

**Sujet de thèse**  
**École doctorale EEA de Lyon**

*Merci de compléter l'ensemble des rubriques et de lire les notes de bas de page.*

<b>Etablissement d'inscription :</b> INSA Lyon <sup>1</sup>
<b>École doctorale :</b> ED 160 EEA de Lyon dirigée par Mr Delachartre Philippe
<b>Intitulé du doctorat :</b> Automatique <sup>2</sup>
<b>Sujet de la thèse :</b> Optimisation de la production d'énergie pour le petit éolien
<b>Unité de recherche :</b> Ampère <sup>3</sup> , dirigée par Christian Vollaire
<b>Directeur/trice de thèse :</b> Mr BRUN Xavier
<b>Co-directeur/trice de thèse (le cas échéant)<sup>4</sup> :</b>
<b>Co-directeur/trice de thèse en entreprise (le cas échéant) :</b>

<sup>1</sup> A impérativement choisir dans la liste suivante : Ecole Centrale de Lyon, INSA de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1

<sup>2</sup> A impérativement choisir dans la liste suivante : Automatique // Electronique, Micro et Nano-électronique, Optique et Laser // Génie Electrique // Ingénierie pour le vivant Traitement du signal et de l'Image)

<sup>3</sup> A impérativement choisir dans la liste suivante : Laboratoire Ampère, CITI, CREATIS, INL, LAGEP, LGEF

<sup>4</sup> Un/une co-encadrant-e n'est pas nécessairement co-directeur/trice de thèse puisque pour remplir ce rôle, il est nécessaire d'être habilité à diriger des recherches (pour plus de précision, voir le règlement intérieur de l'ED EEA, section 3.

### **Collaboration(s)/partenariat(s) extérieur(s) éventuels<sup>5</sup> :**

A développer ou renforcer durant ces 3 années :

Partenaires académiques :

Kostas Latoufis (NTUA, Athènes, Grèce)

Luiz Lavado Villa (LAAS, Toulouse, France)

Katerina Troullaki (P2P, Crête, Grèce )

Loïc Quéval (Geeps, Saclay, France)

Partenaires associatifs :

Wind Empowerment International

Réseau Tripalium

### **Domaine et contexte scientifiques :**

Selon le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), les émissions nettes mondiales de CO<sub>2</sub> devraient diminuer de 45 % par rapport aux niveaux de 2010 d'ici 2030, pour limiter le réchauffement climatique à 1,5\_C par rapport aux niveaux préindustriels [7].

La production d'électricité à faible émission carbone est donc un enjeu crucial du 21ème siècle. Actuellement, plus de 800 millions de personnes à travers le monde n'ont pas accès à l'électricité, ce qui fait de l'accès universel à une énergie sobre en carbone et abordable une priorité de l'ONU (sustainable development goal No 7)[5]. Dans ce cadre, les éoliennes auto-construites sont identifiées comme une technologie appropriée pour l'électrification rurale en raison de leur faible impact sur l'environnement et de la possibilité pour les communautés locales de les maîtriser comme un matériel open source [10]. Aujourd'hui, plusieurs centaines d'éoliennes auto-construites sont installées sur la planète. Ces éoliennes, pour la plupart basées sur le modèle mis au point par Hugh Piggott, sont démocratisées dans le monde par l'association Wind Empowerment et en France par le réseau Tripalium. Elles constituent une stratégie complémentaire à la production d'énergie centralisée. Avec environ 200 gCO<sub>2</sub>-eq/kWh, ces éoliennes peuvent être considérées comme une énergie à faible intensité de carbone, soit environ 50 fois plus faible qu'un générateur diesel de puissance équivalente [13]. Cette métrique dépend de la quantité (et

---

<sup>5</sup> Hors contrats doctoraux fléchés UMI par l'établissement, les sujets de thèse en cotutelle ne sont pas acceptés.

de l'intensité en carbone) de l'énergie nécessaire pour obtenir une éolienne, ainsi que de la quantité d'énergie que le système restitue pendant sa durée de vie. Ainsi, un moyen de diminuer l'intensité carbone de l'énergie éolienne est d'augmenter le Taux de Retour Énergétique (TRE). Un point crucial est de maximiser l'efficacité du système éolien avec une chaîne énergétique optimisée.

