

Des pales d'éoliennes plus performantes grâce à l'emploi de textiles

11 février 2022, 01:00

Pieter Jan Jordaens

Bien que les éoliennes produisent de l'énergie renouvelable, elles présentent encore quelques inconvénients, et en particulier leurs pales. Une technologie utilisée sur les voiliers a été appliquée afin d'optimiser les pales des turbines et leur fonctionnement. Le résultat : des pales plus légères et moins chères dans lesquelles les textiles recyclables précontraints jouent un rôle clé.

Le développement d'alternatives viables pour une énergie durable est plus important que jamais. Bien que les éoliennes produisent de l'énergie renouvelable, elles présentent encore certains inconvénients, et en particulier leurs pales. À titre d'exemple, citons le recyclage et l'élimination des pales démantelées, qui se composent actuellement des plastiques renforcés de fibres de verre. En outre, les éoliennes plus grandes, dotées de pales plus longues, sont aujourd'hui un moyen populaire de réduire le coût nivelé de l'électricité (LCOE). Toutefois, les pales plus longues sont pénalisées par un poids nettement plus élevé et les coûts associés, une plus grande fatigue des autres composants de l'éolienne, et des coûts d'installation plus élevés. Le coût de production et la complexité auraient eux aussi intérêt à diminuer. Les parcs éoliens sont actuellement encore (trop) coûteux. Pour que l'énergie éolienne continue à se développer, le secteur doit continuer à innover afin d'être la source d'énergie la moins chère.

Malgré l'optimisation des matériaux et des processus de production au cours de la dernière décennie, la conception actuelle a progressivement atteint ses limites. À un moment donné, un changement fondamental de conception s'impose. Les pales d'éoliennes mises au point récemment repoussent les limites de la technologie actuelle. Elles s'attaquent aux problèmes fondamentaux de l'industrie éolienne en ayant recours à une nouvelle conception et une nouvelle méthode de production.

Enel Green Power, une multinationale spécialisée dans les énergies renouvelables, a fondé la start-up ACT Blade avec un concepteur de voiles de yacht. Cette société entend produire et tester un nouveau type de pales d'éoliennes sous le même nom, en coopération avec quelques partenaires.



(Source : ACT Blade)

Avantages des conceptions alternatives

Pour la conception des nouvelles pales, la génération actuelle et son processus de production ont été passés en revue. La production d'une coque avec une âme de cisaillement (une structure interne qui va d'un côté de la structure creuse à l'autre et qui assure une fonction structurelle dans la pale) exige un outillage spécifique coûteux.

Pour pouvoir fabriquer des pales de différentes tailles, un moule différent doit être utilisé à chaque fois. Les dépenses d'investissement (CAPEX) sont élevées et l'extension des usines est difficile, tout comme la possibilité de maintenir les coûts de production (coûts des matériaux et de la main-d'œuvre) à un niveau bas. Actuellement, le secteur ne connaît pas suffisamment d'évolutions pour rendre la production de pales aussi flexible que nécessaire.

En outre, selon les développeurs d'ACT Blade, l'énergie générée par une éolienne dépend de la forme aérodynamique de ses pales. La forme aérodynamique optimale de chaque pale dépend des conditions de vent et de la charge exercée sur les pales pendant le fonctionnement. Il n'est toutefois pas simple d'adapter suffisamment des pales classiques aux conditions de vent afin de générer une quantité d'énergie maximale. Les volets de bord de fuite (trailing edge flaps) classiques des pales sont souvent lourds et réagissent lentement lorsqu'ils sont activés. Une défaillance de ces volets peut avoir un effet négatif considérable sur le fonctionnement d'une pale d'éolienne. Il est donc nécessaire de disposer de pales dotées de caractéristiques avancées qui permettent de contrôler activement la forme et les propriétés aérodynamiques des pales en fonction de l'évolution des conditions de vent. Ceci améliore encore le rendement de l'éolienne.

Les principaux facteurs et exigences relatifs aux pales d'éoliennes sont un faible rapport poids/densité du matériau, une résistance élevée pour supporter les charges dues au vent et à la gravité, une bonne résistance à la fatigue pour supporter les charges cycliques, une bonne rigidité pour maintenir la forme de la pale, une bonne résistance à la rupture et une durabilité environnementale dans le contexte des impacts de foudre, des impacts d'oiseaux et de l'érosion éolienne. La tendance étant à l'emploi de lames de plus en plus longues, il faut trouver de nouveaux moyens de réduire l'utilisation des matériaux, le poids et le coût, ainsi que d'accroître l'efficacité de la production.

Sur la base de ces exigences, une étude a été réalisée sur la faisabilité d'une nouvelle conception de pale qui diffère considérablement de la norme actuelle. Cette nouvelle évolution, baptisée ACT Blades, repose sur la technologie de modélisation des voiles de yacht. Elle permet d'alléger les pales de 24 à 32 % par rapport aux versions traditionnelles. Cet allègement est dû à une structure de support plus fine, faite de matériau composite et entièrement recouverte d'un tissu technique. Les nouvelles pales ont le même poids que leurs homologues classiques entièrement renforcées de fibres, mais elles sont 10 % plus longues que la longueur standard de 55 m. Elles produisent donc environ 9 % plus d'électricité. La forme des lames précontraintes et recouvertes de textile peut également être ajustée pour contrôler les charges sur le système.

