

Résultats d’une étude révèlent l'influence de l'humidité sur les composants des éoliennes

28 février 2023, 09:39

Pieter Jan Jordaens

Il existe une corrélation directe entre l'humidité et les défaillances techniques qui raccourcissent la durée de vie des éoliennes. C'est ce que confirme une étude indépendante menée par l'institut allemand Fraunhofer.

Pendant longtemps, les causes sous-jacentes des pannes fréquentes et coûteuses des convertisseurs de puissance sont restées en grande partie inconnues. Lors d’une étude réalisée par Fraunhofer IWES sur les défauts des générateurs d'éoliennes (WTG), un vaste consortium de centres de recherche et d'entreprises s’est intéressé aux causes profondes et aux facteurs de ces défaillances. Les résultats remettent en question les hypothèses largement répandues selon lesquelles la fatigue et l'âge des éoliennes contribuent de manière significative aux défaillances des convertisseurs de puissance. En effet, on a longtemps pensé que les défaillances des éoliennes étaient dues aux effets de fatigue sur l'électronique de puissance et aux cycles de température. Au contraire, l’étude montre que l'humidité et la condensation sont les principaux facteurs de défaillance des convertisseurs de puissance.

Les analyses de données de terrain provenant d'une flotte internationale d'éoliennes ont montré clairement que les mécanismes d'endommagement, tels qu'ils se rencontrent dans d'autres applications électroniques, ne jouent pas un rôle pertinent sur les éoliennes. Au contraire, on a pu

observer d’importants schémas saisonniers de défaillances. Ceci indique que les influences climatiques et environnementales semblent être des facteurs de stress critiques, et en particulier l'humidité. La question qui se pose ici est la suivante : à quel niveau d'humidité et de température les convertisseurs des éoliennes sont-ils réellement exposés ?