**Mots-clefs :** Commande, Optimisation, Génératrice électrique, Technologies douces

**Objectifs de la thèse :**

Développer des algorithmes pilotant le redressement actif/intelligent :

- mise en œuvre des algorithmes MPPT (Maximum Power Point Tracking), consistant à rechercher de manière autonome le meilleur point de fonctionnement du système (dépendant des conditions météorologiques),
- stratégies d'aide au démarrage du rotor,
- réduction du bruit acoustique et des harmoniques de puissance.

Développements théoriques, méthodologiques et expérimentaux sur banc d'essais existant à faire évoluer.

**Verrous scientifiques :**

Le processus manuel de fabrication pose des problèmes inédits dans la conception de cet algorithme, puisque ces machines présentent d'inévitables imperfections et sont dimensionnées spécifiquement pour être adaptées au site de production d'énergie. Les dissymétries de la génératrice à Aimants Permanents à Flux Axial (AFPM) génèrent notamment des forces électromotrices imparfaitement sinusoïdales et des déséquilibres entre les phases, nécessitant une adaptation de la commande [1]. Ceci remet également en cause l'usage des difféomorphismes classiques permettant de simplifier radicalement le modèle (transformation de Park et Clarke [9]). Enfin, la complexité matérielle de l'installation d'un capteur mécanique pousse à explorer la piste d'une commande sans capteur. Toutefois, surmonter ces difficultés pourrait permettre de corriger logiquement les variations et défauts de fabrication via un algorithme d'identification/apprentissage en ligne.

**Contributions originales attendues :**

Cette démarche s'inscrit dans la perspective "low-tech" suscitant un intérêt (et même un enthousiasme) de plus en plus marqué, dans et hors du cadre universitaire. La double caractéristique du générateur d'énergie électrique étudié :

- (i) lieu d'implantation peu contraint (énergie éolienne),
- (ii) possibilité d'auto-construction, traduit la volonté de remettre la question de l'appropriation des techniques au coeur de la réflexion.

La vision systémique qui sous-tend cette démarche associe naturellement les sciences pour l'ingénieur aux sciences humaines et sociales, en insistant sur la dimension profondément anthropologique de la technique, dans son élaboration et ses usages. Seule cette pluridisciplinarité est à même de répondre aux questions que suscitent cet objet technique :

- Quelles sont les pertes de rendement inhérent à l'auto-construction ?
- Dans quelles mesures la mise en oeuvre d'un processus d'automatisation (qui induit nécessairement un accroissement de la complexité) :
  - permet d'accroître ce rendement ?
  - constitue un frein à l'auto-construction et à la réparabilité ?
- Par le rapport différent à l'objet qu'elle induit, l'auto-construction influence-t-elle la consommation ? Dans quelle mesure ?
- Quels conditions sont nécessaires à l'élaboration du collectif permettant l'auto-construction ?

Les technologies de information actuelles peuvent-elle y contribuer ?

Chacune de ces questions explore un aspect différent du compromis complexité/robustesse/efficacité, dans une perspective d'appropriation technique. Si cette problématique est ancienne (Illich, 1973)[6], son actualisation dans le contexte actuel (crise climatique, d'une part, et mutation des technologies de l'information (avenir du logiciel libre), d'autre part) est primordiale.

### **Programme de recherche et démarche scientifique proposée :**

Ci-dessous en 8 points les étapes clés de cette thèse et leur durée quantifiée en mois T0 étant la date de début et T36 la date de soutenance visée

1/ Etude bibliographique

- T0 à T6 : biblio intensive

- T6 à T36 : biblio de suivi

## 2/ Modélisation dynamiques multiphysiques T6 à T12

- Établissement de Modèle de Connaissance pour une simulation fine du système complet (outil de simulation à étudier Simulink, LMS -Amesim)

- Etablir différents modèles de commande, linéaires, non linéaires, de différentes dimensions en fonction du nombre d'informations mesurables ou observables

## 3/ Synthèse de commande T12 - T24

- A partir des modèles de commande obtenus analyse de ces modèles en vue d'une synthèse de commande qui semblera la plus adaptée : commandes linéaires / non linéaires, robuste ou non, feedforward/feedback

- Analyse d'observabilité et synthèse d'observateurs pour un fonctionnement en mode dégradé et/ou pour assurer une redondance et une meilleure fiabilité du système