Le coût des pales est inférieur d'environ 7 %, car la structure est constituée de moins de matériau, par rapport à sa longueur, que les pales classiques fabriquées entièrement en therm durcissable. En outre, l'optimisation des processus de production modulaires permet de réaliser des économies de coûts jusqu'à 17 %. Selon le fabricant, il a même été possible de réaliser des économies supplémentaires au niveau des coûts de production, des coûts d'outillage (réduction de 63 %) et de l'empreinte de l'usine (réduction de 40 %). Les dépenses d'investissement (CAPEX) seraient inférieures de 44 %. Contrairement à la technologie traditionnelle de fabrication des pales, la nouvelle pale, grâce à sa modularité, peut être produite en utilisant les chaînes d'approvisionnement existantes. Elle exige un processus d'assemblage beaucoup plus simple et rapide, ce qui permet de réduire les coûts. Les lames seraient non seulement plus légères et moins chères à produire, mais aussi plus faciles à transporter. Leur longévité serait en outre accrue.

Contrairement aux lames classiques en fibre de verre, les nouvelles lames sont conçues pour être partiellement recyclées et pour employer des matériaux recyclés, ce qui réduit la génération de déchets. Le tissu est réutilisable et peut être facilement récupéré lorsque les lames ont atteint la fin de leur vie utile.

Le concept s'inscrit donc parfaitement dans le cadre de la production d'énergie responsable et de la stratégie de gestion circulaire des parcs éoliens : réutilisation et recyclage maximum des matériaux et des composants et application d'une perspective circulaire dès la phase de conception. En général, le recyclage du métal (qui constitue l'essentiel de l'éolienne) est très simple, tandis que celui des matériaux composites utilisés pour les pales du rotor est plus complexe.

Construction et production

La conception classique d'une pale d'éolienne nécessite la mise en place de fibres sèches et de balsa avec un noyau en mousse dans un moule ouvert. L'ensemble de la structure est ensuite plongé dans une résine liquide. La nouvelle conception abandonne cette approche.

Les pales d'éoliennes ACT Blade sont composées d'une structure interne en composite et de textiles high-tech. Le développement des pales de la turbine s'est inspiré de la technologie déjà utilisée pour les voiles de yachts de course, dont la structure légère et durable a été adaptée aux pales des éoliennes offshore. Le sommet est constitué d'un longeron ou d'une poutre de soutien en époxy et en fibre de verre dans la partie avant, qui sert d'élément structurel principal. Derrière celle-ci, on trouve une série de nervures, également en fibre de verre, ainsi qu'un certain nombre de fonctionnalités de conception. Le tout est enveloppé dans un textile technique (polyester) préétiré qui fournit la surface aérodynamique dont la pale a besoin pour prendre le vent. Depuis 2018, le textile utilisé à cet effet est développé en collaboration avec la société belge Concordia Customer Specific Solutions.

L'enveloppe est constituée d'une série de films de 1 x 60 m, coupés sur mesure et fixés l'un à l'autre. Son épaisseur va de 0,58 à 0,70 mm, en fonction niveau de protection requis, et elle ne doit pas être peinte ou pourvue d'un coating. L'enveloppe se compose de deux couches : une couche structurelle à l'intérieur et une couche environnementale à l'extérieur. Cette couche extérieure est adaptable, protège contre les UV, la grêle, la pluie et le sable.

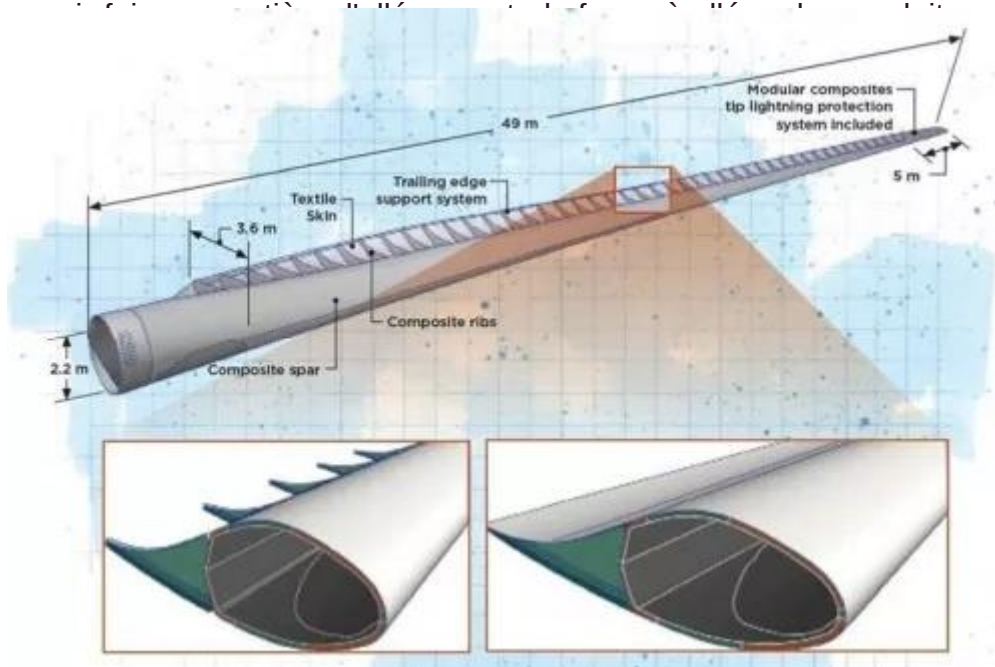
L'enveloppe peut littéralement être tirée et fixée sur la structure à longeron et nervures. Ici, l'élément essentiel réside dans la tension appropriée. En production, les trois pales d'une même turbine doivent posséder la même tension aux mêmes endroits, de façon à éviter une répartition inégale des forces qui pourrait entraîner une instabilité.

