

- Les premières générations d'éoliennes implantées en Europe arrivent en fin de cycle.
- La question de leur démantèlement et de leur recyclage se pose.
- Les pales sont le principal écueil.

Les pales d'éoliennes n'iront pas à la poubelle

Reportage Gilles Toussaint

Majestueuses pour les uns, horripilantes pour les autres, les éoliennes se sont progressivement fait une place dans les paysages européens. Au cours des vingt dernières années, le secteur s'est considérablement développé, en particulier dans quelques pays pionniers tels le Danemark, l'Allemagne ou l'Espagne. Une croissance motivée par la prise de conscience des dérèglements climatiques, par des considérations d'indépendance énergétique ou encore par la défiance que suscite l'énergie nucléaire suite à la catastrophe de Fukushima.

Mais rien n'est éternel. Alors que leur durée moyenne de fonctionnement tourne autour de vingt à vingt-cinq ans, la fin de vie se profile peu à peu pour les aérogénérateurs implantés dans les premiers parcs éoliens européens. Une mise à la retraite qui pose la question du démantèlement et du retraitement à grande échelle de ces équipements.

Composée de fondations en béton armé, d'un mât et d'une nacelle en acier, de pales en composite thermoplastique et d'un système électromécanique, une éolienne utilise pour l'essentiel des matériaux – béton, acier, aluminium, zinc, cuivre... qui représentent environ 90% de sa masse totale – pour lesquels il existe des filières de recyclage bien établies.

Le principal écueil concerne les pales. À l'heure actuelle en effet, les solutions pour revaloriser ces gigantesques "ailes", à défaut de pouvoir les recycler formellement, demeurent insatisfaisantes. Si une partie des éoliennes, encore en état de mouliner mais remplacées par des modèles plus performants, trouvent acquéreurs sur le marché de la "seconde main", cette perspective reste limitée.

D'autres pistes, comme leur réutilisation sous forme de mobilier urbain – comme abri de vélo au Danemark ou comme modules de jeux en plein air aux Pays-Bas – sont également explorées mais demeurent marginales.

En cimenterie plutôt qu'en décharge

Une fois broyées, leur parcours se termine dans le meilleur des cas dans les fours de cimenterie où elles servent de combustible en remplacement du fioul ou du gaz, avant que leurs cendres soient ensuite intégrées comme matière première dans la fabrication de ciment. Dans le pire des cas, ce sera l'enfouissement ou la mise en décharge comme un vulgaire déchet, ce que les acteurs du secteur veulent absolument éviter (lire page suivante).

Les projets de recherche pour apporter des réponses "durables" à cet enjeu se multiplient donc tous azimuts alors que se profile une première vague de remplacement. Selon les projections de la Fédération Wind Europe, quelque 14 000 pales pourraient être mises hors service d'ici à 2023, ce qui représente 40 000 à 60 000 tonnes de matériaux. Un cycle qui ne fera que s'amplifier au cours de la décennie dans la mesure où l'Europe compte 34 000 éoliennes âgées de 15 ans ou plus.

D'après une étude publiée en 2017, à l'horizon 2050 le volume de pales à traiter en Europe représentera 450 000 tonnes par an. Un chiffre impressionnant, mais qui doit être relativisé puisqu'il correspond peu ou prou au tonnage des déchets ménagers collectés en 2019 pour... la seule Région

bruxelloise.

Avec Recypale, la Wallonie veut être pionnière

Dans son gigantesque atelier-laboratoire implanté sur le site d'une ancienne chaudronnerie industrielle à Tournai, le Centre Terre et Pierre (CTP) finalise la mise au point d'une technique qui pourrait apporter une partie de la solution. En partenariat avec le groupe Dufour et l'entreprise Wanty, ce centre de recherche agréé est en effet parvenu à mettre au point un procédé permettant de récupérer 70% à 80% des fibres de verre et de la matrice en thermoplastique qui les entourent pour leur donner une seconde vie "avec la plus haute valeur ajoutée possible", souligne son directeur général Stéphane Neiryck.