## 4/ Optimisation (T18-T30)

- Mise au point d'algorithme MPPT sur le modèle qui nous semblera le plus pertinent d'après l'étude du point 2

## 5/ Simulation (T15-T36)

- Programmation des modèles

- Identification des paramètres (spécifications constructeurs et mesures sur banc)

- Recalage de modèle en fonction des résultats expérimentaux obtenus au point 6

- Démarche progressive pour les phases de tests dites in the loop (I.L.) avec toutes les étapes successives Model I.L, Software I.L, Hardware I.L Power and Hardware I.L

## 6/ Expérimentation au laboratoire Ampère (T15-T36)

Le banc d'essai est à ce jour opérationnel mais demande un développement important pour effectuer tous les tests désirés et donc tester les stratégies de commande et d'observation développées aux points 3 et 4 et qui auront été jugées pertinentes au point 5

## 7/ Expérimentation sur site réel en collaboration. (T24-T36)

Cette objectif serait un plus pour cette thèse lors de la dernière année et s'effectuera en fonction de l'avancée des collaborations en cours et à venir. Conscient de l'énorme travail que cette phase comporte le doctorant ne sera pas le leader des ces expérimentations mais espérons sera fortement impliqué.

8/ Rédaction Thèse et articles scientifiques

Point évident et commun à toutes les thèses

### Encadrement scientifique :

- **Description du comité d'encadrement :** [à compléter avec le rôle dans l'encadrement scientifique (en termes de compétences scientifiques, etc.) et le pourcentage d'implication du directeur de thèse<sup>6</sup> et des autres membres du comité<sup>7</sup>]

Nom Prénom	Labo / Equipe	Compétences scientifiques	Taux d'encadrement %
Mr BRUN Xavier	Ampère AIS	Automatique	20
Mr DELPOUX Romain	Ampère AIS	Automatique / Génie Electrique	40
Mr TREGOUET Jean-François	Ampère AIS	Automatique	40

- Le comité d'évaluation de l'HCERES ayant demandé à l'école doctorale de limiter la taille du comité d'encadrement à deux membres (directeur de thèse compris), il est impératif de ne proposer des comités d'encadrement de taille plus importante que si cela est absolument nécessaire<sup>8</sup> et **de le justifier soigneusement.**

Sujet pluridisciplinaire demandant des compétences en Commande, Programmation temps réel, Optimisation, Génie Électrique et une bonne connaissance de l'éolien. Sujet, théorique, méthodologique et appliqué.

- **Intégration au sein du (ou des) laboratoire(s)** (Département/Equipe(s) impliquée(s)) (**pourcentage du temps travail au sein de ce ou ces laboratoire(s)**) :

100% AMPERE

<sup>6</sup> Le directeur de thèse doit être un HdR rattaché à l'ED EEA ou en passe de le devenir avant juin de l'année en cours ou bénéficier d'une dérogation du Conseil Scientifique lors du dépôt du sujet de thèse.

<sup>7</sup> Dans le cas d'un comité d'encadrement réparti sur plusieurs établissements, la plus grande partie de l'encadrement est effectuée par des membres de l'établissement. Si l'encadrement de la thèse implique des membres hors de l'ED EEA, la part de l'encadrement des membres ED doit être très supérieure à 50%.

<sup>8</sup> Un certain nombre de commissions type CNU ne reconnaissent un co-encadrement qu'au-delà d'un certain pourcentage. Souvent l'encadrement est considéré comme effectif si > 30%.

**Financement de la thèse :** Contrat doctoral de l'établissement d'inscription

**Profil du candidat recherché (prérequis) :**

Candidat Adrien PREVOST

Afin de mener à bien ce sujet de thèse, des connaissances théoriques en génie électrique, en modélisation et en automatique sont requises. La part expérimentale du projet est également d'envergure. Une culture technique générale sur les énergies renouvelables est également appréciées. Enfin, la réflexion sur la complexité technologique apporte une dimension humaine et sociale au projet. Les différentes expériences scolaires, professionnelles et personnelles d'Adrien Prévost démontrent son aptitude à mener à bien ce projet. En effet, sur le plan scolaire, Adrien Prévost a de bonnes compétences techniques et théoriques (IUT GEII et INSA GE). Par ailleurs, la qualité humaniste d'Adrien se reflète bien à travers son Projet Personnels en Humanités. Enfin Adrien a déjà une grande expérience dans le domaine de l'énergie éolienne avec diverses collaborations.

