



## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

UMR CNRS 6614 CORIA

[www.coria.fr](http://www.coria.fr)

**Intitulé : Dynamique d'une éolienne en présence de mouvement cohérent**

**Début de la thèse :** *Octobre 2020*

**Date limite de candidature :** *15 Juin 2020*

<b>Mots clés</b>	<i>Turbulence, Structures cohérentes, Diagnostic laser, énergies renouvelables</i>
<b>Contacts</b>	Bertrand Lecordier – <a href="mailto:bertrand.lecordier@coria.fr">bertrand.lecordier@coria.fr</a> Emilien Varea – <a href="mailto:emilien.varea@coria.fr">emilien.varea@coria.fr</a>
<b>Laboratoire d'accueil</b>	UMR CNRS 6614 CORIA, Site Universitaire du Madrillet – BP 12, 76801 Saint Etienne du Rouvray - CEDEX
<b>Profil et compétences</b>	
<i>Formation</i>	Universitaire, école d'ingénieur ou grande école Niveau master 2 recherche en physique
<i>Connaissances et</i>	Mécanique des fluides, traitement du signal, optique et
<i>Compétences</i>	instrumentation, énergies renouvelables, programmation (C++, python, C, matlab...), Anglais (parlé/lu)

## Présentation du projet doctoral, contexte et objectifs

Le projet vise à caractériser et à quantifier la dynamique d'un écoulement turbulent sur un profil de pale d'éolienne en fonction de l'écoulement amont. Ce dernier peut être un écoulement turbulent classique (couche limite atmosphérique), ou alors un écoulement peuplé par des familles de Structures Cohérentes (SC) produites par des éoliennes situées en amont. Ce travail associera une étude en soufflerie par diagnostic laser à une analyse physique détaillée afin de relier la dynamique globale et locale de l'écoulement à proximité d'une pale d'éolienne aux événements aérodynamiques amonts. La dynamique temporelle des structures cohérentes sera un aspect essentiel dans l'analyse proposée. Cela conduira à une caractérisation des charges effectives et instationnaires subies par les pales lors des passages des SC et ainsi à terme, à une meilleure appréhension du phénomène de fatigue de la pale.

## Contexte :

Les **écoulements** associés aux éoliennes reçoivent actuellement de plus en plus d'attention. D'une manière générale, ces études peuvent être classifiées suivant plusieurs orientations :

- Écoulement autour d'une seule pale d'éolienne*  
Dans cette configuration, les études concernent souvent la fatigue globale de la pale d'éolienne suite aux sollicitations externes, périodiques ou aléatoires, vibrations etc. (*Hand, Kelley and Balas, 2003*). Dans ce cas, l'estimation de la fatigue reste toutefois évaluée sur des longs temps caractéristiques, passant ainsi sous silence les sollicitations instationnaires extrêmes.
- Écoulement autour d'une éolienne.*  
Pour cette situation qui s'intéresse à un ensemble constitué de plusieurs pales, du moyeu, voire de la structure de l'éolienne, une des questions centrales est généralement la maximisation globale de l'énergie extraite à l'environnement (*Cal et al., 2010, Selig et al 2011*).

c. *Écoulement associé à des parcs d'éoliennes.*

Pour ce cas, un souci particulier est associé à l'influence du sillage d'une éolienne sur la suivante, ou les suivantes (en fonction de l'arrangement géométrique du parc). Des mesures ou simulations numériques globales ont été effectuées (*Lebron et al., AIAA 2010*), sans attention détaillée aux possibles décollements sur les pales et leurs influences sur l'aval de l'écoulement.

Les recherches menées actuellement sur le sujet souffrent principalement d'un manque de détail de la dynamique temporelle, elles restent au stade d'interprétation de la « zoologie » de l'écoulement. D'une manière générale, il ressort que ces études restent encore au niveau assez simplifié du point de vue de la physique des écoulements turbulents, qui associent dans ce cas des éléments de couche limite, couche limite avec décollement, interaction sillage-couche limite. A ces points purement liés à la mécanique des fluides, nous pouvons également ajouter tous les aspects encore peu étudiés sur les couplages dynamiques entre l'écoulement et la structure mécanique de l'éolienne.

## Objectifs :

Tenant compte de toutes ces informations, le projet vise à approfondir notre compréhension de ces écoulements, en associant des éléments de recherche fondamentale développés dans le groupe 'Turbulence et mélange' du Coria à un système turbulent plus complexe. Tout d'abord, nous considérerons et analyserons l'arrivée d'une famille de structures cohérentes sur une pale, et ensuite l'interaction de deux pales qui se succèdent, avec un arrangement géométrique.

