Énergies renouvelables | Énergies éoliennes

ÉNERGIES ÉOLIENNES

NOS SOLUTIONS

IFPEN développe des solutions innovantes visant à faciliter la mise en place de nouveaux projets et à optimiser la production d'énergie à l'échelle d'une éolienne comme à celle d'une ferme à terre et en mer. Les résultats de la recherche sont transférés dans des outils commercialisés par des partenaires. IFPEN propose aussi de la recherche collaborative sous forme de Joint Industry Project (JIP).

A retenir

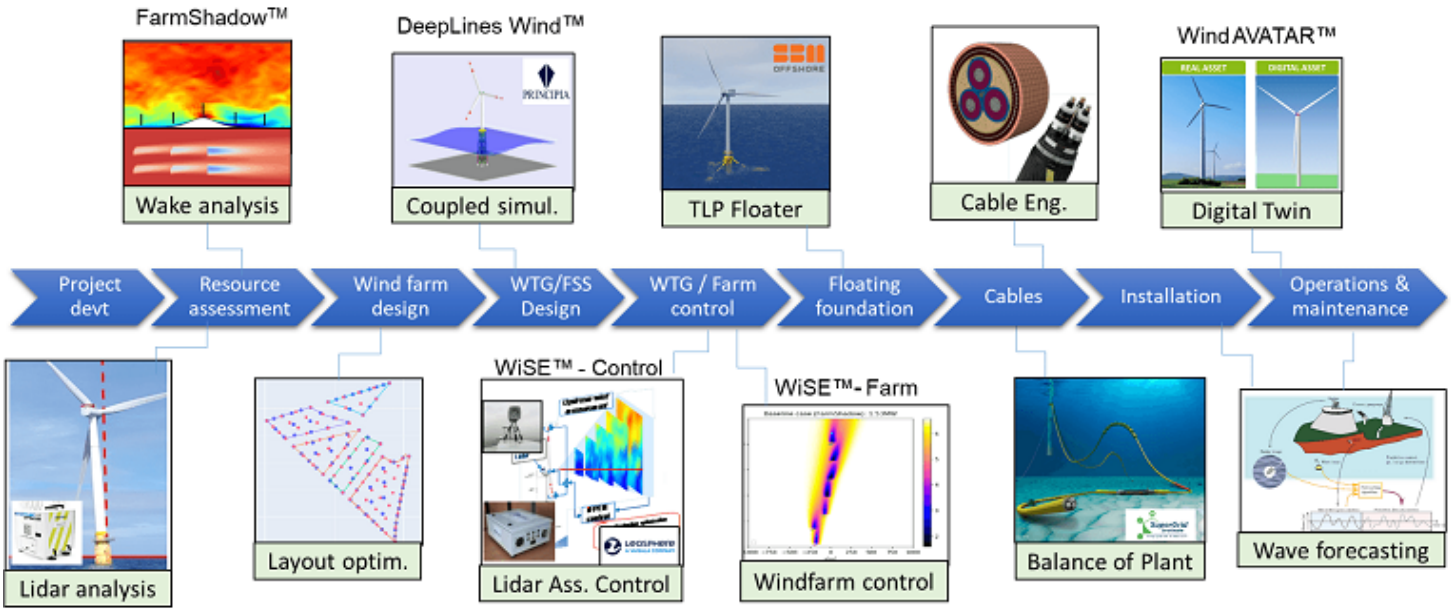
GreenWITS, filiale d'IFPEN créée en 2023, fournit aux industriels des services innovants à partir de la recherche conduite à IFPEN, notamment dans le développement de codes de simulations physiques. L'offre concerne le design de ferme, le dimensionnement des fondations d'éoliennes en mer, le monitoring des éoliennes et le pilotage des fermes.

Les domaines d'intervention d'IFPEN dans les énergies éoliennes portent sur les axes principaux suivants :

- L'évaluation et l'exploitation de la ressource en vent,
- Le développement d'outils spécifiques pour l'éolien en mer,
  - La conception d'éoliennes en mer,
  - L'ingénierie des câbles sous-marins,

- La prédiction de la houle,

- Les systèmes de contrôle des éoliennes et des parcs,
- L'exploitation et la maintenance via des méthodes de modélisation et d'analyse pour éolienne et parcs (solution WIND AVATAR® de jumeaux numériques)



Evaluation et exploitation de la ressource en vent

Analyse du vent par Lidar

L'outil WiSE™-WindField, développé par le équipes d'IFPEN, permet de reconstituer avec précision le champ de vent 3D incident à partir des données brutes d'un Lidar placé sur la nacelle d'une éolienne. Ce logiciel est intégré à la solution d'optimisation WindBox de Vaisala qui améliore la performance des éoliennes en contrôlant les perturbations du vent, avec à la clé un allongement de leur durée d'exploitation et une réduction des coûts.

