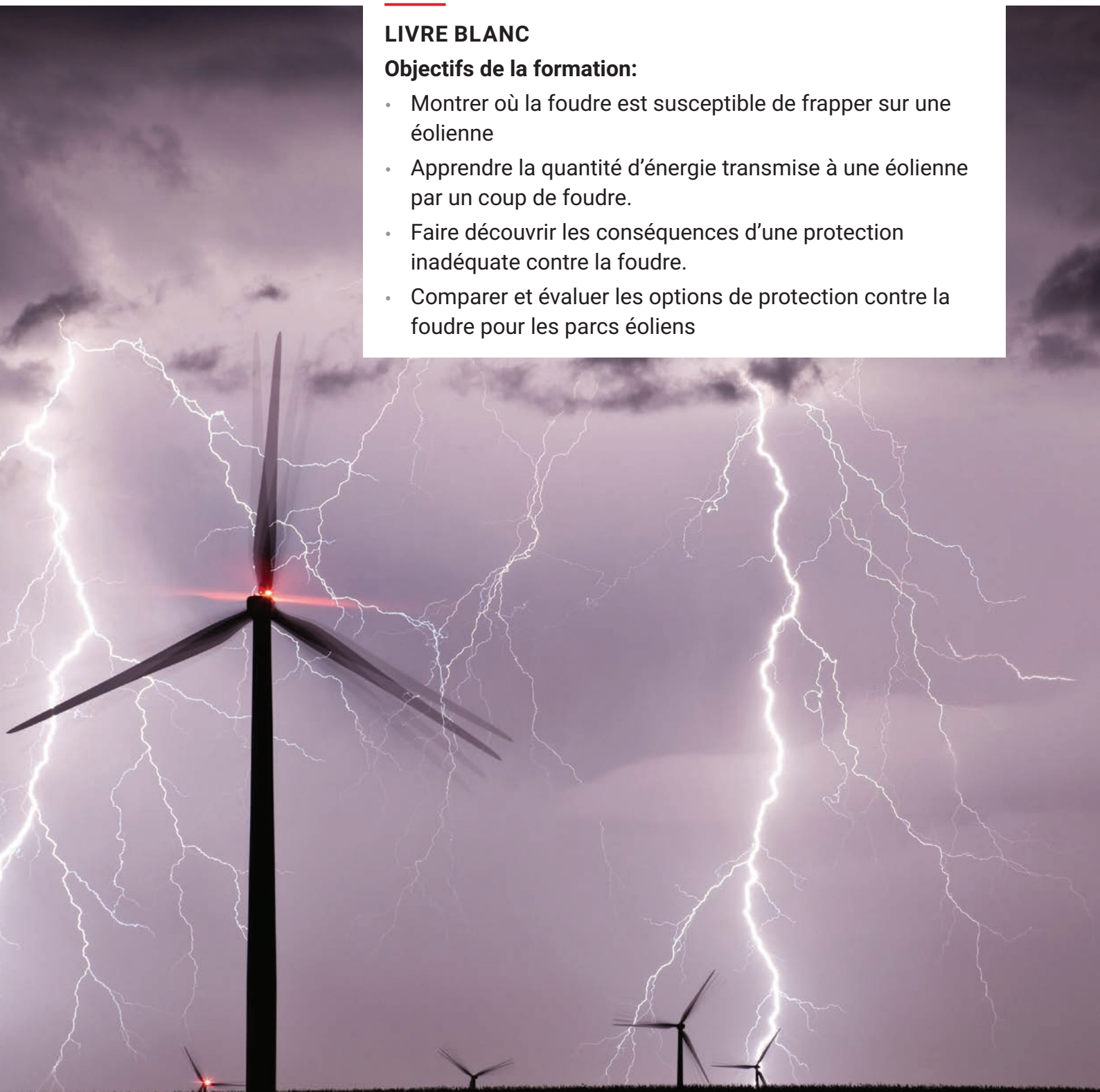


Performance améliorée de la protection contre la foudre pour l'industrie éolienne