Entamé il y a deux ans, le projet est né de la volonté d'essayer d'anticiper l'arrivée de l'énorme gisement de pales attendu au cours des prochaines années. Un sérieux défi, on l'a dit, mais qui représente aussi une opportunité pour les deux entreprises partenaires. Le Groupe Dufour est en effet un acteur important

dans l'installation des éoliennes en Belgique et en France. Le renouvellement des parcs ouvre donc d'intéressantes perspectives pour les opérations de démontage et de remplacement. Spécialisé dans les travaux de génie civil, Wanty est pour sa part en quête de matières premières utilisables dans la fabrication de béton et d'asphalte destinés aux chantiers routiers.

Des recherches menées par le CTP dans le cadre du projet européen Recycomposite ont montré que

**Quelque 14 000
pales pourraient
être mises
hors service
d'ici à 2023
en Europe,
soit 40 000 à
60 000 tonnes
de matériaux.**



CENTRE TERRE ET PIERRE

Les éoliennes devront être découpées sur site afin de pouvoir les transporter par morceaux sur des poids lourds standards plutôt que via des transports exceptionnels onéreux.

recycler intégralement les pales d'éoliennes pour en fabriquer de nouvelles n'est pas possible au stade actuel, mais que la revalorisation "vers la voie matériaux offrait un vrai potentiel", explique Stéphane Neiryck. "Les pales sont composées d'éléments en balsa qui ont un rôle de raidisseur et de quelques pièces en acier. Mais l'essentiel de la structure est formé par de longues fibres de verre, qui mesurent deux à trois mètres de long. On trouve parfois aussi des parties en fibres de carbone, mais en petite quantité car cela coûte beaucoup plus cher. Ces fibres sont noyées dans une résine thermoplastique extrêmement dure. C'est ce qui permet à la pale d'être à la fois légère, mais aussi très rigide et très résistante."

Une force qui constitue un obstacle majeur quand celle-ci doit être démantelée car il est impossible d'extraire les fibres de leur enveloppe thermoplastique. "Pour les récupérer, on devrait les chauffer dans des fours à des températures très élevées, ce qui aurait un coût très lourd et affecterait négativement le bilan environnemental. On est donc obligé de broyer le matériau, mais même si on essaie de le faire de la manière la plus fine et la plus délicate possible, on récupère des fibres de quelques centimètres de long qui ne peuvent plus être réutilisées pour la production de pales d'éoliennes."

Une revalorisation dans les routes et le ciment "bas carbone"

Au terme de multiples essais et erreurs, le CTP est néanmoins parvenu à mettre au point un procédé de tri et de tamisage qui permet de récupérer de petits filaments de fibres quasiment vierges de tout résidu de composite. Un matériau qui peut être intégré dans des mélanges de béton ou d'asphalte utilisés dans la construction des routes, décrit notre interlocuteur. "Une route doit pouvoir résister au passage du trafic tout en conservant une certaine élasticité, pour éviter l'ornièrage trop rapide. C'est aussi le cas des bermes en béton de

type new-jersey qu'on trouve le long des autoroutes. En cas d'accident, celles-ci doivent avoir une certaine élasticité pour absorber l'énergie du choc sans renvoyer le véhicule comme une balle de flipper. L'utilisation des fibres issues des pales – comme cela se fait déjà avec d'autres matériaux – permet de répondre à ce besoin."

Une incorporation qui ne devrait pas poser de problèmes liés à la diffusion de ces fibres dans l'environnement sur le long terme, juge M. Neiryck, dans la mesure où celles-ci sont essentiellement composées de silice, que l'on retrouve abondamment dans la nature et notamment dans certains granulats utilisés dans la fabrication du béton.