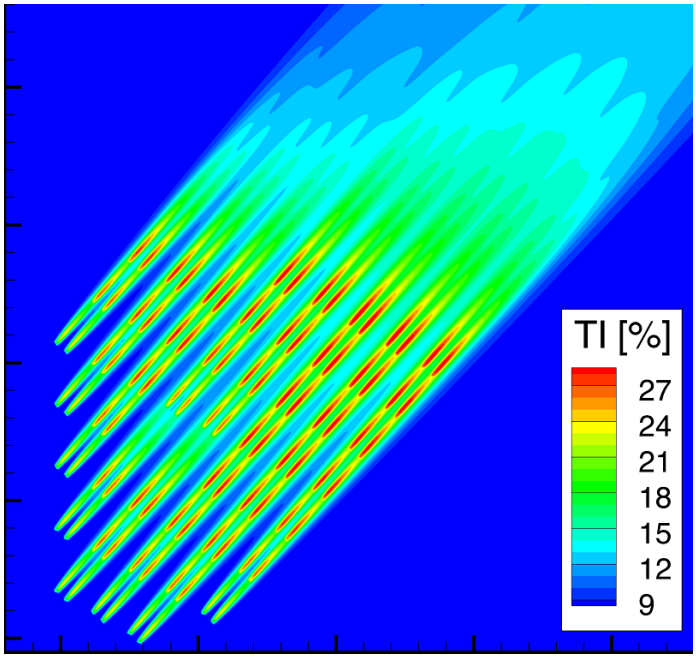
Simulation de sillage

IFPEN dispose d'un outil interne de modélisation rapide des **effets de sillage** induits par les interactions entre éoliennes qui est directement applicable dans un cadre industriel. La perte d'énergie associée à ces effets est typiquement de **10 à 20 %** au sein d'une ferme par rapport à des éoliennes isolées. Le sillage induit également une augmentation de la turbulence du vent, ce qui a pour conséquence d'augmenter la fatigue des turbines et des fondations fixes ou flottantes situées en aval. Les équipes d'IFPEN développent également des outils de simulation du sillage en haute-fidélité, notamment au sein des codes open-source Meso-NH et waLBerla de Météo-France et FAU (Erlangen) en combinant l'approche de turbulence Large Eddy Scale (LES) avec des techniques actuatrices pour les turbines. Les simulations de référence obtenues permettent de vérifier le domaine de validité de l'outil d'ingénierie.

Algorithmes d’optimisation pour la conception de fermes d’éoliennes

Les équipes d'IFPEN développent des algorithmes qui permettent de calculer les pertes de production dues aux effets de sillage et d'optimiser automatiquement le positionnement des différentes éoliennes les unes par rapport aux autres afin de maximiser l’énergie produite.

Le logiciel FarmShadow™ a été développé dans ce cadre avec une stratégie d’optimisation dédiée. Reprenant l’état de l’art des modèles de sillage, ce logiciel est amélioré en continu par les travaux de recherche d'IFPEN réalisés avec des partenaires comme Météo France ou dans le cadre du projet ANR Momenta.



JIP FAME (Floating wind AEP calculation Methodologies) : pour un meilleur

calcul de la production annuelle d'énergie des éoliennes flottantes

FAME vise à améliorer les méthodologies d'estimation de la Production Annuelle d'Energie (AEP) à deux niveaux : d'une part à l'échelle d'une éolienne flottante, en prenant en compte l'impact de son mouvement sur la production d'énergie, et d'autre part à l'échelle de la ferme, en étudiant l'impact du mouvement de chaque éolienne sur le sillage et donc sur les interactions entre éoliennes. Ces travaux utiliseront les outils de simulations développés par IFPEN, notamment DeepLinesWind™ pour la simulation couplée d'une éolienne flottante et MesoNH ainsi que FarmShadow™ pour la simulation des effets de sillage. Les simulations numériques seront confrontées à des essais en soufflerie menés par Politecnico di Milano sur un modèle réduit d'éolienne simulant les conditions flottantes.

