

Les membres du cluster ORACLE organisent un colloque pluridisciplinaire sur l'éolien en mer les 22 et 23 novembre 2023.

En partenariat avec le
Groupement de Recherche du CNRS EOL-
EMR
Eolien, Energies Marines Renouvelables,
Hydraulique



Les objectifs de ce colloque dédié à l'éolien en mer sont :

- de faire se rencontrer les acteurs de la recherche académique,
- de favoriser la diffusion du savoir et de l'expertise existante dans et entre les multiples disciplines engagées dans la thématique,
- de stimuler les interactions et les projets de collaborations entre partenaires régionaux et/ou nationaux

Le programme est constitué de sessions plénières sur des sujets stratégiques transversaux:

- L'éolien en mer dans les scénarios prospectifs à 2050 » (Vincent Guenard, ADEME)
- Matériaux pour l'éolien en mer : quels enjeux ? (Thomas Corre et Bertrand Huneau, ECN)
- WEAMEC : offres de formation et outils de financement – (Gwenaëlle Le Goff)

et de sessions en parallèle sur les thématiques suivantes :

- Le droit face à l'éolien flottant en mer
- Economie de l'éolien en mer
- Enjeux sociétaux de l'éolien en mer
- Ressources éoliennes en « terres-mers inconnues » et sillages d'éoliennes
- Couplages multi-physiques pour l'optimisation des performances des éoliennes
- Modélisation et suivi en service des structures en mer
- Stratégies de contrôle avancées des éoliennes et des parcs éoliens en mer

Le périmètre des disciplines scientifiques visées correspond à celui des laboratoires partenaires du cluster ORACLE :

- Sciences humaines et sociales (droit, économie, géographie, sociologie)
- Sciences de l'ingénieur (mécanique des fluides, mécanique des structures, matériaux, énergétique, génie électrique)
- Sciences du numérique (automatique, robotique, traitement de données, mathématiques appliquées)

Colloque multidisciplinaire sur l'éolien en mer

22-23 nov. 2023

Nantes

France

Table des matières

Couverture_recueil_de_resumes_colloque_ORACLE.pdf	1
Session plénière	5
Matériaux pour l'éolien en mer : quels enjeux ?, Thomas Corre [et al.]	6
La place de l'éolien en mer dans les scénarios prospectifs à 2050, Vincent Guenard	8
Le droit face à l'éolien flottant en mer : À la recherche d'un cadre juridique adapté	9
L'éolien flottant et le droit international de la mer, Valérie Bore Eveno	10
La nouvelle planification de l'éolien en mer, Nicolas Boillet	11
La question du financement public, Frederic Schneider	12
L'allègement de la procédure d'autorisation des éoliennes flottantes en mer, Mylène Le Roux	13
De la mise à l'eau au démantèlement : analyse juridique du cycle de vie des éoliennes flottantes, Loïc Roulette	14
Le statut juridique des éoliennes flottantes, Caroline Devaux	15
L'éolien flottant face aux exigences du droit de la protection de l'environnement, Sabrina Robert Cuendé	16
Le personnel affecté à la gestion des éoliennes flottantes, Patrick Chaumette . . .	17
Économie de l'éolien en mer	18

Modèle économique de l'éolien en mer sur le marché spot, Rodica Loisel [et al.]	19
Developing large-scale offshore wind power programs: A choice experiment analysis in France, Olivier Joalland [et al.]	20
Mesures territoriales et hiérarchisation des enjeux sur les territoires de l'éolien offshore en France, Juliette Jestin	21
Compensation à verser aux pêcheurs par les opérateurs des parcs éoliens en mer, Jean-François Bigot	22
Couplage éolien offshore et hydrogène : quel(s) impact(s) des usages de l'hydrogène et du prix de l'électricité, Lionel Lemiale [et al.]	23
Enjeux sociétaux de l'éolien en mer	24
Articuler des mondes : la planification de l'éolien en mer en France, Hugo Cordier	25
Paysages de l'éolien en mer : sensibilités, milieux et collectifs, Héloïse Guillaumin	26
L'énergie éolienne offshore en débat : vers un accroissement des mobilisations en France ?, Baptiste Chocteau	27
Couplages multi-physiques pour l'optimisation des performances des éoliennes	29
Effects of random parameters standard deviation on the dynamics of a wind turbine gear box, Bilel Karmi [et al.]	30
Multiscale modelisation for VAWT floating applications, Benoît Augier	31
Couplage multi physiques et multidisciplinaire pour améliorer l'insertion des éoliennes offshore., Florian Dupriez-Robin	32
Methodology for the Integration of Experimental and Numerical Fluid Dynamics in the Study of a Floating Wind Turbine Subjected to Environmental Loads, Vincent Leroy [et al.]	33
Représentation des efforts aérodynamiques lors des essais d'éolienne flottante en bassin de génie océanique, Félicien Bonnefoy [et al.]	34
Stratégies de contrôle avancées des éoliennes et des parc éoliens en mer	35
Neural network-based supertwisting control for floating wind turbine in region III, Mohammad Javad Mirzaei [et al.]	36

Control Strategy for Floating Offshore Wind Turbines based on Optimization Algorithms, Seydali Ferahtia [et al.]	37
Contrôle de parc éolien par redirection des sillages : défis et perspectives, Paolino Tona [et al.]	38
Maximizing power generation in floating offshore wind turbines: nonlinear robust control approaches in low-wind region, Ehsan Aslmostafa Jarchelou [et al.]	39
Design and experimental implementation of a DFIG-based wind energy conversion system, Elhoussin Elbouchikhi	40
Individual pitch control to damp floater vibrations: a comparison of several strategies, Matteo Capaldo [et al.]	41
Amélioration des performances du contrôle assisté par Lidar, par la mise en œuvre d'une solution de reconstruction et de prédiction de l'état du vent incident, Fabrice Guillemin	42
Modélisation et suivi en service des structures en mer	43
Projet B2FE : béton fibré pour flotteurs d'éoliennes, Nicolas Reuge [et al.]	44
Modelisation de la raideur dynamique des cables d'ancrage en nylon, Mathis Feuvrie	45
Prise en compte du vieillissement couplé hygro-mécanique de pales de structures d'éolienne en milieu marin (EMR), El Hadji Amadou Ba [et al.]	46
Modélisation de l'effet geyser lors de l'accostage d'un bateau de maintenance à une éolienne, Laurent Barthelemy	48
Mesoscopic mechanical modelling and monitoring of a polyamide rope for mooring lines of floating offshore wind turbines, Laure Civier [et al.]	49
Ressources éoliennes en "terres-mers" inconnues et sillages d'éoliennes	50
Étude de la dynamique du sillage d'un modèle d'éolienne flottante à travers une moyenne de phase, Antonin Hubert	51
Caractérisation haute résolution de la ressource en vent à partir d'observations satellite, Marie Cathelain	52
Mesure in-situ du sillage d'une éolienne flottante par LiDAR scannant stabilisé, Boris Conan [et al.]	53

Modélisation méso-échelle d'un épisode de brise thermique et comparaison avec mesures LiDAR, Mathieu Landreau [et al.]	54
Physically-based model for the velocity and turbulence in the wake of a turbine., Erwan Jézéquel	55
Liste des participants	55
Liste des auteurs	58

Session plénière

Matériaux pour l'éolien en mer : quels enjeux ?

Thomas Corre *¹, Bertrand Huneau *

2

¹ Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique – Ecole Centrale de Nantes – France

² Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique – Ecole Centrale de Nantes – France

La production d'énergie nécessite des matériaux ! Si ce constat semble évident, il a pourtant été peu considéré jusqu'à récemment. En effet, c'est seulement dans le cadre de la nécessaire transition énergétique en cours qu'une prise de conscience s'est opérée à ce sujet. Ainsi, la banque mondiale a publié en 2017 un rapport intitulé " Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future " (1). Depuis, de nombreux rapports ont été publiés, à l'échelle mondiale : OCDE (2), AIE (3), à l'échelle européenne : Eurométaux (4), EERA (5) et à l'échelle nationale : RTE (6), Ademe (7).

La présente analyse se concentre sur la question des métaux dans le domaine de l'éolien en mer, sachant que cette technologie est fortement mise à contribution dans la plupart des scénarios de transition énergétique, en particulier français. On peut citer à titre d'exemple le scénario M23 (EnR grands parcs) de RTE qui table sur 60 GW d'éolien en mer à l'horizon 2050, ou le scénario S3 (Offshore Technologies Vertes) de l'Ademe qui prévoit 47,5 GW de puissance installée en 2060.