Le résidu ultime, mélange des restes de la matrice en résine et de fragments de fibre de verre non exploitables, fait pour sa part l'objet d'un traitement supplémentaire. Transformée en une poudre très fine grâce à un procédé mis au point par le CTP, elle voit ses caractéristiques chimiques légèrement modifiées. De cette manière, elle acquiert des propriétés de liant qui peut être utilisé pour fabriquer des ciments. "On peut remplacer jusqu'à 20% du clinker qui est le composant principal du ciment et qui est obtenu en chauffant du calcaire et de l'argile dans un four à 1600 degrés. C'est un processus qui émet énormément de CO₂. Avec ce substitut, qui ne doit pas passer par le four, le matériau final présente la même résistance mécanique tout en réduisant ces émissions de CO₂", se félicite Stéphane Neiryck.

Techniquement parlant, le procédé est aujourd'hui au point. Le dernier obstacle consiste à régler le processus de découpage des pales d'éoliennes sur le site où elles se trouvent, afin de pouvoir les transporter par morceaux sur des poids lourds standards plutôt que via des transports exceptionnels onéreux et compliqués à mettre en œuvre. L'enjeu est d'éviter la dispersion des "fines" dans l'environnement lors de la phase de sciage. Une opération pour laquelle il faudra

faire appel à des machines adaptées équipées de systèmes de captation des poussières.

L'approche développée par le consortium au terme de deux années de recherche est également rentable, insiste le directeur du CTP, précisant que son coût est inférieur à celui d'une incinération en cimenterie ou d'un enfouissement en décharge. Un projet d'usine, qui devrait voir le jour dans le courant de l'année prochaine, est également couché sur papier. Elle sera capable de traiter 20 000 tonnes par an.

Des règles contraignantes en Wallonie

Financé par la Région wallonne, Recypale devrait permettre à celle-ci de disposer d'un schéma de revalorisation complète quand viendra le moment de démanteler ou renouveler les éoliennes existantes (on en dénombrait 458 en 2020).

Pour obtenir leur permis, la législation régionale impose d'ailleurs aux opérateurs des parcs éoliens de constituer une garantie financière qui leur permettra de procéder à une déconstruction sélective des aérogénérateurs et de leurs fondations en fin d'exploitation, afin de faciliter le recyclage des différents composants. Le terrain qui les accueille – y compris les terres agricoles – doit en outre être rétabli à son état initial. De plus, la mise en centre d'enfouissement des matériaux qui constituent les pales est interdite, ceux-ci sont donc essentiellement utilisés comme combustibles de substitution dans les cimenteries.

La nouvelle option offerte par Recypale devrait changer la donne. Puisqu'une solution de revalorisation plus intéressante est disponible, ces matériaux spécifiques pourront en effet prochainement être interdits d'incinération, explique-t-on au cabinet de la ministre de l'Environnement Céline Tellier (Écolo). Celle-ci présentera dans les prochaines semaines un arrêté comprenant des dispositions dans ce sens.



Dans le scénario le plus ambitieux de l'Agence internationale des énergies renouvelables (Irena), incluant une forte électrification de l'ensemble des secteurs énergétiques, la production mon

La clef de toute solution, c'est la sobriété

On n'est qu'au début de l'histoire de l'éolien, un volume énorme de turbines va être produit au cours des prochaines décennies et il est inimaginable que l'on ne les recycle pas. Il n'y a aucune raison technique que l'on ne puisse pas y arriver, même si c'est sans doute plus compliqué pour les éléments en composites. Les industriels travaillent sérieusement sur ce point et je pense qu'ils vont y parvenir.

Ancien professeur des universités en génie électrique à l'École normale supérieure de Rennes et chercheur au laboratoire SATIE-CNRS, Bernard Multon est un ardent défenseur des énergies renouvelables. Comme toute chose, reconnaît-il, celles-ci ne sont pas sans impact environnemental, mais il est bien moindre que celui qu'on veut leur prêter et surtout, à ses yeux, bien meilleur que celui d'autres moyens de production d'électricité.

Un enjeu davantage réglementaire et économique que technique

L'essentiel des matériaux utilisés pour les éoliennes (béton, acier, cuivre, terres rares...) est déjà recyclé ou peut l'être si l'on crée les conditions favorables, souligne-t-il. "Développer ces filières est avant tout un enjeu d'ordre réglementaire et économique car aujourd'hui extraire des matières premières de façon polluante coûte souvent moins cher que de recycler ces

matériaux pour pouvoir les réutiliser. C'est notamment le cas de certaines "terres rares" – qui ne sont pas rares, en réalité – utilisées dans les aimants permanents, l'enjeu c'est avant tout la façon déplorable dont on les extrait."