Simulations haute-fidélité et haute-performances de fermes éoliennes

IFPEN et l'université Friedrich-Alexander (Erlangen-Nuremberg, Allemagne) ont enrichi la plateforme waLBerla, pour l'adapter à la simulation de fermes éoliennes dans le cadre du projet EoCoE-II.
>> En savoir plus sur waLBerla-Wind.

Outils spécifiques pour l'éolien en mer

Conception d'éoliennes en mer et flotteurs avec DeepLinesWind™

Conception d'éoliennes en mer

IFPEN et son partenaire PRINCIPIA ont développé le logiciel DeepLines Wind™ de simulation du comportement dynamique des éoliennes en mer à fondations fixes ou flottantes.

Outre le calcul de l'effort des vagues et du courant sur un corps flottant et le calcul des déformations structurelles, DeepLines Wind™ offre des capacités de calcul aérodynamique pour analyser **les effets du vent sur les pales des éoliennes**, ainsi que des fonctionnalités associées au contrôle commande. Ces trois types de physiques ainsi réunies permettent d'effectuer des **simulations mécaniques couplées de l'ensemble des composants de l'éolienne** (pales, tour, flotteur et système d'ancrage) à l'aide d'un seul logiciel, atout indéniable vis-à-vis de la concurrence.

La performance de DeepLines Wind™ a été démontrée dans les projets de l'IEA-Wind auxquels IFPEN a participé, comme les projets OC4/OC5/OC6 et DANAERO. Ce logiciel est aussi utilisé dans des projets collaboratifs comme le projet européen H2020 HIPERWIND destiné à améliorer la prise en compte des incertitudes dans la conception, l'opération et la maintenance des éoliennes en mer.

Des modèles aérodynamiques avancés de lignes portantes (méthodes Vortex) optimisées en coût calcul sont aussi disponibles dans une version de recherche du logiciel DeepLines Wind™ et accessibles sous forme d'études proposées par IFPEN.

Conception de flotteurs

IFPEN réalise des calculs multiphysiques avec Deeplines Wind™ pour vérifier l'intégrité de différentes éoliennes flottantes durant leur durée d'opération (conditions extrêmes, fatigue cyclique de composants). La particularité du couplage aéro-servo-hydro-élastique au sein d'un même code permet à IFPEN de fournir des simulations de référence permettant de vérifier des approches simplifiées plus opérationnelles dans un cadre industriel (ex. études réalisées séparément par des turbiniers et des développeurs de flotteurs).

IFPEN dispose également d'une bibliothèque d'outils d'optimisation et de gestion des incertitudes qui est continuellement enrichie par des travaux de recherche. Nous développons de nouvelles méthodes permettant d'optimiser dans un cadre fiabiliste les conceptions de différentes technologies de flotteurs et de systèmes d'ancrage.

Collaboration avec SBM Offshore pour des flotteurs innovants

IFPEN a conçu avec son partenaire SBM Offshore le flotteur à lignes d'ancrage tendues très innovant choisi par EDF Renouvelables pour son projet Provence Grand Large soutenu par l'ADEME et opérationnel en 2023. IFPEN poursuit sa collaboration avec SBM Offshore pour élaborer une nouvelle génération de flotteur (SBM Float4Wind™) plus économe en matériaux et tout aussi résistant et stable.

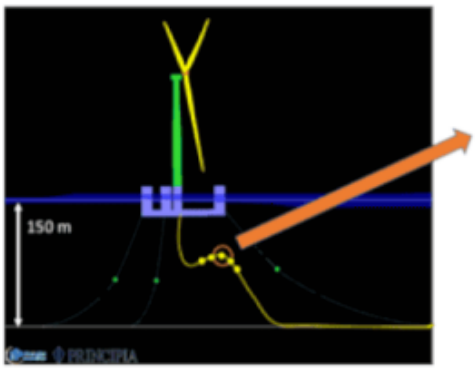
Utilisation du supercalculateur Jean Zay pour réduire le coût des éoliennes flottantes

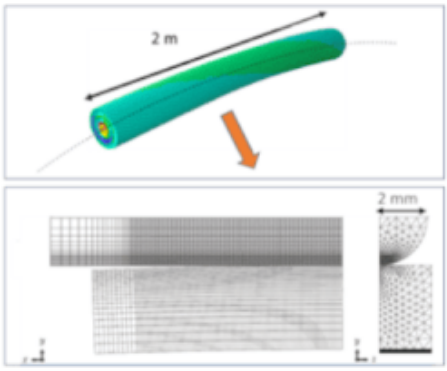
Dans le cadre des études de dimensionnement, sur le supercalculateur Jean Zay, obtenues lors de l'appel à projet « Grands Challenges » du GENCI, IFPEN a pu tester le comportement d'une éolienne en mer flottante sous l'ensemble des conditions de vent et de vagues prévues pour un site. Les résultats constituent une solution de référence pour valider de nouvelles méthodes de prédiction de la durée de vie en fatigue de la structure économisant le budget de simulation.
Pour en savoir plus : IFPEN utilise le calcul intensif pour réduire le coût des éoliennes flottantes.