Les quantités de métaux nécessaires au développement de la filière " éolien en mer " seront tout d'abord estimées sur la base des matériaux constitutifs des éoliennes et du réseau associé.

La notion de matériaux critiques sera ensuite abordée au travers de la fameuse question " aura-t-on assez de matériaux ? " qu'on peut se poser à l'échelle de la filière, mais qui dépend évidemment des autres usages, liés ou non à la transition énergétique, et ce à l'échelle nationale et internationale. Sans répondre catégoriquement à cette question, on donnera des clés d'analyse du problème, en détaillant notamment la question des stocks et des flux.

Enfin, les cas du Cuivre et des Terres Rares seront détaillés car c'est surtout sur ces métaux que les enjeux se concentrent dans le cadre d'un développement massif de l'éolien en mer.

(1) World Bank. The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future (2017).

(2) OECD. Global Material Resources Outlook to 2060 (2018).

(3) IEA. The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions (2021).

(4) Eurométaux / KU Leuven. L. Grégoir, K. Van Acker, Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge (2022).

*Intervenant

- (5) EERA. Securing sustainable critical raw material supply for clean energy in Europe (2023).
- (6) RTE. Futurs énergétiques 2050, l'analyse environnementale (chapitre 12), (2022).
- (7) ADEME. Transition(s) 2050. Les matériaux pour la transition énergétique, un sujet critique (2022).

La place de l'éolien en mer dans les scénarios prospectifs à 2050

Vincent Guenard * ¹

¹ ADEME, Service Electricité Renouvelable et Réseaux, Coordinateur Pôle Eolien et Energies Marines
– Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie – France

L'éolien en mer est voué à prendre une place importante dans le mix énergétique français. L'Etat français se prépare à accélérer son développement dans les prochaines années avec la programmation des débats publics par façade maritime dont l'objectif est d'identifier des zones d'implantation en mer pour ces parcs pour atteindre un objectif de 50 GW en 2050 (au regard des 0,5 GW installés début 2023). La présentation abordera l'évaluation du potentiel éolien en mer menée en interne à l'ADEME, la place de l'éolien en mer dans les scénarios prospectifs à 2050 notamment les scénarios de l'ADEME et de RTE. La présentation permettra de discuter les hypothèses et les résultats de ces 2 exercices prospectifs complémentaires et de faire le lien avec l'exercice de planification par façade maritime à venir.

*Intervenant

Le droit face à l'éolien flottant en mer :
À la recherche d'un cadre juridique
adapté

L'éolien flottant et le droit international de la mer

Valérie Bore Eveno * ¹

¹ Nantes Université – Faculté de droit et de sciences politiques – France

L'intervention visera à examiner les compétences de l'Etat côtier pour installer des éoliennes flottantes, avec un focus particulier sur la ZEE.

*Intervenant

La nouvelle planification de l'éolien en mer

Nicolas Boillet * ¹

¹ Université de Bretagne Occidentale - UFR Droit et sciences économiques – Université de Brest, UMR AMURE 6308 – France

L'intervention vise à examiner les évolutions introduites par la loi ENR du 10 mars 2023 qui renouvelle l'approche quant à la planification maritime de l'éolien en mer, avec un focus particulier sur l'éolien flottant.

*Intervenant

La question du financement public

Frederic Schneider * ¹

¹ Université de Toulon - Faculté de Droit de Toulon – Université de Toulon – France

L'intervention vise à explorer les dispositifs déployés par l'Etat pour aider au financement de l'éolien flottant en mer.

*Intervenant

L'allègement de la procédure d'autorisation des éoliennes flottantes en mer

Mylène Le Roux * ¹

¹ Nantes Université - UFR Droit et Sciences Politiques – Nantes Université - pôle Sociétés – France

L'intervention vise à étudier les évolutions introduites par la loi ENR du 10 mars 2023 quant à la procédure applicable.

*Intervenant

De la mise à l'eau au démantèlement : analyse juridique du cycle de vie des éoliennes flottantes

Loïc Roulette * ¹

¹ Aix-Marseille Université - Faculté de droit et de science politique – Aix Marseille Université – France

L'intervention vise à examiner la phase de construction et d'installation des éoliennes flottantes en mer sous un angle juridique.

*Intervenant

Le statut juridique des éoliennes flottantes

Caroline Devaux * ¹

¹ Nantes Université, Faculté de droit et de sciences politiques – CDMO – France

L'intervention consistera à examiner le statut juridique des éoliennes flottantes dans les eaux françaises, avec un focus particulier sur les évolutions introduites par la loi ENR de mars 2023.

*Intervenant

L'éolien flottant face aux exigences du droit de la protection de l'environnement

Sabrina Robert Cuendé * ¹

¹ Nantes Université - UFR Droit et Sciences Politiques – Nantes Université - pôle Sociétés – France

L'intervention visera à examiner les outils juridiques mobilisables pour encadrer l'exploitation des éoliennes flottantes en mer dans une optique de protection de l'environnement marin.

*Intervenant

Le personnel affecté à la gestion des éoliennes flottantes

Patrick Chaumette * 1

¹ Nantes Université - UFR Droit et Sciences Politiques – Nantes Université - pôle Sociétés – France

L'intervention vise à examiner le régime juridique applicable au personnel affecté à la gestion des éoliennes flottantes, en s'interrogeant sur la loi applicable et les évolutions législatives récentes qui tendent à renforcer le rôle de la France en tant qu'Etat côtier dans ce domaine.

*Intervenant

Économie de l'éolien en mer

Modèle économique de l'éolien en mer sur le marché spot

Rodica Loisel * ¹, Juliette Morel ¹, Lionel Lemiale

¹ LEMNA, Laboratory of economics and Management Nantes Atlantique – Nantes Université – France

L'étude s'intéresse au modèle d'affaires de l'éolien en mer sous la double incertitude, de la vitesse du vent et du prix spot sur le marché de l'électricité. La méthode de calcul anticipe une évolution stochastique de la production éolienne et des prix de vente, mais garde une certaine base déterministe de ces variables. Les résultats montrent 1) la difficulté d'anticiper les deux facteurs, volume et prix ; 2) une plus forte variabilité imprévisible du prix du marché que de la vitesse du vent ; et 3) un effet positif net sur le modèle d'affaires car les gains compensent les pertes sur le long-terme. Un investisseur averse au risque optera pour des contrats de long-terme (type PPA) plutôt que pour le marché spot, ou d'investir dans le stockage de grande échelle pour pallier les incertitudes. Et sans aversion à l'incertitude, l'investisseur peut combiner le marché spot avec le segment infrajournalier pour la vente du surplus ou l'achat du manque de productible, ou bien diversifiera les secteurs de vente (électromobilité en mer, hub H2).

*Intervenant

Developing large-scale offshore wind power programs: A choice experiment analysis in France

Olivier Joalland * ¹, Pierre-Alexandre Mahieu *

1

¹ LEMNA, Nantes Université – Nantes Université – France

Many offshore wind farms are expected to be installed along the European coasts in the next few years. However, developing offshore wind power may affect other maritime activities already established in the sea space (e.g. commercial fishing). We conducted a discrete choice experiment in France on a national sample, where a wide range of the effects that large-scale offshore wind power programs can have on maritime activities were considered. So far, the valuation of preferences for offshore wind power has mainly focused on the visibility of the wind farms and on their impacts on marine biodiversity. In addition to these impacts, our results show that other types of consequences matter to the public. Employment in the maritime economy, the effect on fresh seafood offer, and conditions for the practice of recreational activities are also found to be significant. Moreover, our study introduces a within-sample treatment in which an information script changes the current situation in the opt-out alternative. We find that social acceptance of offshore wind power varies depending on the information given to the public about other sources of electricity generation that could be prioritised. Policy implications of our results are discussed.

*Intervenant

Mesures territoriales et hiérarchisation des enjeux sur les territoires de l'éolien offshore en France

Juliette Jestin * ¹

¹ Aménagement des Usages des Ressources et des Espaces marins et littoraux - Centre de droit et d'économie de la mer – Institut français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, Université de Brest, Institut Universitaire Européen de la Mer, Centre National de la Recherche Scientifique – France

Une diversité de mesures territoriales sont négociées et mises en œuvre dans le cadre du déploiement de parcs éoliens en mer. Elles forment la "compensation territoriale", répondant à plusieurs enjeux territoriaux à la fois. Cette compensation territoriale vise à l'acceptabilité sociale des projets mais aussi l'équité entre acteurs. Une analyse multicritère des différents types de mesures territoriales et des processus de gouvernance associés est proposée pour étudier les rapports de force dans la construction du compromis territorial et discuter de leur lien avec acceptabilité sociale et équité.