LIVRE BLANC

Objectifs de la formation:

- Montrer où la foudre est susceptible de frapper sur une éolienne
- Apprendre la quantité d'énergie transmise à une éolienne par un coup de foudre.
- Faire découvrir les conséquences d'une protection inadéquate contre la foudre.
- Comparer et évaluer les options de protection contre la foudre pour les parcs éoliens



Résumé

Sur la base d'études et de modélisations informatiques, l'industrie éolienne peut améliorer le niveau de protection contre la foudre. Des études ont montré que la pointe de la pale est la plus susceptible d'être frappée, mais des points de fixation peuvent également être trouvés sur toute la longueur de la pale. Il est également fort probable que la nacelle reçoive un coup de foudre. Il s'agit généralement de l'un des derniers systèmes pris en compte lors de la conception, mais un système de protection contre la foudre peut réduire les coûts opérationnels globaux s'il est mis en œuvre correctement.

La foudre véhicule en moyenne un courant électrique de 30 kA et transfère 15 coulombs de charge électrique. Ces coups de foudre peuvent générer suffisamment de chaleur pour que la pale ou la nacelle prennent feu ; provoquant des dégâts importants, pouvant aller jusqu'à la perte totale de l'installation. Environ vingt-cinq pour cent des réclamations d'assurance éoliennes sont liées à la foudre.

Les récents progrès technologiques ont permis d'améliorer la transmission et la dissipation thermique de cette énergie destructrice pour l'industrie éolienne. La protection contre la foudre conventionnelle est sensible aux fixations internes (perforations de la pale), car les connexions électriques au conducteur de descente ne sont pas isolées. Les systèmes nouvellement développés peuvent pratiquement éliminer ces fixations grâce à une isolation robuste et une méthodologie d'installation améliorée.

Résumé étendu

Les relevés de foudre sur le terrain ainsi que la modélisation informatique ont montré que de nombreux systèmes de protection contre la foudre sur les pales d'éoliennes sont inadéquats. De nombreux systèmes actuellement sur site protègent au niveau ou à proximité de l'extrémité de la pale, mais ne tiennent pas compte des impacts qui se produisent au niveau du moyeu (Figures 1 et 2). La figure 1 montre que la probabilité qu'une frappe contourne la pointe de la pale augmente à mesure que l'intensité de la frappe diminue. Cela est confirmé sur le terrain par des preuves de perforations de pale et d'incendies qui se produisent sur toute la longueur de la pale. La figure 2 montre que l'arrière de la nacelle est également très susceptible d'être frappé.

Comme indiqué ci-dessus, certains systèmes du secteur reposent aujourd'hui uniquement sur la protection de la pointe de la pale. D'autres modèles comportent des paires de récepteurs sur les côtés opposés de la pale, situés à divers endroits le long de la pale. Ces récepteurs supplémentaires augmentent la probabilité de capturer les intensités de toutes les frappes et d'éviter d'endommager la pale.