Nos recherches récentes ont montré, pour le cas d'un écoulement créé derrière un obstacle, le lien clair entre la dynamique d'une famille de structures cohérentes (à une certaine phase) et la dynamique locale du mouvement turbulent. Ce lien s'observe en particulier d'un point de vue global sur le spectre d'énergie et plus finement lors de l'analyse de l'intensité de la cascade d'énergie turbulente (*Thiesset et al, 2014 ; A. Bouha, Thèse Coria, 2016 ; A. Bouha et al. 2019*). Ces recherches seront étendues dans le cadre du travail de thèse au cas d'un sillage en interaction avec une couche limite, avec un regard particulier sur l'aspect dynamique au travers de réponse de la cascade turbulente à différentes phases d'arrivée des SC sur la pale. Ces travaux s'inscrivent dans les problématiques générales de description fine de l'écoulement pariétal et de la charge dynamique induite par un écoulement amont sur une pale. Ces études permettront à terme aux chercheurs de concevoir et d'étudier les matériaux les plus innovants et performants pour les éoliennes.

Ce projet doctoral vise à quantifier expérimentalement la dynamique d'un écoulement turbulent sur un profil de pale d'éolienne en fonction de l'écoulement amont, ce dernier pouvant être un écoulement turbulent classique (couche limite atmosphérique), ou alors un écoulement peuplé par des familles de structures cohérentes (SC) produites par des éoliennes situées en amont. Il sera réalisé dans soufflerie basse-vitesse à circuit fermé présentant un taux de turbulence résiduelle très faible (inférieur à 0.2%). Il s'appuiera sur l'utilisation de diagnostic laser les plus récents pour des mesures aérodynamiques 2D et 3D (*Lecordier et al. 2012, Scarano 2013, Earl et al. 2016*) qui seront associées à des analyses physiques fines de l'écoulement.

Le travail de thèse aura pour but d'apporter des réponses détaillées aux questions suivantes :

- i) Quelle est la dynamique temporelle de l'interaction entre une seule famille de SC créée en amont et l'écoulement turbulent développé sur une pale d'éolienne ? Pour cela on s'intéressera à la distribution de l'énergie cinétique et des pressions, ainsi que l'intensité de la cascade d'énergie turbulente, à chaque échelle de l'écoulement, mais également pour chaque phase particulière du mouvement cohérent considéré quasi-périodique. Ce conditionnement en fonction de la phase de la SC est nouveau et doit être appliqué aux écoulements complexes. Il est notamment important de déterminer les charges sur la pale à chaque moment du passage de la SC, afin de voir exactement quand ces charges seront maximales et ainsi mieux dimensionner la pale pour minimiser les phénomènes de fatigue et conserver une efficacité énergétique optimale. Ce cas d'étude sera appelé CYLPAL.
- ii) Quelle est la dynamique temporelle de l'interaction entre plusieurs familles de SC créées en amont et l'écoulement turbulent développé sur une pale d'éolienne ? Les familles de SC en amont seront produites par une autre pale à incidence nulle et l'étude visera donc un écoulement entre deux pales, avec une attention particulière accordée à celle en aval. Cette question est particulièrement importante pour le design des parcs d'éoliennes. De nouveau, le point de vue

dynamique sera abordé, incluant les équations de transport de l'énergie cinétique à chaque échelle, et à chaque phase de l'écoulement. Ce cas d'étude sera appelé PALPAL.

## Déroulement du programme du projet doctoral :

Dans un premier temps, le travail consistera à prendre en main le système expérimental et à l'optimiser pour la collection des mesures. Le dimensionnement et le choix des profils pour générer les SC, ainsi que l'adaptation des techniques laser associées et leur synchronisation pour les mesures en phase avec SC fera l'objet de la première étape de la thèse. Parmi les différentes méthodes de mesure disponibles au laboratoire, une part importante de cette phase sera le choix et l'adaptation des systèmes de mesure. Il devra se faire en fonction de l'analyse physique fine de l'écoulement qui sera réalisée dans la seconde partie de la thèse en considérant tous les aspects tels que la précision de mesure et les résolutions spatiale et temporelle.

La seconde phase de la thèse sera l'enregistrement des données expérimentales dans le cas CYLPAL et PALPAL et cela pour différents points de fonctionnement (vitesse écoulement distance obstacle, incidence...). Une part importante de cette partie consistera dans le post-traitement et l'analyse physique des grandeurs mesurées afin de permettre une synthèse claire et détaillée de l'interaction d'une pale avec des SC. La prise en compte de la phase de l'arrivée des SC sur la pale sera un élément essentiel dans le choix des analyses physiques retenues (approches statistique, analytique...). La dernière étape expérimentale consistera à mesurer à l'aide de diagnostic optique la déformation dynamique d'une pale « souple » en interaction avec des SC incidentes. Cette phase, ayant un caractère exploratoire, permettra d'initier les étapes à venir dans ce domaine au laboratoire en évaluant l'influence des déformations sur l'écoulement aval par comparaison avec les mesures réalisées précédemment dans ce travail sur des pales rigides. Cela donnera également les premiers éléments de validation et comparaison avec les simulations numériques de couplage fluide/structure réalisées par le CORIA et le LEGI dans le cadre du programme DYNEOL.