*Intervenant

Compensation à verser aux pêcheurs par les opérateurs des parcs éoliens en mer

Jean-François Bigot * ¹

¹ Laboratoire d'économie et de management de Nantes Atlantique – IMT Atlantique, Nantes Université
- Institut d'Administration des Entreprises - Nantes, FR 3473 Institut universitaire Mer et Littoral –
France

Compensation à verser aux pêcheurs
par les opérateurs des parcs éoliens en mer (Capacités SAS, filiale de NU)

Jean-François Bigot, Morgane Marchand, Caroline Schkeeper, Laurent Baranger

LEMNA, Nantes Université

Dans le cadre de ses activités de valorisation de la recherche, la cellule MER de Capacités en collaboration avec son réseau de partenaires (www.ricep.fr) accompagne les professionnels de la pêche dans les études d'impacts et la définition de mesures de compensation pour pallier les préjudices générés par l'installation des parcs éoliens offshore et leur raccordement électrique. Cet accompagnement s'étale sur toute la durée des projets, à partir de la nomination d'un lauréat à l'appel d'offre de l'Etat, jusqu'à la mise en exploitation des parcs. Ces études jalonnées par la séquence ERC-S (Eviter, Réduire, Compenser, Suivre) permettent d'alimenter la concertation et la prise de décision entre les acteurs de la pêche professionnelle et les industriels. En fonction de l'état d'avancement dans la séquence, plusieurs méthodes d'évaluation des risques et de définition de systèmes de compensation ont été déployés.

*Intervenant

Couplage éolien offshore et hydrogène : quel(s) impact(s) des usages de l'hydrogène et du prix de l'électricité

Lionel Lemiale * ¹, Gabriel Ammour , Anthony Roy

¹ LEMNA - Laboratory of Economics and Management Nantes Atlantique – Nantes Université – France

Cette étude s'intéresse au dimensionnement et à la rentabilité d'un système hybride composé d'une ferme éolienne offshore couplé à un système de production d'hydrogène et de stockage. Le producteur peut tirer ses revenus de la vente d'hydrogène et/ou de la vente d'électricité sur le marché. Nous nous intéressons ainsi à la complémentarité de différentes sources de revenu et son impact sur la rentabilité du projet.

D'un point de vue méthodologique, nous construisons un modèle d'optimisation qui simule, sous l'hypothèse d'information parfaite sur les prix de l'électricité et du profil de vent, au pas horaire, la production d'électricité et d'hydrogène, ainsi que la taille des infrastructures, sous les contraintes technologiques et du profil de demande.

Nous analysons les conséquences des prix des productibles et du profil de demande sur le coût de production de l'hydrogène ainsi que sur les productions d'électricité et d'hydrogène.

*Intervenant

Enjeux sociétaux de l'éolien en mer

Articuler des mondes : la planification de l'éolien en mer en France

Hugo Cordier * ¹

¹ Laboratoire Techniques, Territoires et Sociétés – Ecole des Ponts ParisTech – France

Dans le cadre de la lutte contre le réchauffement climatique, la question de l'énergie tient une place centrale dans un mix énergétique encore fortement composé d'énergies fossiles. Ainsi, la " transition énergétique " vient reconfigurer un secteur électrique dont les paradigmes et la structuration évoluent. La dynamique d'électrification récente fait de l'éolien en mer une technologie centrale, avec un passage à l'échelle extrêmement conséquent (40GW envisagés pour 2050, par rapport à 0,5GW en 2022). Or, l'éolien offshore est une technologie centralisée qui doit s'implanter en mer, " territoire " chargé de très nombreux usages devant donc accueillir dans un horizon temporel restreint un nombre important d'infrastructures fixes et consommatrices d'espaces. Autour de la tryptique " zones, calendriers, volumes ", la planification devient progressivement l'enjeu prioritaire d'un monde de l'énergie qui doit s'approprier, " cadastrer ", un espace encore peu connu, avec ses propres activités et logiques.

La question de la planification de l'éolien en mer est donc celle de la rencontre entre la programmation énergétique (Programmation Pluriannuelle de l'Energie) et la planification maritime (Stratégie Nationale pour la mer et le littoral ; Documents Stratégiques de Façades). Ce processus peut être décrit, et nous souhaitons en restituer les épreuves, car c'est une configuration politico-administrative nouvelle qui se met en place autour d'enjeux devenus transversaux. Or, et bien que pilotée par l'Etat, la planification de l'éolien en mer n'est pas un exercice entièrement centralisé, et de nombreux acteurs organisés selon leurs propres intérêts participent plus ou moins directement à la production d'un ensemble de politiques visant à déployer cette technologie. En sous-texte, la planification de l'éolien en mer relève donc de la territorialisation de l'éolien en mer, c'est-à-dire de la manière dont elle va s'approprier (et être appropriée par) un territoire.

Pour comprendre ces processus, nous souhaitons étudier la gouvernance multi-niveaux de l'éolien en mer : cette nouvelle division du travail mérite d'être interrogée, ainsi que la capacité de l'Etat à travailler avec et coordonner des mondes dans l'objectif de déploiement d'une technologie spécifique. Parce que la planification est une production commune -mais contrôlée-, nous étudierons à tous les niveaux l'Etat et les acteurs qui y participent : RTE, syndicats de producteurs, organisations représentatives de la pêche, associations de protection de la nature et de l'environnement, collectivités locales.

*Intervenant

Paysages de l'éolien en mer : sensibilités, milieux et collectifs

Héloïse Guillaumin * ¹

¹ Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement – École des Hautes Études en Sciences Sociales – France

L'implantation des champs d'éoliennes en mer transforme la morphologie du paysage marin, sous-marin et terrestre. Si l'éolien en mer modifie matériellement le paysage (dans les usages, les pratiques, les communautés humaines et non-humaines), il transforme et requalifie également nos attachements au littoral et modifie également nos relations aux milieux marins.

La thèse qui s'intéresse aux paysages de l'éolien en mer, propose d'aborder ce nouveau paysage sous une approche anthropologique. C'est-à-dire de porter attentions aux formes de vies, aux formes d'engagements et de sensibilités qui sont investies. À partir du cas de Fécamp en Normandie, il s'agira de partager les premières observations en présentant la manière dont les multiples dimensions de l'objet " paysage de l'éolien en mer " sont mises en partage et comment elles circulent à l'intérieur des différents collectifs.

*Intervenant

L'énergie éolienne offshore en débat : vers un accroissement des mobilisations en France ?

Baptiste Chocteau * 1

¹ LETG Nantes – Centre National de la Recherche Scientifique, Nantes Université, Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique UMR 6554 – France

Avec un objectif de neutralité carbone fixé pour 2050, la France entend se doter pour la même année d'une cinquantaine de parcs éoliens en mer. Aujourd'hui, onze parcs éoliens sont à différents stades de développement, et deux parcs seront actifs pour la fin 2023(1). Pour ce faire, l'action publique étatique et les maîtrises d'ouvrage de chaque parc déploient un attirail participatif et informationnel auprès des populations locales et usagers de la mer, concernés de diverses manières par ce nouveau déploiement technologique. Ce processus s'est particulièrement accéléré au cours de l'année 2023, alors qu'une législation autorise la tenue de débats publics sur les futurs parcs éolien en mer, regroupés en une seule procédure sur une façade maritime entière.

Pourtant, le déploiement de ces parcs sur ces côtes françaises suscite le doute, la méfiance, voire la contestation, et ce presque systématiquement lorsqu'un projet est annoncé dans une localité. Sur plusieurs projets en développement, des riverains se montent en collectifs associatifs, mènent une communication battante sur les réseaux sociaux, organisent des réunions publiques et en viennent même à organiser des manifestations sur l'espace public. Les pêcheurs jouent aussi un rôle important dans le devenir des projets, tant leurs espaces de ressources sont diminués, et qu'ils constituent une potentielle force d'opposition majeure. Des associations environnementales également, aux différents sujets et moyens d'engagements, sont opposées au déploiement accru de ces parcs. Ces groupes sociaux sont très différents par leurs compositions socio-géographiques, et défendent des intérêts divers, parfois opposés. Pourtant, ils constituent un front protéiforme face à cette action publique de transition énergétique.