Comparés à la consommation annuelle mondiale des matériaux nécessaires, tous usages confondus, les besoins du secteur restent très faibles.

Les matériaux composites employés pour fabriquer les pales, rappelle-t-il au passage, sont aussi exploités à grande échelle dans d'autres domaines comme l'industrie aéronautique. La question de leur recyclage est donc plus large.

Des quantités de matières premières à relativiser

Les critiques ciblent également les quantités de matières premières qui seront nécessaires pour répondre à la très forte croissance attendue du secteur éolien. Là encore, il s'agit d'un débat qui doit être relativisé, juge notre interlocuteur.

En comparaison avec la consommation annuelle mondiale des matériaux nécessaires, tous usages confondus, les besoins du secteur "restent très faibles, de l'ordre du pourcent", avance M. Multon. Et de pointer, à titre d'exemple, le fait qu'en 2018 la production automobile consommait à elle seule 12% de l'acier mondial, soit huit fois plus que ce que demanderait le parc éolien mondial dans l'hypothèse du scénario de développement le plus ambitieux (200 GW de capacités supplémentaires annuelles) envisagé

par l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (Irena). "Seuls les matériaux composites (fibre de verre, notamment) représenteraient une part plus significative."

D'autres matériaux et d'autres approches techniques sont en outre envisageables pour la construction des éoliennes, poursuit-il, citant des expériences réalisées avec des mâts fabriqués à base de bois. Le cuivre utilisé dans les bobinages pourrait également être remplacé par de l'aluminium dont les réserves sont abondantes; et les besoins en néodyme et dysprosium (des "terres rares") utilisés dans les aimants permanents peuvent être fortement réduits ou remplacés. Qui plus est, certains modèles d'éoliennes à entraînement direct se passent d'aimants permanents.

Avoir une vision d'ensemble

Cependant, "il ne faut pas se focaliser sur un matériau mais regarder l'ensemble, insiste M. Multon. Les éoliennes à aimants permanents sont plus fiables et performantes, mais aussi plus légères. Cela permet des économies de béton et d'acier dans les structures porteuses telles que le bilan environnemental serait amélioré."

La clef, conclut-il, se trouve ailleurs: dans la sobriété. "Le problème, c'est la gabegie de consommation dans laquelle nous vivons, qui a un gros impact sur les besoins énergétiques. Il y a un énorme potentiel de réduction de consommation par des efforts de sobriété qui ne vont pas du tout rendre les gens malheureux, bien au contraire!"

G. T.



SHUTTERSTOCK

Le secteur éolien n'ignore ni l'enjeu que constitue le recyclage des pales ni le fait que les solutions actuelles restent insatisfaisantes. Pour une question d'image d'abord, alors que cette technologie suscite encore pas mal d'hostilité. Pour des raisons économiques ensuite, car même en fin de vie, les matériaux qui composent ces "lames" constituent des ressources précieuses dont on a tout intérêt à essayer de tirer la meilleure valeur ajoutée.

Le secteur est conscient de ce défi

Wind Europe, l'association européenne de l'énergie éolienne, s'est ainsi associée avec le Conseil européen de l'industrie chimique (Cefic) et l'Association des producteurs de matériaux composites (Eucia) pour créer une plateforme intersectorielle afin d'accélérer le recyclage des éoliennes, qualifié de "priorité absolue" pour cette industrie. En 2020, celle-ci a publié un guide qui dresse un état des lieux de la question, listant

Le recyclage est qualifié de "priorité absolue" pour cette industrie qui a créé plateforme afin d'accélérer les choses.

les bonnes pratiques et envisageant une série de pistes possibles.