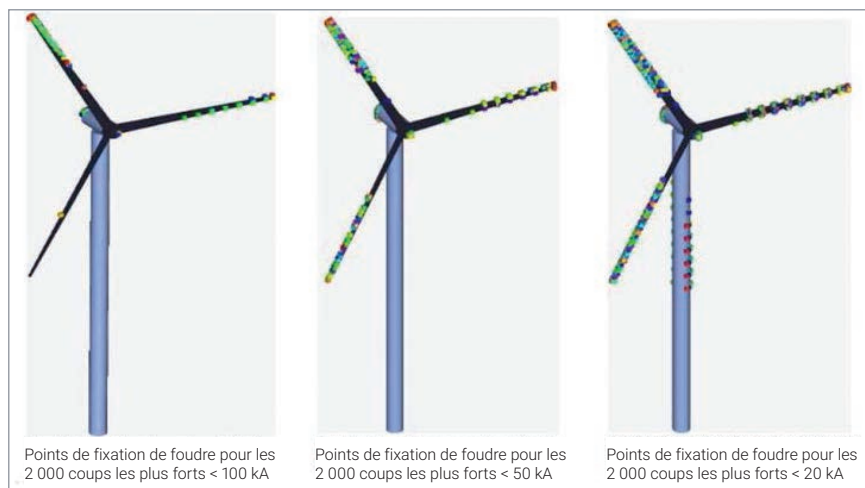


Figure 1 : Modèle de fixation contre la foudre

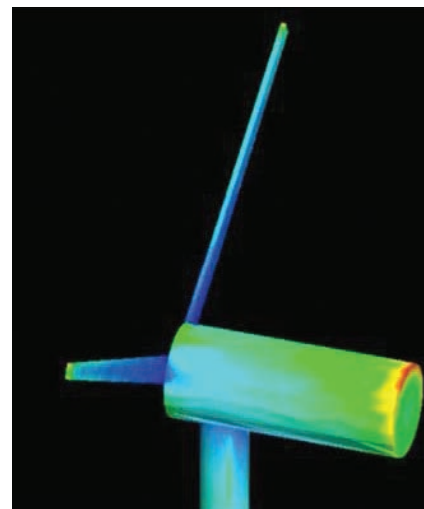


Figure 2 : Distribution de l'intensité du champ électrique

Des méthodes de protection permettant de transporter le courant vers le sol sont utilisées depuis de nombreuses années, mais la technologie est généralement la même que celle actuellement utilisée pour les gratte-ciel et les tours de télécommunication. La nacelle utilise généralement une tige filetée Franklin (paratonnerre) pour capturer la frappe et la transférer au sol à travers la tour dans la terre. La dynamique de la pale d'éolienne modifie continuellement la zone susceptible d'être heurtée à mesure que l'orientation de la pale change en raison de sa rotation inhérente.

Toutes les zones incluant une fixation peuvent être la source de dégâts mineurs, voire d'une perte totale, si la pale ou la nacelle prennent feu à cause d'une protection contre la foudre inappropriée. **La photo 1** à droite montre une perte complète de pale à la suite d'un coup de foudre. On ne sait pas si la lame a été frappée à la pointe ou quelque part ailleurs. Cela aurait pu être évité si des méthodes et des équipements appropriés de protection contre la foudre avaient été utilisés lors de la phase de conception.

La protection contre la foudre n'est malheureusement souvent qu'une réflexion secondaire dans la conception globale d'une éolienne. La plupart des considérations de conception sont accordées à la géométrie du profil aérodynamique afin d'optimiser l'efficacité en vue de produire le plus de puissance. C'est la clé du succès de l'industrie, mais consacrer un peu de temps de conception aux protections contre la foudre pourrait compenser le coût global pour l'utilisateur final. Cela représente généralement bien moins de 1 % du coût global de production de l'éolienne, mais peut permettre d'économiser des centaines de milliers de dollars, voire des millions, en réclamations d'assurance.

La production d'énergie générée lors d'un coup de foudre est l'un des événements les plus puissants de la nature. La foudre véhicule en moyenne un courant électrique de 30 kA et transfère 15 coulombs de charge électrique. Dans les cas extrêmes, celle-ci peut aller jusqu'à véhiculer un courant électrique dépassant 120 kA et transférer 350 coulombs de charge électrique. Cette énergie doit être captée et transférée très rapidement pour éviter l'accumulation de chaleur, qui pourrait endommager la structure dans et autour du lieu d'impact. Pour transférer cette énergie le plus efficacement possible, un conducteur en cuivre d'une section minimale de 50 mm² est requis par la norme CEI 61400-24. Les conducteurs en aluminium sont également autorisés, mais sont généralement utilisés pour réduire les coûts dans leur ensemble et peut être nécessaire une section minimale de 70 mm².