Devant ce constat émergent plusieurs questionnements. D'abord concernant 1) l'émergence de ces mobilisations. Comment se forment-elles et se composent-elles ? Ensuite, 2) quels argumentaires, répertoires d'actions mettent-elles en œuvre, et comment s'articulent-elles entre-elles sur une façade maritime ? Enfin, sous un angle de relation entre les mobilisations et les développeurs de projets, on en vient à se demander 3) quel est le rôle du processus de participation et d'information de l'État et des industriels dans l'émergence de ces mobilisations ? En réaction, comment ces dernières s'emparent-elles de l'information géographique et de ses processus ?

Sans avoir la prétention de répondre pleinement à ces questions(2) cette communication vise à proposer plusieurs pistes de réponses. Après un retour sur les courants disciplinaires dans lesquels elle s'inscrit (de géographie des mobilisations et d'études en sciences sociales des énergies renouvelables), elle se projettera sur trois études de cas. Le projet Bretagne Sud entre

*Intervenant

Belle-Île et l'île de Groix, le parc des éoliennes en mer Yeu-Noirmoutier (EMYN), ainsi que le projet du futur parc de Dunkerque, seront trois exemples pertinents pour ce propos. Dans chacun de ces cas, les riverains forment des collectifs associatifs, les pêcheurs et les associations environnementales présentent une neutralité ou une opposition plus ou moins franche, et les élus portent des voix critiques sur ce processus. Ces cas présentent l'intérêt de l'étude de temporalités différentes dans le cycle de vie des projets. Les mobilisations ont différents niveaux d'unification et de structuration, utilisent des répertoires d'action variés, mais tendent également à faire émerger des schémas similaires entre les différents parcs. C'est ce que cette communication proposera de discuter, pour articuler le constat de ces oppositions à l'énergie éolienne, avec les rôles de l'État et des acteurs industriels dans les processus de participation et d'information.

(1) Le parc du banc de Guérande à Saint-Nazaire produit de l'électricité depuis septembre 2022, et le parc de Saint-Brieuc sera finalisé pour la fin de l'année 2023.

(2) Qui sont l'objet de la thèse en cours de réalisation de Baptiste Chocteau depuis novembre 2022.

Couplages multi-physiques pour l'optimisation des performances des éoliennes

Effects of random parameters standard deviation on the dynamics of a wind turbine gear box

Bilel Karmi * ¹, Abdelghani Saouab , Abdelkhalak El Hami , Mohamed Haddar , Slim Bouaziz

¹ Laboratoire Ondes et Milieux Complexes – Université Le Havre Normandie, Centre National de la Recherche Scientifique – France

The design of a gear system involves the consideration of various random parameters. To ensure that vibrations occurring during operation are controlled, it is crucial to assess the sensitivity of the system to these factors. The objective is to study the effects of uncertain parameters on the dynamic response of a wind turbine's two-stage gearbox. To this end, a 12-degree-of-freedom lump-sum model is proposed, which takes into account the uncertainty associated with the system's mass, moment of inertia, bearing bending stiffness, tension-compression stiffness, damping coefficient, and wind speed. Next, the dynamic response of the two-stage gear system under uncertain design parameters is analyzed using polynomial chaos (PC) expansion with different orders as well as different standard deviations, which is confirmed by Monte Carlo simulation (MCS), containing 100,000 runs.

*Intervenant

Multiscale modelisation for VAWT floating applications

Benoît Augier * ¹

¹ Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer – IFREMER – Brest, France

The motion due to the floating platform adds extra complexity to the unsteady aerodynamics of VAWT and hence, both numerical and experimental studies become very challenging. The presentation focuses on the different approaches developed to assess the performance of an original VAWT developed by BlueTwin based on O-shape double contra-rotating rotors.

IFREMER together with BlueTwin and LEGI Lab have developed experimental campaigns at different scale from small scale in wave tank test using controlled actuators (SiL), wind tunnel test with realistic rotors with pitch and surge motion, medium scale tests with a 10kW prototype installed onshore at Ifremer testing site in Brest. A fast simulation tool dedicated to floating VAWT consisting of the actuator line method combined with CFD is developed and validated by the tests measurements.

These different approaches are developed to design full scale floating VAWTs, with a first 35kW prototype installed in Ste Anne du Portzic Testing site at the end of 2024 before a 5MW installed in Mistral test site in 2027.

*Intervenant

Couplage multi physiques et multidisciplinaire pour améliorer l’insertion des éoliennes offshore.

Florian Dupriez-Robin * ¹

¹ France Energies Marines [Brest] – France Energies Marines – France

L’éolien en mer est une filière industrielle prometteuse pour la transition énergétique, mais qui présente des défis techniques, environnementaux et socio-économiques. France Energies Marine est un institut pour la transition énergétique dédié aux énergies renouvelables marines (ERM). Il a pour mission de promouvoir et de contribuer à la recherche et au développement dans le secteur des ERM, en s’appuyant sur une équipe multidisciplinaire, un réseau de partenaires publics et privés, et quatre programmes de recherche transversaux et complémentaires : caractérisation des sites, conception et suivi des systèmes ERM, intégration environnementale et optimisation des fermes. Cette présentation expose les travaux de recherche menés au sein de France Energies Marines sur les couplages multi-physiques entre les éoliennes et leur environnement. Il s’agit notamment de :

Modéliser les impacts environnementaux et socio-économiques des éoliennes offshore, en tenant compte des bénéfices et des coûts pour les différents acteurs impliqués. Optimiser la conception et le dimensionnement des systèmes d’ancrage mutualisés pour les éoliennes flottantes, en tenant compte des interactions entre les structures, les fondations et le sol. Développer des solutions de levage lourd pour la maintenance offshore des éoliennes flottantes, ainsi qu’un système de prévision probabiliste du vent et des vagues dans le golfe du Lion, basé sur l’apprentissage automatique. Explorer l’usage du monitoring et des inspections pour améliorer la maintenance prédictive des éoliennes offshore, en utilisant des capteurs embarqués, des drones ou des robots sous-marins.

La présentation présente les principaux résultats et les perspectives de ces travaux, ainsi que les synergies possibles entre eux et avec d’autres projets de France Energies Marines.

Mots clefs :

éolien en mer couplages multi-physiques optimisation maintenance multidisciplinarité

*Intervenant

Methodology for the Integration of Experimental and Numerical Fluid Dynamics in the Study of a Floating Wind Turbine Subjected to Environmental Loads

Vincent Leroy *¹, Guillaume Ducrozet², Benjamin Bouscasse¹, Félicien Bonnefoy¹

¹ Nantes Université, Ecole Centrale Nantes, CNRS, LHEEA, UMR 6598, Nantes, France – Nantes Université - École Centrale de Nantes – France

² Nantes Université, Ecole Centrale Nantes, CNRS, LHEEA, UMR 6598, Nantes, France – Nantes Université - École Centrale de Nantes – France

The decrease in the computational cost of high-fidelity solvers like Computational Fluid dynamics (CFD) has expanded its use in the design of marine structures. This is true among academics and industrial R&D departments. After a long debate about whether CFD would or not supplant traditional experimental methods, it is widely accepted that the two approaches need to be considered together. This presentation proposes a framework for the integration of both experiments and high-fidelity numerical simulations in the design procedures of offshore wind turbines. It makes use of the nonlinear potential flow software HOS-NWT for wave generation, together with the NREL OpenFast software for wind generation and calculation of aerodynamic loads acting on the structure. For the numerical simulation, the environment (wave field) and aerodynamic loads are fed into the high-fidelity software with adequate couplings in the resolution algorithm. For the experiments, the wavemaker motion is run based on the HOS-NWT result, and the aerodynamic loads are imposed thanks to an actuator controlled by software in the loop system. This strategy and the integration of OpenFAST also allows the use of different controllers for the wind turbine. Different scenarios are considered, from the classical CFD validation with experimental results up to more complex situations where the numerics and the experiments are done in sequence one before the other or vice versa, in order to complement or verify the findings.