À l'échelle régionale avec Jay Hundall, fondateur de la société Ti'éole (autoconstruction d'éoliennes) à Valence. A l'échelle nationale avec Luiz Villa, Maître de Conférences au Laas à Toulouse qui travaille sur la mise au point des systèmes open source de conversion d'énergie. A l'échelle Européenne avec Konstantinos Latoufis de la National Technical University of Athens. Le profil très complet d'Adrien en fait donc un candidat idéal pour cette thèse. De plus, nous sommes certains de sa forte motivation et de son engagement pour aborder un tel sujet. Par ailleurs, nous avons déjà pu constater ses compétences techniques durant les 6 mois de son stage de master effectué sous la direction de M. Delpoux en 2020, puis en tant qu'ingénieur de recherche en CDD au Laboratoire Ampère depuis le 1er octobre 2020.

**Objectifs de valorisation des travaux de recherche :**

Effectuer une preuve de concept un prototype en vue de trouver des partenaires industriels.

**Compétences qui seront développées au cours du doctorat :**

Compétences pluridisciplinaires en Commande, Programmation temps réel, Optimisation, Génie Électrique et une bonne connaissance de l'éolien.

**Perspectives professionnelles après le doctorat :**

Enseignant Chercheur

Évidemment il ne s'agit pas du seul objectif de Monsieur PREVOST qui en tant qu'ingénieur INSA et espérons futur Docteur est également attirée par une carrière industriel en R&D ou de part



ses fortes sensibilités et son investissement pour une transition énergétiques un travail dans le monde associatif sur ce sujet d'importance primordiale pour notre planète.

### Références bibliographiques sur le sujet de thèse :

- [1] R. Delpoux, X. Lin-Shi, and X. Brun. Torque ripple reductions for non-sinusoidal BEMF motor : An observation based control approach\*\*financial support is acknowledged from chassis brakes international (CBI), drancy, france, in the context of a collaboration between the ampère laboratory and chassis brakes international (CBI). 50(1) :15766–15772.
- [2] R. Delpoux and A. Ramdane. Un dispositif de freinage 100 % électrique. In Lettre de l'Innovation du CNRS, 2020.
- [3] Wind Empowerment. Manuel de maintenance : éolienne autoconstruite.
- [4] Europa.eu. 2030 climate & energy framework. Library Catalog : ec.europa.eu.
- [5] IEA. Access to electricity – sdg7 : Data and projections – analysis. Library Catalog : www.iea.org.
- [6] Yvan Illich. La convivialité, volume 1 of Oeuvres incomplètes. Fayard edition.
- [7] IPCC. Summary for policymakers. in : Global warming of 1.5 degrees. an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 degrees above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.
- [8] Vasilis Kostakis, Kostas Latoufis, Minas Liarokapis, and Michel Bauwens. The convergence of digital commons with local manufacturing from a degrowth perspective : Two illustrative cases. 197 :1684–1693.
- [9] Prabha Kundur, Neal J Balu, and Mark G Lauby. Power system stability and control, volume 7. McGraw-hill New York, 1994.
- [10] Kostas C. Latoufis, Thomas V. Pazios, and Nikos D. Hatziargyriou. Locally manufactured small wind turbines : Empowering communities for sustainable rural electrification. 3(1) :68–78. Conference Name : IEEE Electrification Magazine.
- [11] Ministère de la transition écologique et solidaire. Projet de stratégie nationale bas-carbone- la transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone.
- [12] Hugh Piggott. A Wind Turbine Recipe Book-The Axial Flux Windmill Plans.



**EEA**  
ÉLECTRONIQUE  
ÉLECTROTECHNIQUE  
ET AUTOMATIQUE  
UNIVERSITÉ DE LYON



[13] Aikaterini Troullaki, Kostas Latoufis, Pedro Marquesc, Fausto Freirec, and Nikos Hatziargyriou. Life Cycle Assessment of Locally Manufactured Small wind turbines and Pico-Hydro plants. 2019 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST). IEEE. OCLC : 1122891170.