Le bord de fuite des pales est flexible : il conserve sa forme, mais peut être rapidement adapté aux changements de conditions de vent. Même si le textile est fixé au longeron, il reste flexible, car il possède une liberté suffisante pour se déplacer sur le longeron, offrant ainsi un profil aérodynamique variable. En outre, le textile est placé sur le longeron comme on enfilerait une chaussette. La production de la pale peut ainsi être effectuée en parallèle, et non en série comme c'est le cas aujourd'hui dans la production traditionnelle. Cela contribue à optimiser et à accélérer la production des pales.

Pour l'instant, les pales sont produites manuellement. La corde et la torsion de la pale peuvent être facilement ajustées sans recours à de l'outillage supplémentaire. Pour sa part, la longueur peut être modifiée en utilisant un minimum d'outils supplémentaires, ce qui offre une flexibilité considérable dans la production.

L'AMRC (Advanced Manufacturing Research Centre) de l'université de Sheffield a mis à profit ses compétences en matière de matériaux composites pour soutenir le développement d'un prototype de pale, prêt à l'emploi au début de 2020.

Le Lightweight Manufacturing Centre du National Manufacturing Institute Scotland a apporté son expertise en matière de matériaux composites pour les composants pour



D'après les calculs, la conception employant une enveloppe sur un longeron pèserait jusqu'à 32 %

de moins et coûterait jusqu'à 17 % moins cher qu'une pale conventionnelle de 50 mètres de long. Ces chiffres peuvent varier en fonction de la taille de la pale classique utilisée dans la comparaison.

(Source : ACT Blade)

Essais et validation

En 2020, le prototype des nouvelles pales d'éoliennes a été testé et validé avec succès au National Renewable Energy Centre du centre d'innovation et de recherche ORE Catapult à Blyth (Royaume-Uni).

Des essais structurels (essais statiques et de fatigue) ont été réalisés sur un prototype de 13 mètres construit pour une éolienne de 225 kW.

Les essais ont montré que les pales pouvaient résister à des charges extrêmes et à tout type de direction et de torsion. Une inspection après les essais a montré que les pales avaient conservé leur forme et ne présentaient aucun dommage. Les données d'essai, y compris les résultats des mesures optiques de la déformation et de la déflexion à l'intérieur du textile, ont été mesurées afin de mieux comprendre le comportement des pales.

Les essais de durabilité de l'enveloppe se sont avérés prometteurs. Le modèle pourrait même continuer à fonctionner s'il était endommagé. Les stratégies et solutions de réparation de l'érosion causée par la pluie ont été évaluées.

L'intégrité structurelle et les performances opérationnelles de la conception ont été démontrées et évaluées depuis juillet 2021 en installant trois prototypes de pales sur une éolienne en fonctionnement au parc éolien de Myres Hill, près de Glasgow. Il s'agit là de la prochaine étape vers la commercialisation du concept. Des environnements d'essais en conditions réelles comme celui-ci sont essentiels pour les développeurs de technologies et leurs conceptions innovantes. En outre, ces essais réalistes accroissent la confiance de l'industrie et de ses investisseurs.

D'autres essais sur l'éolienne d'un client sont prévus pour fin 2022. Les nouvelles pales, qui devraient être commercialisées d'ici 2023, offrent un grand potentiel pour les nouvelles éoliennes offshore de +10 MW, de plus grande taille.



Les nouvelles pales sont destinées à absorber des charges plus faibles et à capturer une plus grande puissance éolienne sans sacrifier la durabilité. Les pales plus longues avec une masse plus faible et le même moment d'inertie à leur base permettent une production d'énergie plus élevée avec une modification minimale des charges de la turbine. L'utilisation d'un longeron relativement

simple et de matériaux disponibles dans le commerce pour l'enveloppe permet d'éviter l'utilisation de moules gigantesques et d'autres équipements à forte intensité de capital requis pour la production classique de pales.

(Source : ACT Blade)

Sources

- <https://www.innoenergy.com>
- <https://actblade.com>
- <https://ore.catapult.org.uk>
- <https://www.enelgreenpower.com>
- <https://www.theengineer.co.uk>
- <https://www.compositesworld.com>
- <https://renews.biz>

Auteurs



Pieter Jan Jordaens