*Intervenant

Représentation des efforts aérodynamiques lors des essais d'éolienne flottante en bassin de génie océanique

Félicien Bonnefoy * ¹, Mohammad Rasool Mojallizadeh ¹, Vincent Leroy ¹,
Sylvain Delacroix ¹

¹ Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Énergétique et Environnement Atmosphérique –
Centre National de la Recherche Scientifique, Ecole Centrale de Nantes – France

Lors des essais en bassin d'une éolienne flottante, on cherche à reproduire les efforts hydrodynamiques, aérodynamiques et d'ancrage pour étudier le comportement du système soumis à l'ensemble des sollicitations extérieures. Pour la partie aérodynamique, on peut réaliser un couplage en temps réel entre un modèle numérique de l'éolienne dans le champ de vent turbulent, qui fournit les efforts aérodynamiques appliqués au rotor et le système expérimental équipé d'un actionneur qui exerce ces efforts sur la maquette du flotteur et d'un système de mesure qui fournit position et vitesse à la simulation. On présente le système développé au LHEEA et les résultats qu'on obtient en termes de performances et d'application, par exemple à la validation de contrôleurs d'éolienne lors du projet européen FLOATECH et du projet ANR CREATIF.

*Intervenant

Stratégies de contrôle avancées des éoliennes et des parc éoliens en mer

Neural network-based supertwisting control for floating wind turbine in region III

Mohammad Javad Mirzaei *¹, Mohamed Assaad Hamida *

¹, Franck Plestan *

1

¹ École Centrale de Nantes – Nantes Université – France

A hybrid control strategy based on the super-twisting sliding mode approach and artificial neural network method is proposed for collective blade pitch (CBP) control of floating wind turbines (FWT) above the rated wind speed. Besides the presence of uncertainties and external disturbances due to the complexity of the model of wind turbines, the radial basis function (RBF) neural network is used to approximate model uncertainties and unmodeled dynamics, reducing the controller dependency on the exact model of the system. The implemented neural network adaptive law has been achieved based on the Lyapunov stability, and the convergence of the closed-loop system is guaranteed by adjusting the learning rate. As the floating wind turbine is a highly nonlinear system, the main objectives are limitation of platform pitch motion and related fatigues, blade fatigue load reduction, and power regulation. Using the FAST simulator, the proposed controller has been tested by achieving the required dynamic and static performance and the simulation results illustrate the efficiency of the investigated strategy by comparing it with and without the RBF neural network on the FWT.

*Intervenant

Control Strategy for Floating Offshore Wind Turbines based on Optimization Algorithms

Seydali Ferahtia * ¹, Mohammed Machmoum ¹, Mourad Ait-Ahmed ¹,
Azzedine Hourri ¹, Abdelhakim Saim ¹

¹ Institut de Recherche en Energie Electrique de Nantes Atlantique UR 4642 – Institut Universitaire de Technologie - La Roche-sur-Yon, Nantes Université - Institut Universitaire de Technologie Saint-Nazaire, Nantes Université - Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes – France

The wind industry's shift towards deep-sea operations has increased interest in floating offshore wind turbines (FOWTs). These floating platforms introduce greater motion, potentially reducing power production and increasing structural stress. To address this, new control strategies are needed. The commonly used gain-scheduled proportional-integral (GSPI) controller adjusts blade pitch above rated wind speeds but relies on mathematical approximations. A study presents an improved GSPI controller (OGSPI) using the metaheuristic optimizer algorithms that find the best set of control parameters for the classical GSPI that reduce platform motion while maintaining power output. The performance of the OGSPI relies on the used data and the considered platform.

*Intervenant

Contrôle de parc éolien par redirection des sillages : défis et perspectives

Paolino Tona * ¹, Fabrice Guillemin *

2

¹ IFP Energies Nouvelles – IFP Energies Nouvelles, IFP Energies Nouvelles – France

² IFP Energies nouvelles – IFP Energies Nouvelles, IFP Energies Nouvelles – France

Le contrôle de parc représente un changement de paradigme, au profit d'une approche holistique, par rapport à l'approche conventionnelle consistant à contrôler les éoliennes individuellement. Il cherche à optimiser le fonctionnement global du parc lorsqu'il survient des conditions de vent défavorables, où les éoliennes se gênent aérodynamiquement entre elles, à cause des sillages produits par les turbines en amont. Ses principaux objectifs sont la maximisation ou la régulation de la production d'énergie électrique et la minimisation de la fatigue mécanique des éoliennes. Nous passerons en revue les principaux défis auxquels se confronte cette méthodologie, en mettant l'accent sur l'approche " wake steering " qui consiste à modifier l'orientation de chaque éolienne pour rediriger le sillage qu'elle produit. Après un bref tour d'horizon des solutions développées et en cours de développement à IFP Energies nouvelles en collaboration avec GreenWITS, nous allons nous concentrer sur les pistes de recherche qui permettent, on l'espère, de développer une nouvelle génération d'outils numériques pour le contrôle de ferme.

*Intervenant

Maximizing power generation in floating offshore wind turbines: nonlinear robust control approaches in low-wind region

Ehsan Aslmostafa Jarchelou ^{*} ¹, Mohamed Assaad Hamida ², Franck Plestan ³

¹ Nantes Université – Ecole Centrale de Nantes – France

² Nantes Université – Ecole Centrale de Nantes – France

³ Nantes Université – Ecole Centrale de Nantes – France

This study examines a robust control approach for a floating offshore wind turbine (FOWT) operating in Region II. The aim is to maximize power point tracking (MPPT) while minimizing fatigue loads within wind speed limits. Ensuring the tip speed ratio (TSR) is at its optimal value achieves the MPPT control aim while setting the platform pitch velocity to zero helps in reducing system fatigue. Control design based on the FAST platform model is not trivial due to the nonlinear and complex dynamics provided by the model of a FOWT. A robust nonlinear control approach is proposed to address this issue as it requires minimal knowledge about the model of the system. Such a class of controllers is adapted to parameter variations and perturbation. Finally, simulation results are presented to validate the effectiveness of the implemented control approaches.

*Intervenant

Design and experimental implementation of a DFIG-based wind energy conversion system

Elhoussin Elbouchikhi * ¹

¹ LABISEN – Institut supérieur de l'électronique et du numérique (ISEN), YNCREA OUEST, ISEN
Nantes – France

Today, pitch-controlled variable speed wind turbines (WTs) are the most installed Wind Energy Conversion (WEC) systems. They mainly use two types of generators: the permanent magnet synchronous generator (PMSG) and the doubly-fed induction generator (DFIG). In this presentation, the overall configuration of DFIG-based WEC systems is reviewed and its control strategy is experimentally implemented using dSPACE DS1104 controller board. In this context, emphasis is placed on active power transfer management, reactive power compensation, and sinusoidal current injection into the main grid to improve power quality. The built lab-scale prototype allows validating different subsystems operation and demonstrating DFIG-based WEC capabilities. This presentation is mainly intended for graduate and PhD students and specifically provides a thorough and consistent step-by-step modeling and control design methodology for a DFIG-based WEC simulation and experimentation platform that could be used for education and research addressing the wind energy conversion timely topic.

*Intervenant

Individual pitch control to damp floater vibrations: a comparison of several strategies

Matteo Capaldo * ¹, Jawad Charafeddine ²

¹ Total [Palaiseau/Saclay] – TotalEnergies – France

² Institut Supérieur de l’Aéronautique et de l’Espace – Institut Supérieur de l’Aéronautique et de l’Espace – France

For FOWTs, the control strategy needs to consider the coupling between rotor and platform dynamics potentially leading to oscillating (not damped) steady-state or even to unstable conditions (Larsen et al., 2007). In literature, many strategies are proposed in order to design controllers well-suited for FOWTs. Among them, a family of strategies proposes to introduce a floating feedback to the platform pitch dynamics. This kind of strategies uses additional sensing, such as nacelle fore-aft acceleration measurements or platform gyroscopes to improve the pitch controller. It is introduced in (Lackner, 2009), (Abbas et al., 2022) and (Capaldo and Mella, 2023).

In this paper, we investigate three new different strategies improving the floating feedback by considering different use of the individual pitch control (IPC). Results show how IPC is able to damp platform vibrations without affecting the rotor dynamics. More test cases, including the application to an OpenFast model of a semi-sub FOWT, are under investigation.