## Planning du projet sur 36 mois :

T0 +12

- Étude bibliographique
- Mise en place de l'expérimentation
  - Choix et adaptation des méthodes de mesure (matériel et post-traitement)
  - Implantation des méthodes de mesure sur la soufflerie
  - Construction des maquettes (profils de pales).
  - Premiers tests de mesure sur les maquettes et phase de validation
- Réalisation des expériences du cas cylindre/pale – (cas CYLPAL)

T0 +24 :

- Réalisation des expériences pale-pale – (cas PALPAL)
- Post-traitement des résultats CYLPAL et PALPAL
- Analyse et interprétation physique des résultats.
- Synthèse et valorisation des résultats

T0 + 36 :

- Analyse du couplage des mesures fluide-structure
- Rédaction de la thèse et valorisation des résultats

**Programme de recherche associé :** ANR DYNEOL (Institut Pprime, LEGI et CORIA)

Ce travail de thèse s'intègre dans le programme ANR DYNEOL. Il se positionne sur le plan national et international dans le développement et l'application des approches optiques en écoulement complexe, tant d'un point de vue des méthodes considérées que pour l'analyse 2D et 3D des données spatiales et temporelles. Il permettra à moyen terme de créer un lien entre la mécanique des fluides et la mécanique des structures grâce aux approches expérimentales, numériques et théoriques développées conjointement au laboratoire et chez nos partenaires.

# Références bibliographiques

- Hand M.M., Kelley N.D. and Balas M.J., 'Identification of wind turbine response to turbulent inflow structures', 4<sup>th</sup> ASME/JSME Joint Fluids Engineering Conference, June 2003.
- Cal R., Lebron J., Castillo L., Kang S.H. and Meneveau C., 'Experimental study of the horizontally averaged flow structure in a model wind-turbine array boundary layer', J. of Renewable and Sustainable Energy, 2, 013106, 2010.
- T. Earl, Y. Jin Jeon, B. Lecordier and L. David (2016) *F2DPR: a fast and robust cross-correlation technique for volumetric PIV*, Meas. Sci. Technol. 27 (2016) 084007
- B. Lecordier, C. Gobin, C. Lacour, A. Cessou, B. Tremblais, L. Thomas, L. David - *Tomographic PIV Study of lifted flames in turbulent axisymmetric jets of methane*. 16th Int. Symp on Appl. Laser Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon, Portugal, July 09 – 12, 2012
- Selig M.S., Deters R.W. and Williamson G.A., 'Wind tunnel testing airfoils at low Reynolds numbers', 49<sup>th</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting, Orlando, 2011.
- Lebron J.R., Castillo L., Cal R.B., Kang H.S. and Meneveau C., 'Interaction between a wind turbine array and a turbulent boundary layer', 48<sup>th</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting including the news horizons forum and aerospace exposition, Orlando, 2010.
- Chowdhury S., Zhang J., Messac A. and Castillo L., 'Unrestricted wind farm layout optimization (UWFLO): Investigating key factors influencing the maximum power generation', Renewable Energy 38, 16-30, 2012.
- Kat, R. & van Oudheusden, B. (2012), 'Instantaneous planar pressure determination from PIV in turbulent flow', Experiments in Fluids 52(5), 1089-1106.
- Scarano, F. *Tomographic PIV: principles and practice* - Measurement Science and Technology, IOP Publishing, 2013, 24, 012001.
- Thiesset F., Danaïla L. and Antonia R.A., 2014, *Dynamical interactions between the coherent motion and small scales in a cylinder wake*. J. Fluid Mech., 749, 201-226.
- Bouha A., 2016, 'Phénoménologie du mélange de scalaire passif en écoulements isotropes et anisotropes axisymétriques. Interaction mouvement cohérent-turbulence', Thèse, Coria.
- Bouha A., Varea E., Patte-Rouland B., Danaïla L., 2019, "Self-similarity in Slightly Heated Annular Jet with Large Diameter Ratios", DOI : 10.1007/978 - 3 - 030 - 12547 - 9\_16 In book : Turbulent Cascades.
- Gorle, Chatellier L., Pons, Ba, 2016, 'Flow and performance analysis of H-Darrieus hydroturbine in a confined flow: A computational and experimental study', Journal of Fluids and Structures, Vol. 66, 382-402.