Photo 1 : conséquences de la foudre sur les éoliennes

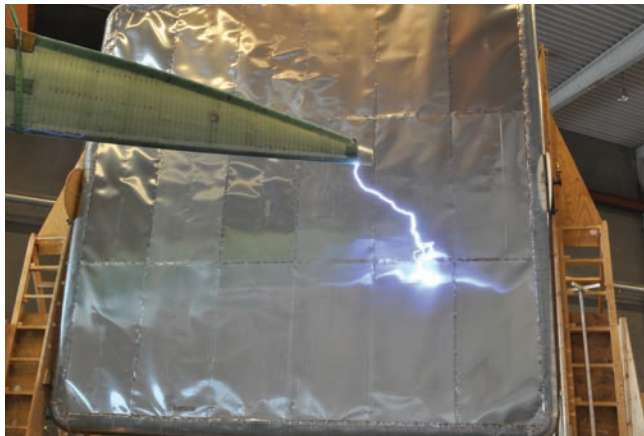


Photo 2 : Test haute tension du récepteur de pointe

Les photos 2 et 3 montrent des tests en laboratoire des fixations au récepteur de pointe (Photo 2) et au récepteur latéral (Photo 3). Ces photos ont été prises avec l'obturateur ouvert pour capturer le coup de foudre. Ces coups de foudre étaient de grande ampleur pour répondre à la norme japonaise de 200 kA à 20 MJ/Ω. La norme IEC 61400-24 recommande 200 kA à 10 MJ/Ω de protection.

Les dégâts causés par les coups de foudre représentent environ 25 % du total des sinistres d'assurance pour les éoliennes. Il s'agit d'un inducteur de coûts énorme pour la gestion et la possession d'un parc éolien dans les zones sujettes à la foudre, comme les régions du Sud et des Plaines aux États-Unis. De nombreux parcs éoliens aux États-Unis se trouvent dans ces zones.

Les conceptions des systèmes de protection contre la foudre varient selon les concepteurs de pales, du plus simple au plus élaboré. La figure 3 montre l'une des conceptions les plus simples qui utilisent un récepteur latéral près de la pointe de la lame pour éviter tout dommage. Cela ne couvre pas les impacts plus bas sur la pale, sur la base de la modélisation et des données de terrain évoquées précédemment. Une autre méthode utilise plusieurs récepteurs latéraux et un récepteur de pointe, comme le montre la figure 4. Ces systèmes peuvent être configurés par paires ou par récepteurs individuels le long de la pale, dans autant d'emplacements souhaités par les concepteurs de pales. La configuration optimale est celle de trois paires de récepteurs avec au moins cinq mètres de séparation entre les ensembles. Le récepteur de pointe captera les coups de foudre les plus importants reçus par la lame.

Les conceptions les plus récentes de systèmes de protection contre la foudre sont issues de la volonté de construire des éoliennes plus grandes. À mesure que la longueur des pales augmente, la demande de matériaux plus légers et plus rigides a conduit à un plus grand nombre de pales utilisant de la fibre de carbone à l'intérieur des parois des pales. La fibre de carbone est intrinsèquement conductrice et doit donc être correctement liée au système de protection contre la foudre pour éviter les dégâts causés par un contournement. L'industrie a commencé à utiliser un treillis de cuivre sur la fibre de carbone (Photo 4) comme chemin permettant de transférer le courant de l'extérieur de la lame vers le système de protection contre la foudre interne et le conducteur de descente.

L'isolation est un autre facteur de protection contre la foudre qui a toujours été négligé. Cela a été démontré lors de tests à l'occasion desquels les coups de foudre pénètrent à travers la paroi de la lame et se fixent aux connexions entre les récepteurs et les conducteurs. Cela transportera le courant vers le système de mise à la terre, mais peut avoir des conséquences