Afin de doper le développement de cette approche circulaire dans le secteur, Wind Europe plaide notamment pour la mise en place d'incitants financiers, un soutien accru aux projets de R&D, mais aussi une uniformisation de la réglementation européenne d'ici à 2025 afin d'interdire la mise en décharge des pales et leur exportation dans des pays où elles pourraient finir en décharge. L'association souhaite également la création de directives internationales pour le démantèlement et la mise hors service des éoliennes.

Les futures pales 100 % recyclables ?

Diverses initiatives sont déjà en cours chez les constructeurs et certains opérateurs. Près de chez nous, le distributeur Eneco et l'entreprise d'ingénierie Arcadis ont lancé un travail de réflexion pour prolonger la durée de vie des pales actuelles

en les utilisant comme éléments dans le secteur de la construction. Après avoir rempli leur mission dans la production d'électricité "verte", elles pourraient, par exemple, servir de structure pour des passerelles piétonnes ou encore être réutilisées une première fois comme éléments de toiture d'une gare routière, avant de connaître une troisième carrière comme abribus. Leur durée de vie passerait de la sorte de 20 à 70 ans.

Dans le cadre d'un projet financé par le Fonds d'innovation du Danemark, Vestas affirme pour sa part être parvenu à une "percée technologique" qui lui permettra de rendre ses pales recyclables en rendant les fibres de verre et le composite epoxy réutilisables pour la production de nouvelles pales. De son côté, l'Allemand Siemens Gamesa se targue de lancer la commercialisation de la première pale d'éolienne offshore au monde entièrement recyclable. Les deux entreprises affichent en outre leur volonté de produire des turbines "zéro déchet" à l'horizon 2040. L'avenir dira rapidement si ces annonces sont crédibles ou si ce n'était que du vent...

G.T.

EN BREF

Santé mentale

La guerre en Ukraine facteur d'anxiété

Deux ans de Covid et maintenant... la guerre: ce nouveau cataclysme est susceptible de provoquer des angoisses et un sentiment d'insécurité chez les spectateurs de ces événements, y compris parmi les plus jeunes, mettent en garde des experts. "La guerre en Ukraine va provoquer, et c'est déjà le cas chez les patients suivis pour des troubles anxieux, un stress majeur supplémentaire, qui s'ajoute à tous ceux qui s'accumulent depuis plusieurs années (vagues de terrorisme, crises sociales, pandémie, dérèglement climatique, etc.)", explique le psychiatre Antoine Pelissolo (CHU Henri-Mondor). Ces angoisses peuvent se traduire par des inquiétudes obsédantes, de l'hypervigilance, des insomnies et des cauchemars, des somatisations, une irritabilité et même des symptômes dépressifs. (AFP)

Paléontologie

Le règne des dinosaures a pris fin au printemps

Le règne des dinosaures sur Terre a pris fin au printemps boréal, avec la chute d'un astéroïde géant il y a environ 66 millions d'années, qui a entraîné une des plus grandes extinctions des espèces de la planète, selon une nouvelle étude. La détermination de cette saison est importante pour aider à comprendre "comment les survivants ont survécu et prospéré ensuite", a expliqué son auteure principale. Une étude microscopique de la formation osseuse des fossiles a permis ensuite de déterminer que cette formation, qui s'effectue dans un cycle de croissance annuel, en était au premier stade d'un nouveau cycle. Les cellules osseuses étaient relativement petites, mais elles commençaient juste à grossir de nouveau, ce qui coïncide avec le printemps. (AFP)

Archéologie

Découverte d'une "grotte sépulcrale"

Une vaste grotte d'un intérêt "exceptionnel", ayant servi de lieu de sépulture pendant plus d'un millénaire de l'âge du Bronze (2200-800 av.J.C.), avant d'être oubliée durant 25 siècles, a été découverte à La Rochefoucauld-en-Angoumois en Charente. Le site, baptisé Réseau de la Licorne par des spéléologues locaux à l'origine de la découverte en février 2021, "revêt un caractère exceptionnel tant par sa richesse archéologique que par son état de conservation", souligne le ministère de la Culture. Cette "grotte sépulcrale" formée d'une succession de salles et de galeries a été découverte lors de travaux d'aménagement de voirie. (AFP)