(Abbas et al., 2022) Abbas, N., Zalkind, D., Pao, L. & Wright, A.: A Reference open-source controller for fixed and floating offshore wind turbines, *Wind Energy Science*, 7, <https://doi.org/10.5194/wes-7-53-2022>, 2022. (Capaldo and Mella, 2023) Capaldo, M. & Mella: Damping analysis of floating offshore wind turbines (FOWTs): a new control strategy reducing the platform vibrations, *Wind Energ. Sci.*, 8, 1319–1339, <https://doi.org/10.5194/wes-8-1319-2023>, 2023. (Larsen et al., 2007) Larsen, T. & Hanson, T.: A method to avoid negative damped low frequent tower vibrations for a floating, pitch controlled wind turbine, *Journal of Physics: Conference Series*, 75, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/75/1/012073>, 2007. (Lackner, 2009) Lackner, M.: Controlling Platform Motions and Reducing Blade Loads for Floating Wind Turbines, *Wind Engineering*, 33, <https://doi.org/10.1260/0309-524X.33.6.5>, 2009

*Intervenant

Amélioration des performances du contrôle assisté par Lidar, par la mise en œuvre d'une solution de reconstruction et de prédiction de l'état du vent incident

Fabrice Guillemin * ¹

¹ IFP Energies nouvelles – IFP Energies Nouvelles, IFP Energies Nouvelles – France

L'objectif général du contrôle d'éolienne assisté par Lidar est de protéger celle-ci des chargements mécaniques extrêmes et en fatigue, induits par son interaction avec le vent, et d'améliorer sa production d'énergie. Cela nécessite des informations fiables et précises décrivant les propriétés du champ de vent incident, qui doivent être mises à la disposition du contrôleur à chaque pas d'échantillonnage.

Les lidars atmosphériques montés sur nacelle répondent désormais à ces exigences, grâce à des algorithmes de traitement embarqués de haute performance, tels que l'algorithme " Windbox ", développé par IFPEN en partenariat avec Vaisala, et déployé commercialement dans le "Wind-Cube Nacelle TC".

Après une description de cet algorithme de reconstruction et de prédiction du champ de vent, ainsi que de sa validation expérimentale, une stratégie de contrôle s'appuyant sur les propriétés de vent estimées sera exposée, avec une évaluation de performance intermédiaire s'appuyant sur des simulations servo-aéro-élastiques.

*Intervenant

Modélisation et suivi en service des structures en mer

Projet B2FE : béton fibré pour flotteurs d'éoliennes

Nicolas Reuge ¹, François Bignonnet ¹, Stéphanie Bonnet * ¹

¹ Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique – Centre National de la Recherche Scientifique, Ecole Centrale de Nantes, Nantes université - UFR des Sciences et des Techniques, Nantes Université - Institut Universitaire de Technologie Saint-Nazaire, Nantes Université - Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes – France

Cette étude a consisté à étudier une solution matériau constitué de béton fibré pour les flotteurs d'éoliennes flottantes. Le but est de remplacer tout ou partie des armatures en acier par des fibres en acier. Le béton étudié a un liant composé de 50% CEM I et 50% laitier. Si la littérature scientifique sur les bétons ordinaires renforcés par des fibres est abondante, les bétons au laitier renforcés par des fibres en acier n'ont été que très peu étudiés. Le travail a consisté à mettre en œuvre ce béton au laitier sans fibres et avec fibres pour trois quantités différentes de fibres : 20 kg/m³, 40 kg/m³ et 60 kg/m³. Les bétons réalisés avec ces quatre formulations différentes ont été caractérisés en termes de durabilité par rapport à la pénétration des ions chlorure (tests de migration rapide des chlorures) et de résistivité. D'après ces essais ainsi que des critères supplémentaires, la quantité optimale de fibres est de 40 kg/m³. Un second volet de cette étude a consisté à développer une étude numérique basée sur les méthodes d'homogénéisation multi-échelle. Le schéma homogénéisation multi-échelle proposé associé à un modèle d'hydratation a permis de reproduire l'évolution temporelle des résistivités pour les quatre formulations étudiées.

*Intervenant

Modelisation de la raideur dynamique des câbles d'ancrage en nylon

Mathis Feuvrie * ¹

¹ École Centrale de Nantes – Ecole Centrale de Nantes – France

Cette étude est consacrée aux câbles d'ancrage en nylon dont l'usage se développe pour l'éolien flottant. En service ces câbles ont une réponse dynamique " lente " et présentent un comportement mécanique non linéaire. Des essais de caractérisation sont réalisés pour mesurer l'influence de certains paramètres sur la raideur. Les paramètres considérés sont la tension moyenne et l'amplitude de variation de la tension. A partir des mesures réalisées, un modèle de comportement proposé dans la littérature est sélectionné. Il est montré que les coefficients de ce modèle peuvent être ajuster pour représenter les résultats d'essai avec une bonne précision. Ce travail a reçu des fonds de l'institut Carnot Marine Engineering Research for Sustainable, Safe and Smart Seas.

*Intervenant

Prise en compte du vieillissement couplé hygro-mécanique de pales de structures d'éolienne en milieu marin (EMR)

El Hadji Amadou Ba *¹, Khalid Aoujdad², Florian Gehring³, Damien Leduc², Pierre Marechal², Mounsif Ech-Cherif El-Kettani², Alexandre Vivet³

¹ Centre de recherche sur les Ions, les MATériaux et la Photonique – Centre National de la Recherche Scientifique, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Caen, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Université de Caen Normandie, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR6252, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives : DRF/IRAMIS – CIMAP - UMR 6252, 6, Boulevard du Maréchal Juin 14050 Caen cedex 4, France

² Laboratoire Ondes et Milieux Complexes – Université Le Havre Normandie, Centre National de la Recherche Scientifique – France

³ Centre de recherche sur les Ions, les MATériaux et la Photonique – Université de Caen Normandie, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Caen, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut de Recherche sur les Matériaux Avancés – France

La loi relative à la transition énergétique (1), votée le 17 Août 2015, ayant pour but de favoriser la part de l'énergie verte dans le mixte énergétique en France, prévoit une part de la production énergétique éolienne terrestre et marin de 20% en 2028. L'éolien a ainsi pour objectif une production d'électricité de 10 GW en 2028, ce qui représente la production de 10 réacteurs nucléaires (2). Les pales d'éolienne sont une structure composite complexe. En fonction de la longueur de la pale chaque constructeur utilise ses propres matériaux et développe sa propre stratégie de conception. On retrouve cependant pour la plupart des pales une structure globale en matériaux sandwich dont les peaux sont en stratifiés résine thermodurcissable/fibre de verre et dont l'âme est en mousse polymère ou en balsa avec des renforts localisés faits avec des lames de stratifié résine thermodurcissable/fibre de carbone. Ces pâles d'éolienne marine subissent, en service, des sollicitations couplées mécaniques et environnementales (torsion, flexion, force centrifuge, impact, humidité, température, salinité...) (3). L'ensemble de ces sollicitations génèrent des endommagements et un vieillissement des structures en service. Pour minimiser les opérations de maintenance et optimiser leur durée de vie, il est nécessaire de contrôler in-situ l'état de santé des matériaux de ces structures. La compréhension de la cinétique et des mécanismes d'endommagement reste essentielle dans l'étude de la mécanique de rupture de nos structures sandwich représentatives des pâles d'éoliennes en milieu marin. En effet, c'est dans cet optique que, des échantillons composites stratifiés UD verre/polyester et sandwichs en âme de mousse de SAN et de peaux en UD de verre sont testés mécaniquement en flexion. Ces échantillons qu'ils soit vierges et vieillis, sont soumis à des tests de flexion dans le but de comprendre les mécanismes d'endommagement. Pour la structure de composite UD verre/polyester, la classification des signaux acoustiques a fait apparaître 4 mécanismes d'endommagement avec chacune sa signature

*Intervenant

acoustique à savoir : la fissuration matricielle, la décohésion interface fibre/matrice, le délaminage et enfin la rupture de fibres. Au niveau des deux structures sandwich (vierges et vieilles), tous ces mêmes mécanismes d'endommagement sont apparus et s'y est ajoutée la décohésion interface âme/peaux. Le but est dans un premier temps de comprendre ce qui passe au niveau des peaux (composite UD verre/polyester) en terme de mécanisme rupture. Dans un second temps, le but est de comprendre l'influence du vieillissement sur les mécanismes d'endommagement en comparant ces mécanismes des sandwichs vierges avec ceux vieillis.