Ingénierie des câbles

Les câbles sont des éléments essentiels des éoliennes en mer. Le maintien en place d'une éolienne flottante est assuré par des lignes d'ancrage qui peuvent être composées de câbles en acier ou en

matière synthétique. Les turbines sont de plus connectées entre elles par des câbles électriques, ainsi que la sous-station et la côte. IFPEN a développé une approche permettant d'améliorer la prédiction de la tenue en fatigue des câbles, en remplaçant les critères empiriques en cours par une modélisation physique multi-échelle. IFPEN conduit également des campagnes expérimentales dans son laboratoire de mécanique pour valider les simulations numériques, caractériser le comportement non linéaire des câbles synthétiques ou, avec le laboratoire LTDS de Centrale Lyon, définir des lois de fretting-fatigue des fils en acier. IFPEN développe également de nouvelles technologies permettant d'optimiser les systèmes d'ancrage et d'augmenter leur durée de vie en fatigue.

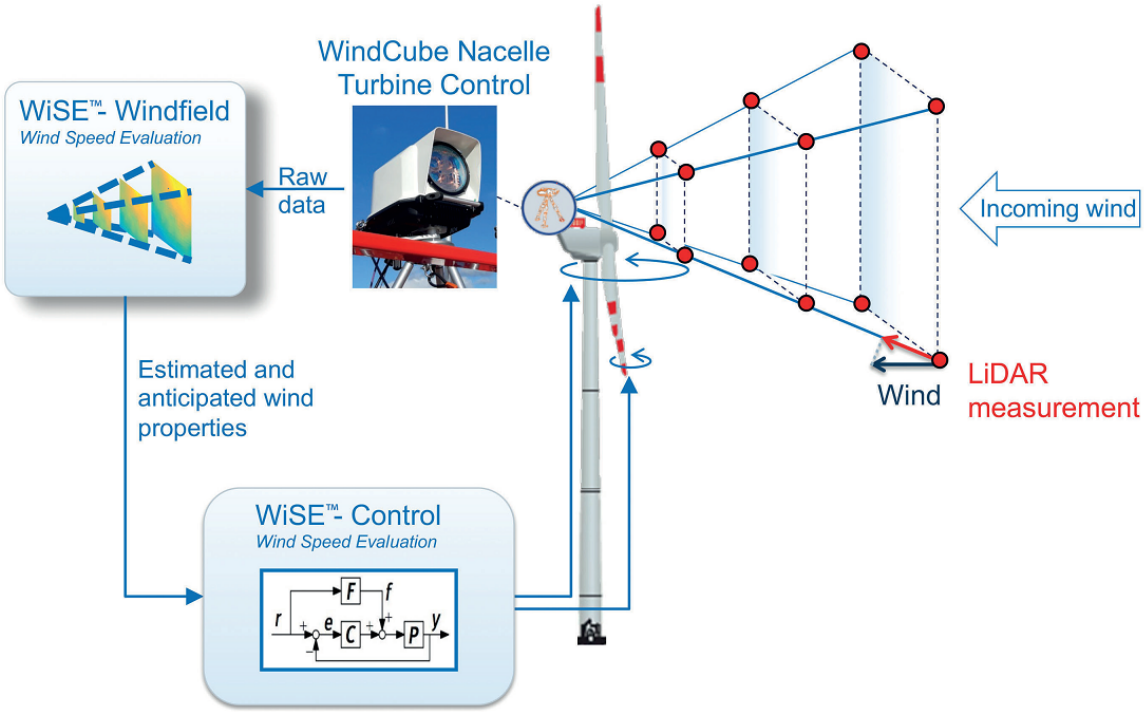




Prédiction de houle en temps réel pour l'exploitation offshore

IFPEN met au point des algorithmes de prédiction en temps réel des vagues et de la houle à partir des mesures de la surface de la mer fournies par de capteurs distants. Ces algorithmes permettent par exemple de prédire, de quelques dizaines de secondes à quelques minutes à l'avance, l'occurrence, dans des conditions de mer plus fortes, de courtes périodes d'accalmie ou, au contraire, fournir une alerte d'un train de vagues dangereux imminent. L'approche exploite le caractère aléatoire gaussien des états de la mer. Les mesures peuvent provenir d'un radar à bande X, d'un LiDaR ou encore d'une caméra stéréoscopique. Les prédictions réalisées peuvent avoir différentes applications, dont l'amélioration des prises de décision pour les opérations en mer. Dans les cas des éoliennes flottantes, elles peuvent alimenter un système de commande prédictive par modèle (MPC) permettant de maximiser la production d'énergie tout en évitant l'usure prématurée des composants.

Contrôle des éoliennes et des parcs éoliens



La connaissance du vent incident en temps réel mesuré par lidar permet le contrôle d'éoliennes et de parcs et l'optimisation de la production. IFPEN développe différentes solutions de contrôle dans ce domaine :

- **l'outil WiSE-Control™**, qui implémente des stratégies de contrôle basées sur la mesure lidar et permet d'optimiser la production des éoliennes et de réduire les charges vues par celles-ci. Cet outil est développé en partenariat avec Vaisala.