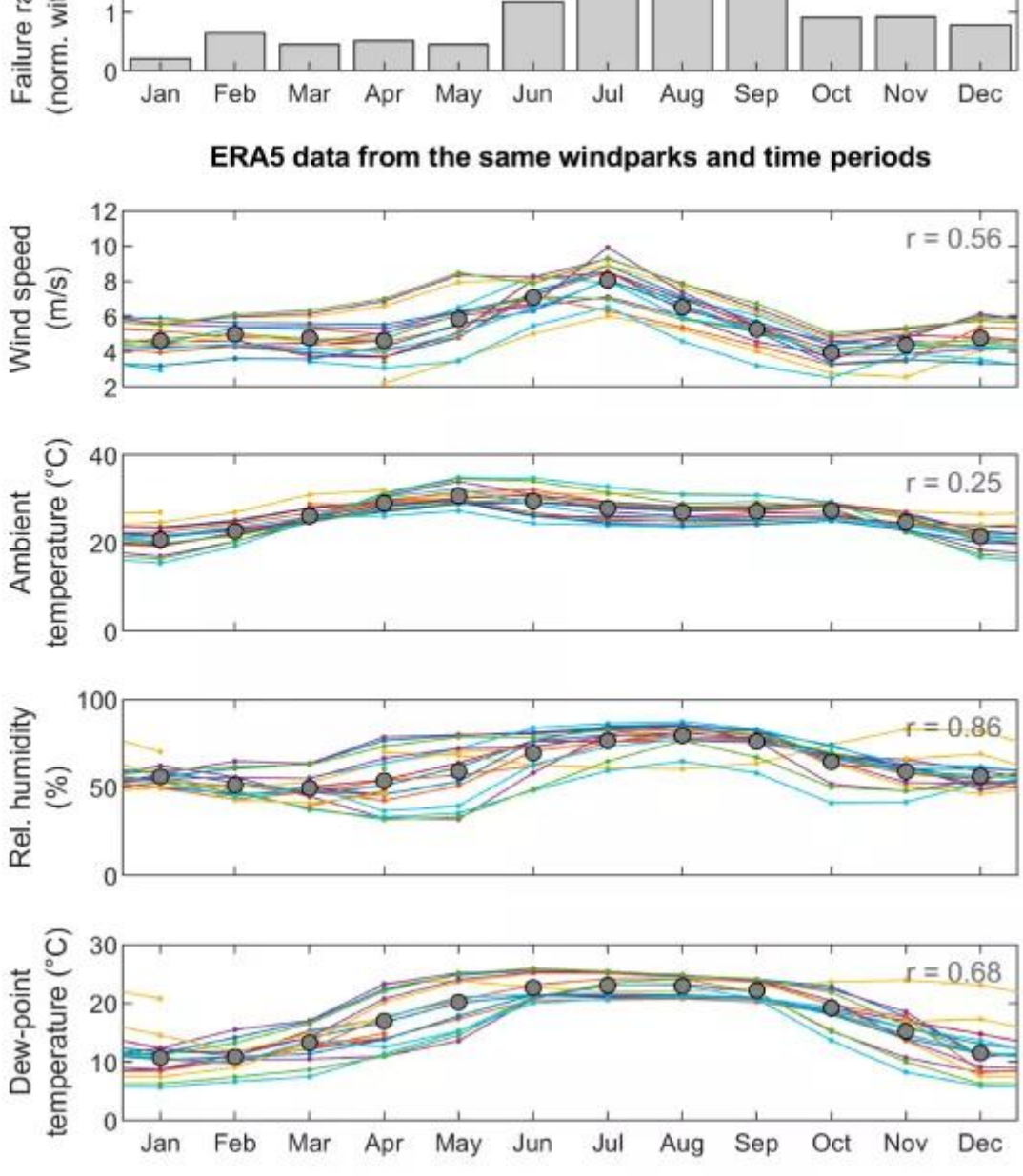
Étude sur le terrain

La récente étude 'Humidity in Power Converters of Wind Turbines — Field Conditions and Their Relation with Failures' a examiné en détail l'humidité et la température. Elle résume les résultats de campagnes de mesure sur le terrain de 31 éoliennes de sept fabricants sur trois continents (Europe, Amérique du Nord et Asie). Les éoliennes qui ont fait l’objet des mesures étaient très variées : éoliennes terrestres, littorales et offshore, avec des onduleurs dans la nacelle ou à la base de la tour, avec des convertisseurs à refroidissement par air ou par eau.

- l'emplacement de l'éolienne, avec ses conditions climatiques spécifiques ;
- le design et le fonctionnement de l’éolienne ;
- le type de refroidissement utilisé pour les convertisseurs.

Les données de l’éolienne et leur analyse nous permettent de vérifier s'il existe un lien entre les défaillances des composants et les conditions climatiques auxquelles ils sont effectivement exposés. Il s’agit là d’une étape importante pour mieux comprendre les facteurs et mécanismes à l'origine des défaillances. L'étude confirme l'influence des conditions climatiques sur les pannes électriques : les chercheurs ont constaté des variations saisonnières dans le nombre de pannes des modules de phase d'un parc d'éoliennes en Inde et en Scandinavie. Plus précisément, les mois où le nombre de pannes est élevé coïncident avec les périodes pluvieuses, c'est-à-dire les périodes où l'humidité absolue est la plus élevée. Il a ainsi été possible de déduire que l'humidité et/ou la condensation sont des facteurs de risque importants pour les défaillances des modules de phase.

L'humidité à l'intérieur des cabines des convertisseurs a également été étudiée en relation avec l'humidité dans les éoliennes. Il en est ressorti que, comme le niveau de température des composants du convertisseur est largement déterminé par le point de fonctionnement et les réglages du système de refroidissement, le risque de condensation dans le convertisseur de puissance augmente directement avec la température du point de rosée.



Variation saisonnière du taux de défaillance des modules de phase dans un parc d'éoliennes avec des convertisseurs de puissance à refroidissement par liquide en Inde, d'après les données de défaillance basées sur 590 années de fonctionnement des éoliennes, avec la vitesse mensuelle du vent et les conditions environnementales correspondantes. Chaque ligne représente un parc éolien ; les points gris représentent la moyenne des parcs ; r décrit la corrélation avec le pourcentage de défaillances (Source : Fraunhofer IWES)

