM).
- Bonne maîtrise ou fort intérêt pour la programmation matérielle en VHDL et l'utilisation des outils de synthèse (Xilinx Vivado).
- La connaissance des outils MATLAB/Simulink et de l'environnement dSPACE (MicroLabBox, ControlDesk) est un plus.
Autonomie, rigueur scientifique et esprit d'initiative propre au contexte d'une recherche en laboratoire et à un contexte de valorisation.

Encadrement et contacts :
Le stage se déroulera au G2Elab (Grenoble) au sein du pôle technique dans le service informatique industrielle.
- William Norris, ingénieur d'étude Pôle Technique / Service Informatique Industrielle :
william.norris@g2elab.grenoble-inp.fr
- Cédric Boudinet, ingénieur d'étude Pôle Technique / Service Informatique Industrielle :
cedric.boudinet@g2elab.grenoble-inp.fr
- Hervé Chazal, maître de conférences au G2Elab/ENSE3 Grenoble INP - UGA :
herve.chazal@g2elab.grenoble-inp.fr

Stage M1
BUT

Développement logiciel pour contrôle d'instruments

Date : mai-juin 2027 (10 semaines)
Lieu : G2Elab, Grenoble

Contexte et objectifs :
L'objectif du stage est d'utiliser un calibrateur multifonction pour générer une consigne, dans un premier temps en tension puis dans une seconde phase en courant. Cette valeur de consigne sera lue sur un multimètre étalon et sur un multimètre dont on souhaite connaître l'erreur de mesure.

Le programme, codé en C++, pilote :
• le calibrateur multifonction pour appliquer la consigne
• les multimètres pour connaître, pour chaque valeur de consigne, la valeur lue.
Pour chaque valeur de consigne, la valeur lue sur le multimètre étalon et celle lue sur le multimètre à vérifier seront enregistrées. Pour chaque valeur de consigne, l'écart entre la valeur lue sur le multimètre étalon et la valeur lue sur le multimètre à vérifier sera calculée.

Enfin, un rapport sera généré avec une indication sur la conformité ou non, pour chaque valeur de consigne, de la valeur lue sur le multimètre à vérifier.

Compétences souhaitées :
- Programmation en C++, méthodes de génie logiciel
- Rigueur, autonomie, initiative
- La maîtrise de l'anglais est nécessaire

Encadrement et contacts :
Pour plus de renseignement, vous pouvez contacter directement Danièle Dargaud ou Cédric Boudinet aux coordonnées suivantes :
daniele.dargaud@g2elab.grenoble-inp.fr ou cedric.boudinet@g2elab.grenoble-inp.fr

UGA Université Grenoble Alpes

cnrs

GRENOBLE INP UGA