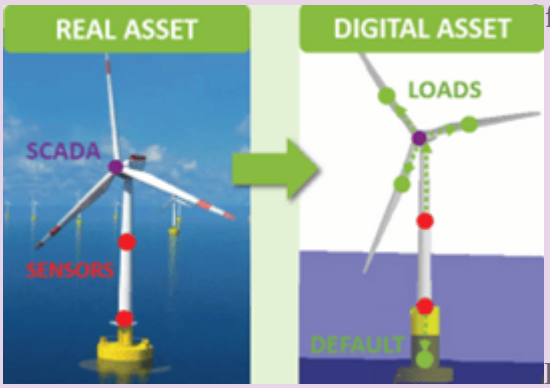
- **WiSE-Farm™**, un système de pilotage collectif de la ferme par minimisation des interférences aérodynamiques entre éoliennes et redirection de sillages, qui repose sur l'utilisation des modèles inclus dans le logiciel FarmShadow™. En déterminant l'orientation optimale et le point de fonctionnement le plus adapté de chaque éolienne au sein d'une ferme, cet outil permet, en limitant la portée des sillages, d'augmenter la production et de réduire les sollicitations structurelles.

Exploitation et maintenance des éoliennes

Jumeaux numériques pour la surveillance des éoliennes et des parcs - WIND AVATAR®

La solution WIND AVATAR® d'IFPEN est basée sur la technologie de jumeaux numériques. Cette méthode d'analyse et de modélisation pour les éoliennes et les parcs permet de mieux diagnostiquer les anomalies potentielles des éoliennes, suivre leur usure, prédire la durée de vie de leurs composants, détecter des baisses de production électrique et en fin de compte optimiser la production et la maintenance.

En combinant de manière optimale les données remontant d'une éolienne en opération (SCADA-Supervisory Control and Data Acquisition, capteurs en haute fréquence) et la modélisation physique, le jumeau numérique permet de connaître son état de fonctionnement (efforts exercés, comportement vibratoire, etc.) et d'être alerté en cas d'anomalie.



floating offshore wind assets

Démarré en 2023, l'objectif est de développer un jumeau numérique d'une éolienne en mer flottante, combinant un simulateur multi-physique du comportement dynamique de la structure et des métamodèles issus de la science des données et remplaçant ce simulateur à moindre coût. La prédiction de la quantité d'intérêt non mesurée est effectuée avec une réduction d'incertitude par le calage du modèle aux données de la structure.

CONTACT

Stéphane Bertholin
Responsable de programme
stephane.bertholin@ifpen.fr

GreenWITS
Wind Innovative Technology Solutions

IFPEN
Actualités
juin 2023

Eolien : IFPEN annonce la création de la société GreenWITS

Communiqués de presse

Innovation et industrie

Actualités juin 2023

L’éolien à IFPEN : quand le vent fait tourner la tête des chercheurs

Innovation et industrie

Actualités septembre 2022

IFPEN et Vaisala améliorent la mesure de vent pour une réduction des coûts de l’énergie éolienne

Communiqués de presse

Énergies éoliennes

Énergies éoliennes : Nos solutions

Lien vers la page web :