Modélisation de l'effet geyser lors de l'accostage d'un bateau de maintenance à une éolienne

Laurent Barthelemy * ¹

¹ École nationale supérieure maritime (ENSM) – Ministère de l'écologie de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire – 38 rue Gabriel Péri 44103 Nantes, France

Pour des fermes d'éoliennes flottantes comme en Méditerranée, où les vagues peuvent avoir des périodes courtes, il est important de veiller à ce que le pont du bateau de maintenance ne soit pas inondé.

DESCRIPTION DE LA METHODE:

- Calcul de l'élévation de la vague au point d'accostage sur l'éolienne. par prise en compte du masquage des vagues par son support.
- Calcul du pilonnement du bateau de maintenance à son point d'accostage.
- Calcul de l'écart relatif entre l'élévation de la vague et pilonnement du bateau de maintenance à son point d'accostage.
- Identification des hauteurs et périodes de vagues pour lesquelles cet écart relatif est négatif, c'est-à-dire pour lesquelles le pont du bateau est inondé par les vagues.

PRINCIPAUX RESULTATS ET RETOMBEES

En se basant sur une autre publication qui calcule un tel risque d'inondation, dans le cas où le support d'éolienne est un monopieu, le présent calcul retrouve bien le même résultat. Ainsi, après s'être calibré sur cet exemple, le calcul est généralisé au cas où le support d'éolienne est un flotteur.

*Intervenant

Mesosopic mechanical modelling and monitoring of a polyamide rope for mooring lines of floating offshore wind turbines

Laure Civier ¹, Guilhem Bles * ², Yann Marco ², Peter Davies ³,
Jean-Sébastien Verjut ⁴, Guillaume Damblans ⁴

¹ France Energies Marines [Brest] – France Energies Marines – France

² Institut de Recherche Dupuy de Lôme (IRDLD) – ENSTA Bretagne – France

³ Laboratoire Structures Matériaux Avancés et Sollicitations Hyperbares – Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) – France

⁴ France Energies Marines [Brest] – France Energies Marines – France

Floating wind turbines developed in shallow waters (depth less than 150 m) will be located in exposed areas where waves and wind are significant. A challenge for the floating systems is to find a robust mooring solution suited for long-term applications. Shallow water platforms can benefit from the Oil & Gas sector experience, but catenary mooring system is not optimized for floating offshore wind turbines (FOWT). A proposed solution is a semi-taut mooring system with synthetic ropes. Their high specific strength added to their flexibility will allow smaller line length, weight, and line tension. Synthetic mooring lines will ease the handling and improve safety during installation. Nylon 6 is of high interest thanks to its competitive price, high elongation to failure (up to 20%) and low stiffness. Its visco-elasto-plastic behavior is a source of damping, which is anticipated to allow floater structural optimisation. A new fiber coating has been developed for Nylon rope applications that require long duration (25 years) such as FOWT. Work performed during FEM's POLYAMOR project proved that this new coating increases the durability and fatigue resistance of the nylon line up to the industry requirements. A key R&D challenge is to understand the contributions of their complex hierarchical multi-scale architecture, and their complex non-linear elasto-visco-plastic behaviour, to the dissipation and failure mechanisms of the rope. FEM's MONAMOR project proposes the development of an anisotropic behavior law based on the rope meso-scale constituents (the rope-yarns which are the sub-scale of the strand) to answer these questions. The model, once implemented in a finite element analysis software, will allow the dissipation due to internal friction mechanisms, identified as the main source of damage of nylon fibres, to be separated from the dissipation linked to the fiber behavior. The MONAMOR project also includes the development of new innovative sensors for the monitoring of these complex ropes. Development of sensors and meso-scale modelling are parallel and complementary topics. Both are being tested and verified during sea-trials on a prototype with a mooring system designed to be representative of FOWT dynamics. These sea-trials are also part of the MONAMOR project.

*Intervenant

Ressources éoliennes en "terres-mers" inconnues et sillages d'éoliennes

Étude de la dynamique du sillage d'un modèle d'éolienne flottante à travers une moyenne de phase

Antonin Hubert * ¹

¹ LHEEA, UMR CNRS 6598 – LHEEA, UMR CNRS 6598, Nantes Université, École Centrale de Nantes, Ecole Centrale de Nantes – France

Dans le contexte d'une demande énergétique mondiale toujours plus importante, les éoliennes flottantes deviennent une solution de plus en plus viable. Malgré tout, les dynamiques complexes introduites par les plateformes flottantes posent de nouveaux défis dans l'étude des sillages des éoliennes, et de nombreuses questions restent sans réponse en raison de la précocité de la technologie et du manque d'expérience opérationnelle. De précédents travaux montrent que les mouvements harmoniques avec une combinaison amplitude/fréquence réaliste et une couche limite atmosphérique modélisée n'ont aucun impact réel sur les valeurs moyennes, mais des réponses en fréquentiel sont visibles dans les spectres énergétiques des paramètres du sillage. Cette étude vise à mettre en lumière les comportements spatio-temporels du sillage lors de mouvements harmoniques de cavement, de tangage et de pilonnement imposés à un modèle. Des expérimentations en soufflerie sur un disque poreux avec une couche limite atmosphérique marine modélisée sont effectuées et une méthode de moyenne de phase est appliquée sur les données. Les résultats montrent deux dynamiques distinctes du sillage : (i) pour le tangage et le pilonnement, le sillage est déplacé verticalement tout en conservant son intégrité et la même puissance. (ii) pour le cavement, le sillage se contracte et s'étend sans aucun déplacement de son centre. Ce phénomène peut être assimilé à un effet de "pompage", car la puissance à l'intérieur du sillage augmente et diminue en phase avec la surface.

*Intervenant

Caractérisation haute résolution de la ressource en vent à partir d'observations satellite

Marie Cathelain * ¹

¹ Collecte Localisation Satellites – Centre National d'Études Spatiales [Toulouse] – France

L'évaluation de la ressource en vent constitue un défi du fait du peu de mesures en mer à hauteur de moyeu. Elle repose classiquement sur une méthodologie basée sur une combinaison de résultats de modèles méso-échelle et d'observations en mer, les lidars flottants ayant désormais remplacé les mâts météo, trop coûteux et limités en terme de hauteur. Les lidars sont en général déployés lors de campagnes de mesures d'une à deux années et mesurent la vitesse du vent en un point à différentes hauteurs, tandis que les modèles numériques ont tendance à lisser les hétérogénéités et les extrêmes du fait de leur schéma numérique, résolution spatiale et paramétrisations. Il en résulte une forte incertitude de la ressource en vent, notamment dans les zones côtières soumises à des interactions air-mer et des effets liés à la transition terre-mer mal représentés par les modèles et le déploiement d'un ou deux lidars flottants.

Les observations des radars à synthèse d'ouverture (SAR) embarqués sur les satellites fournissent une base de données long terme (18 ans grâce aux satellites européens ENVISAT et SENTINEL-1) à une résolution d'une centaine de mètres sur une zone de 250 km le long d'une grande majorité des côtes dans le monde. Le SAR à bande C (5.4 GHz) mesure le signal rétrodiffusé par les vaguelettes de l'ordre de 5 cm à la surface de l'eau. Cette rugosité de surface est directement liée à la contrainte de cisaillement du vent et des relations empiriques permettent de reconstruire le vent de surface correspondant.

Afin d'adresser les hauteurs d'intérêt pour l'éolien en mer, le vent de surface SAR est extrapolé verticalement à l'aide d'un modèle de machine learning entraîné sur une base de données lidar en mer du Nord. La méthodologie est détaillée et des cas de validation sont présentés pour illustrer la plus-value de ces données inconnues de la communauté de l'éolien en mer.

*Intervenant

Mesure in-situ du sillage d'une éolienne flottante par LiDAR scannant stabilisé

Boris Conan * ¹, William Bruch *

¹, Sandrine Aubrun ¹, Yves Perignon ¹, Jean-Marc Rousset ¹

¹ Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Énergétique et Environnement Atmosphérique –
Centre National de la Recherche Scientifique, Ecole Centrale de Nantes – France

Dans le contexte du développement des éoliennes en mer, la question de l'interaction de sillage entre des éoliennes flottantes est un enjeu crucial. L'interaction des mouvements de l'éolienne avec l'écoulement atmosphérique est un sujet encore relativement inexploré d'un point de vue mesure in-situ de part la complexité des phénomènes et celle de réaliser des mesures en mer. Une technologie de LiDAR scannant stabilisé a été développée au LHEEA dans laquelle ce dernier est stabilisé activement pour maintenir son assiette. Les performances du dispositif ont été qualifiées lors d'une première campagne de mesure en mer sur un navire. Des mesures ont été réalisées proche d'un point de mesure fixe sur un phare et dans le sillage de l'éolienne FLOATGEN sur le site d'essai en mer SEMREV. Les résultats montrent une bonne performance de la stabilisation et une amélioration substantielle des mesures de vent.