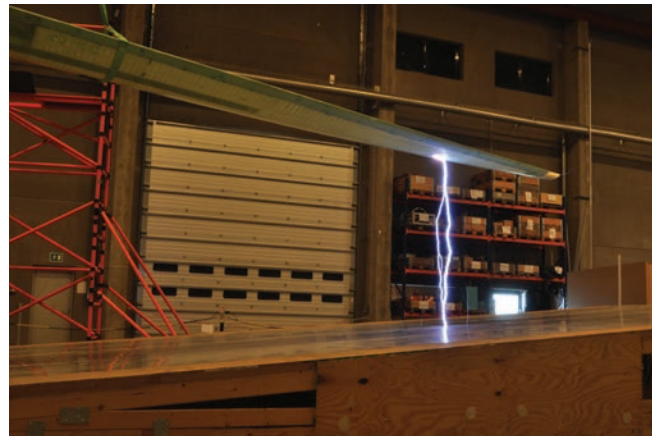


Photo 3 : Test haute tension du récepteur latéral

catastrophiques entraînant une panne complète de la turbine à partir du point où la foudre s'est attachée au système.

Le système de la figure 4 résout ce problème grâce à une conception entièrement isolée. Les « fiches » qui se fixent sur les prises réceptrices latérales sont moulées avec tous les composants, y compris le conducteur, qui isolent complètement les matériaux conducteurs. Les prises sont constituées d'un polymère qui fait également office d'isolant une fois l'installation terminée. Seul le disque du récepteur latéral est conducteur et transférera l'énergie vers le sol en toute sécurité. Le système a été testé à 200 kA avec une augmentation de température inférieure à 12 °C (53,6 F) dans la zone environnante. C'est un point important ; ce n'est pas parce qu'un récepteur a une fixation qu'il empêchera les dommages. De petites sections transversales dans les connexions peuvent entraîner une intensification de la chaleur et provoquer des incendies.

L'installation et la qualité de l'installation sont d'autres sujets

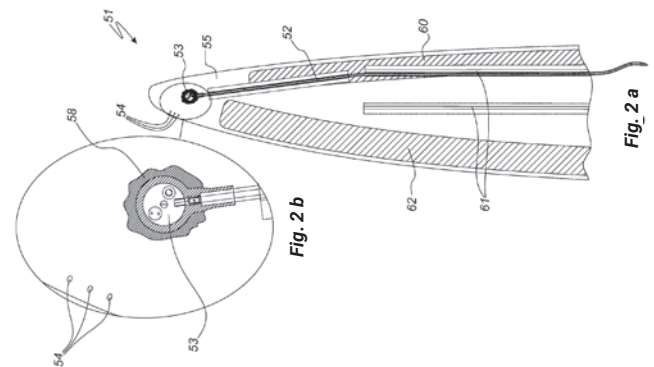


Figure 3 : Installation à forte intensité de main-d'œuvre pour les fabricants de pales

à aborder lorsqu'il s'agit d'incorporer l'un des systèmes déjà évoqués. Le système de la figure 3 demande beaucoup de main-d'œuvre pour les fabricants de pales. Les récepteurs latéraux doivent être situés à l'extérieur de la pale après que la pale a été fermée. Cela conduit à plus de travail, car l'équipe doit utiliser des dispositifs de localisation et des dispositions pour les localiser. La majorité des opérateurs peuvent localiser les récepteurs ou les blocs récepteurs, mais peuvent mal percer et tarauder le trou. Cela entraîne un surcroît de travail coûteux et des problèmes de qualité potentiels. La pâte utilisée pour maintenir les blocs récepteurs en place peut recouvrir les surfaces conductrices et, lorsque le câble conducteur de descente est fixé, peut entraîner des problèmes de performance majeurs. Plutôt que l'énergie du coup de foudre soit directement dirigée vers le conducteur de descente, elle pourrait former un arc sur la pâte, provoquant un éclair et un incendie potentiel.