Dans le cadre d'un projet de recherche antérieur plus vaste, également réalisé par Fraunhofer IWES, des données ont été recueillies sur plus de 10.000 éoliennes. Ce projet couvre au total plus de 20.000 années de fonctionnement. Les données proviennent d'éoliennes de plus de 12 producteurs, d'âges différents, implantées sur terre et en mer dans le monde entier. De si grandes quantités de données contiennent une foule d'informations. L'étude a notamment révélé que des composants tels que les composants de modulation de phase et les rails d'alimentation (busbars)

étaient les principaux facteurs de coût et que la fiabilité de ces composants clés du convertisseur dans les éoliennes contemporaines n'était pas supérieure à celle des éoliennes fonctionnant depuis 10 à 15 ans. Des défaillances plus importantes ont été constatées dans plusieurs zones pendant les périodes de forte humidité.

Les convertisseurs de puissance des éoliennes se sont avérés responsables d'une panne tous les deux ans en moyenne, ce qui en fait l'un des composants les plus fréquemment défaillants. L'analyse des données de terrain montre clairement que, en réalité, les mécanismes d'endommagement liés à la fatigue dans le domaine des semi-conducteurs de puissance ne jouent pas un rôle pertinent pour les défaillances sur le terrain. Ici aussi, les résultats indiquent qu'il faut accorder plus d'attention aux influences environnementales, notamment l'humidité.

Impact des coûts d'exploitation et de maintenance sur le LCOE

De nos jours, le secteur de l'énergie éolienne est soumis à une pression concurrentielle extrêmement forte. L'ensemble de la chaîne de valeur doit en outre faire face à une pression supplémentaire sur les prix. Pour concurrencer les autres modes de production d'énergie, les coûts doivent encore baisser, tandis que la durabilité et la fiabilité doivent continuer d’augmenter.

Les coûts d'exploitation et de maintenance des éoliennes représentent en moyenne 25 à 40% de leur coût actualisé de l’énergie (levelised cost of energy, LCOE). Une grande partie de ces coûts est imputable aux activités de maintenance et de réparation. À cela s'ajoute la perte de production due à la défaillance de l’éolienne (temps d'arrêt). Dans ce contexte, en particulier pour les éoliennes offshore, les réparations peuvent présenter une certaine complexité logistique et elles ne peuvent souvent pas être effectuées à court terme. Une étude menée par Fraunhofer IWES en a calculé le coût : sur une base annuelle, les coûts de réparation et les pertes de production des 50 GW d'éoliennes actuellement installées en Allemagne s'élèvent à environ 200 millions d'euros. Quelque 200 gigawattheures d'énergie sont perdus, ce qui correspond à la consommation annuelle de 55.000 ménages.