*Intervenant

Modélisation méso-échelle d'un épisode de brise thermique et comparaison avec mesures LiDAR

Mathieu Landreau * ¹, Isabelle Calmet ¹, Boris Conan ¹

¹ École Centrale de Nantes – Nantes Université, Ecole Centrale Nantes, CNRS, LHEEA, UMR 6598, F-44000 Nantes, France – France

L'évaluation de la ressource éolienne en zone côtière et marine est cruciale pour le développement des parcs éoliens offshore. Cependant, la complexité et la variété des phénomènes qui peuvent se produire dans cette zone (e.g. brises de mer, couches limites internes) provoquent des profils de vitesse qui dévient fortement de la théorie de similitude de Monin-Obukhov. De plus, le manque de données expérimentales en mer se traduit par une lacune dans les connaissances sur la couche limite atmosphérique en zone côtière et marine. Pour contribuer à combler ces manques, une étude numérique et expérimentale est en cours. Depuis quelques années, des mesures par sonic 3D et par LiDAR scannant ont été réalisées sur la côte Atlantique. En complément de ces données, des simulations LES haute résolution sont réalisées avec le code de calcul *Weather Research & Forecasting* (WRF). La méthode d'emboîtement est utilisée pour réduire progressivement la taille du maillage de quelques kilomètres (RANS) jusqu'à environ 100 m (LES). Les premières simulations RANS parviennent à globalement reproduire les profils de vitesse mesurés par le LiDAR pendant une succession de brises thermiques au large du Croisic. De plus, les simulations apportent des informations supplémentaires (grandeurs supplémentaires, zone d'étude plus large), permettant de mieux appréhender la dynamique du phénomène. Les résultats LES à venir permettront une analyse plus précise du développement et de l'évolution des phénomènes côtiers.

*Intervenant

Physically-based model for the velocity and turbulence in the wake of a turbine.

Erwan Jézéquel * ¹

¹ IFP Energies Nouvelles – IFP Energies Nouvelles – 1 et 4 avenue de Bois Préau, 92852
Rueil-Malmaison, France, France

Assessing the power loss and fatigue in a wind farm due to wake effects requires the use of analytical models for velocity deficit and added turbulence in the wake of turbines. Many steady-state models have been developed in the literature for the velocity deficit, but the added turbulence has received less attention and only an empirical model is available for the whole turbulence profile in the wake of a turbine. We propose a physically-based model that predicts both the velocity and turbulence in the wake. It accounts for the meandering effect (oscillations of the wake) that is often supposed to only enhance the diffusion in other steady-state models. We show that diffusion and meandering lead to different turbulence profiles and thus need to be modelled separately. Moreover, this separation allows considering the atmospheric stability in the model. A calibration of the model is proposed for neutral and unstable atmospheric conditions. It leads to encouraging results even though it is not yet as performing as the empirical model from the literature.

*Intervenant

Liste des participants

- Ait-Ahmed Mourad
- André Maximilien
- Aslmostafa Jarchelou Ehsan
- Aubrun Sandrine
- Augier Benoît
- Ba El Hadji Amadou
- Barj Lucie
- Barthelemy Laurent
- Baulaz Yoann
- Bellanger Manuel
- Bigot Jean-François
- Bles Guilhem
- Boisdron Philippe
- Bonnefoy Félicien
- Bonnet Stephanie
- Bornemann Brigitte
- Bouchet Boris
- Bourguet Salvy
- Capaldo Matteo
- Cartraud Patrice
- Cathelain Marie
- Caussé Nolwenn
- Chaumette Patrick
- Chocteau Baptiste
- Conan Boris

- Cordier Hugo
- Corre Thomas
- Cuif Marion
- Delpoux Romain
- Desille Legeay Pascal
- Devaux Caroline
- Dezulier Quentin
- Dieci Giacomo
- Duchet Maxime
- Dupriez-Robin Florian
- Dupuis Clémie
- Elbouchikhi Elhoussin
- Fall Sidy
- Ferahtia Seydali
- Ferellec Nicolas
- Ferragu Caroline
- Feuvrie Mathis
- Gehring Florian
- Girard Marion
- Guénard Vincent
- Guillaumin Héloïse
- Guillemin Fabrice
- Hamida Mohamed Assaad
- Huneau Bertrand
- Jaunet Vincent
- Jestin Juliette
- Kühn Hugo
- L'arvor Erwan
- Le Goff Gwenaëlle
- Le Roux Mylène
- Lemiale Lionel
- Leroy Vincent

- Lesguillons Max
- Li Zhongsen
- Loisel Rodica
- Machmoum Mohamed
- Marchand Morgane
- Ohana Jérémy
- Philippot David
- Pigeault Alexia
- Plestan Franck
- Popineau Victor
- Rey Valentine
- Rondon Marianna
- Salic Tom
- Sam Lefebvre Awa
- Schkeeper Caroline
- Schneider Frédéric
- Sicot Christophe
- Soulard Marie
- Tona Paolino
- Trouillet Brice
- Vidzrakou Kossi
- Vlachogiannis Prokopios
- Zeidan Lara

Liste des auteurs

- Ait-Ahmed, Mourad, 36
Ammour, Gabriel, 22
AOUJDAD, Khalid, 45
ASLMOSTAFA JARCHELOU, Ehsan, 38
Aubrun, Sandrine, 52
AUGIER, Benoît, 30
- BA, El Hadji Amadou, 45
BARTHELEMY, Laurent, 47
BIGNONNET, François, 43
Bigot, Jean-François, 21
BLES, Guilhem, 48
Boillet, Nicolas, 10
Bonnefoy, Félicien, 32, 33
Bonnet, Stéphanie, 43
Bore Eveno, Valérie, 9
Bouaziz, Slim, 29
Bouscasse, Benjamin, 32
Bruch, William, 52
- CALMET, Isabelle, 53
Capaldo, Matteo, 40
Cathelain, Marie, 51
Charafeddine, Jawad, 40
Chaumette, Patrick, 16
CHOCTEAU, Baptiste, 26
Civier, Laure, 48
Conan, Boris, 52, 53
Cordier, Hugo, 24
Corre, Thomas, 5
- Damblans, Guillaume, 48
Davies, Peter, 48
Delacroix, Sylvain, 33
Devaux, Caroline, 14
Ducrozet, Guillaume, 32
Dupriez-Robin, Florian, 31
- ECH-CHERIF EL-KETTANI, Mounsif, 45
EL Hami, Abdelkhalak, 29
ELBOUCHIKHI, Elhoussin, 39
- Ferahtia, Seydali, 36
Feuvrie, Mathis, 44
- Gehring, Florian, 45
GUENARD, Vincent, 7
Guillaumin, Héloïse, 25
Guillemin, Fabrice, 37, 41
- Haddar, Mohamed, 29
Hamida, Mohamed Assaad, 35, 38
Hourì, Azzedine, 36
- Hubert, Antonin, 50
Huneau, Bertrand, 5
- Jestin, Juliette, 20
Joalland, Olivier, 19
Jézéquel, Erwan, 54
- Karmi, Bilel, 29
- LANDREAU, Mathieu, 53
Le Roux, Mylène, 12
LEDUC, DAMIEN, 45
Lemiale, Lionel, 18, 22
Leroy, Vincent, 32, 33
Loisel, Rodica, 18
- Machmoum, Mohammed, 36
MAHIEU, Pierre-Alexandre, 19
Marco, Yann, 48
MARECHAL, Pierre, 45
MIRZAEI, Mohammad Javad, 35
Mojallizadeh, Mohammad Rasool, 33
Morel, Juliette, 18
- Perignon, Yves, 52
Plestan, Franck, 35, 38
- Reuge, Nicolas, 43
Robert Cuendé, Sabrina, 15
Roulette, Loïc, 13
Rousset, Jean-Marc, 52
ROY, Anthony, 22
- Saim, Abdelhakim, 36
Saouab, Abdelghani, 29
Schneider, Frederic, 11
- Tona, Paolino, 37
- Verjut, Jean-Sébastien, 48
VIVET, Alexandre, 45