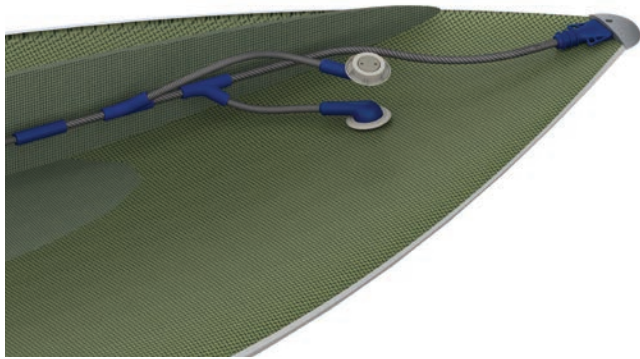


Figure 4 : Illustration de la protection contre la foudre de pale nVent ERICO

L'installation de la fiche et de la prise (Figure 4) nécessite très peu de compétences, car la douille est posée sur le moule de la pale et la pale est construite autour d'elle. La fiche se connecte facilement à la prise du premier côté et nécessite un outil simple pour se connecter au côté opposé lorsque la lame est fermée. Il n'y a aucune conjecture quant à l'emplacement du bloc récepteur et son installation ne prend que quelques minutes, contre quelques heures pour le système de la figure 3.

La maintenance n'est pas considérée comme une préoccupation initiale, car elle a tendance à être gérée à la charge de l'utilisateur final. La plupart des systèmes simples ne sont pas faciles à entretenir, car ils ne sont pas accessibles sans ouvrir la pale pour la remplacer en cas de dommage. Ce qui est très difficile, car



Photo 4 : Installation de tresse de cuivre

les équipes doivent descendre en rappel sur la pale pendant son installation et couper, épisser, remplacer et sceller la pale. Obtenir les outils nécessaires pour la ou les zones endommagées peut être une tâche ardue. Dans certains cas, une section composite peut devoir être installée pour remplacer la zone endommagée, ce qui pourrait réduire l'efficacité de la turbine au cours de sa fabrication. La photo 5 montre une équipe de deux hommes inspectant et réparant certains dégâts près de la pointe d'une pale.

Les coûts de maintenance s'élèvent à un minimum de 10 000 \$ (USD) pour réparer même les dégâts mineurs

causés par la foudre, plus les coûts d'arrêt associés à l'absence de production d'énergie. La perte totale des pales ou même de la turbine suite à un impact dépasse de loin les 100 000 \$, ce qui aurait pu être évité avec moins de 3 000 \$ grâce à une protection adéquate contre la foudre.

Le système de fiche et de prise résout les problèmes de maintenance sur site en vissant simplement un nouveau récepteur à la fiche. Cela peut être fait avec une clé à molette et peut être serré à la main ou avec une clé dynamométrique (méthode préférée). Les méthodes qui comportent des blocs récepteurs ont tendance à avoir des récepteurs adaptés sur mesure en fonction de l'installation. Il peut y avoir différentes tailles de récepteurs sur une seule pale, ce qui oblige l'équipage à transporter plus de poids et ouvre la possibilité d'installer des récepteurs incorrects.

De nombreux systèmes peuvent protéger une éolienne, mais les concepteurs doivent prendre la décision qui convient le mieux pendant toute la durée de vie du projet. Tous les facteurs ci-dessus peuvent être décourageants lorsque des ressources insuffisantes sont allouées à la conception du système de protection contre la foudre approprié. Ne pas installer de système de protection contre la foudre est également une option, mais aura de graves conséquences. Avec l'évolution si rapide des technologies, les chefs de projet doivent parfois aborder ces idées nouvelles et innovantes pour différencier leur projet de la concurrence. Les compagnies d'assurance cherchent toujours à réduire leurs risques. Ces technologies plus récentes les aideront à parvenir à cet objectif et à réduire le montant des primes, ce qui conduira à un modèle commercial plus rentable pour l'industrie éolienne.



Photo 5 : Réparation des dégâts de la pale

Remerciements

Photo 1 par Darren DeJong

<https://www.wind-watch.org/news/2012/08/06/fire-in-the-sky-lightning-strike-sparks-buffalo-ridge-turbine-blaze/>

Figure 3 – Brevets Google

<http://www.google.com/patents/EP2226497A1?cl=ko>

Photo 5 – Rope Partner

<https://www.ropepartner.com/services/wind-turbine-blade-repair/>



Notre éventail complet de marques :

CADDY ERICO HOFFMAN RAYCHEM SCHROFF TRACER