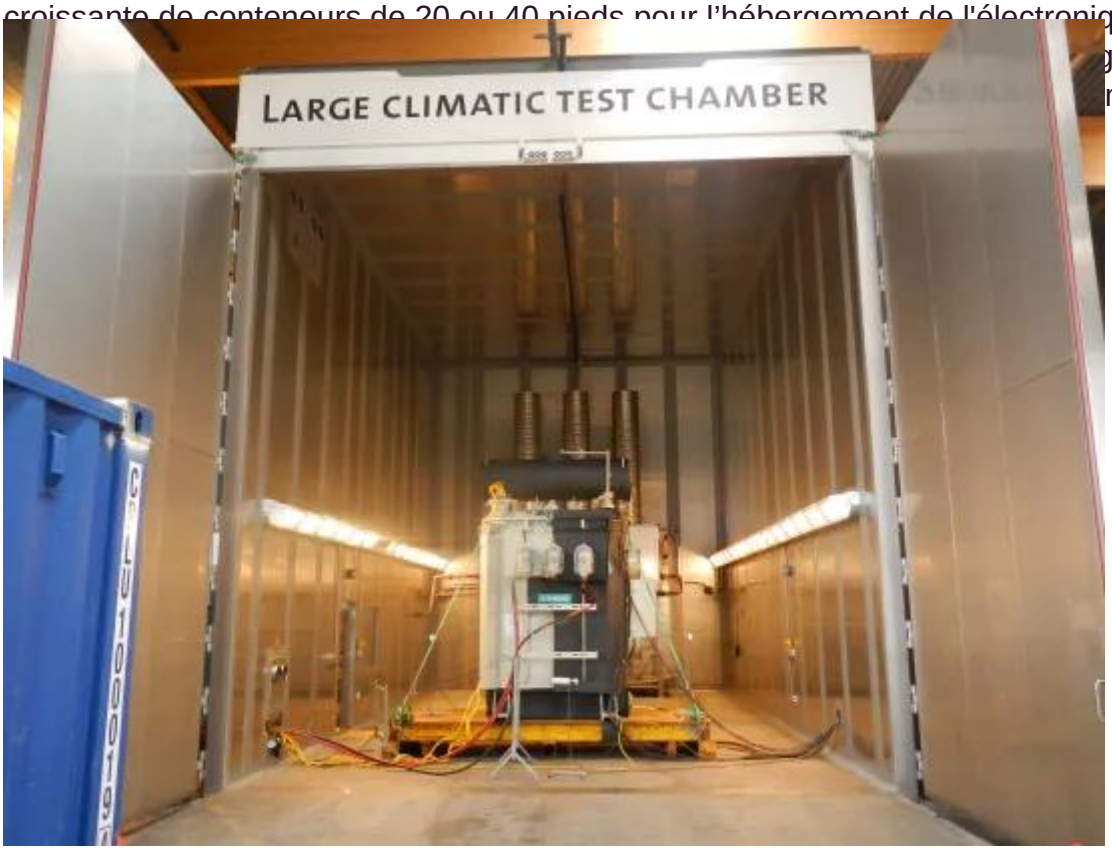
Outre une stratégie de maintenance appropriée, l'amélioration de la fiabilité des composants et des systèmes, en particulier de ceux qui présentent un risque élevé de défaillance, est donc l'un des principaux facteurs permettant de réduire encore le LCOE. Toutefois, il n'est possible d'élaborer des mesures efficaces que si les causes et les mécanismes à l'origine des défaillances sont bien compris.

L’électronique de puissance : vitale dans les applications de transition énergétique

Les projets d’étude montrent que, sur terre, sur le littoral ou en mer, la maîtrise du climat intérieur de l'éolienne et de la cabine du convertisseur est cruciale pour réduire le taux de défaillance et garantir une durée de fonctionnement et une protection maximales de l'éolienne. Au vu de ces résultats, il est recommandé de prêter attention aux conditions environnementales auxquelles les éoliennes sont exposées (en particulier l'humidité absolue) et de mettre en œuvre des stratégies pour maîtriser l'humidité dans la nacelle et la cabine du convertisseur afin de réduire au strict minimum le risque de condensation.

Une façon d'évaluer l'impact de l'humidité et de la condensation sur les composants des éoliennes, mais aussi sur d'autres applications de transfert d'énergie équipées d'électronique de puissance (par exemple aux redresseurs dans l'électrolyse de l'hydrogène), consiste à les tester de manière approfondie pendant le processus de développement. Cela peut se faire dans des chambres

climatiques dédiées, comme celle que Sirris possède dans le port d'Anvers. Il est possible d'y simuler les conditions climatiques telles qu'elles se produisent dans la réalité, de manière à détecter les faiblesses de la conception à un stade précoce et à prendre les mesures adéquates avant ou pendant l'installation. La grande chambre climatique de Sirris est l'une des seules de ce type en Europe où les grands convertisseurs de puissance multi-MW, mais aussi, par exemple, les systèmes de batteries, peuvent être testés à 95% d'humidité relative et à des températures élevées. Dans le cadre des évolutions de la transition énergétique impliquant une utilisation croissante de conteneurs de 20 ou 40 pieds pour l'hébergement de l'électronique de puissance, les



gétique « ETF Harsh
matique existante.

Sources:

- https://www.cotes.com/blog/research-confirms-link-between-humidity-and-electrical-failures-in-wind-turbines
- https://websites.fraunhofer.de/IWES-Blog/en/20000-operating-years-data-analysis/m-sc-karoline-pelka
- https://www.mdpi.com/1996-1073/14/7/1919
- https://www.mdpi.com/1996-1073/12/4/593
- photo lead: Pixabay - Oimheidi

Auteurs



Pieter Jan Jordaens