

L'énergie du vent : elle vous coupera le souffle

Activités pour explorer l'une des sources d'énergie les plus anciennes, les plus propres et parmi celles qui se développent le plus rapidement.

par **Marcee Camenson et Michelle Finchum**
traduction : Elsa Langrené

Utiliser l'énergie du vent pour effectuer un travail, voilà une pratique aussi vieille que l'histoire. Le vent fut maîtrisé il y a plus de 4 000 ans pour faire naviguer les vaisseaux des premiers explorateurs et commerçants ; et on utilisait déjà en Perse les premiers moulins à vent pour mouler du grain et pomper de l'eau au 10^e siècle. Au 14^e siècle, les moulins à vent servaient à drainer les champs aux Pays-Bas et à transporter de l'eau pour l'irrigation en France. En Amérique du Nord, dans les années 1800, des millions de moulins à vent furent construits pour pomper de l'eau destinée aux champs et à l'élevage, ce qui permit aux pionniers de s'installer sur les terres semi-arides de l'Ouest. Des moulins à vent qui produisaient de l'électricité, innovation danoise de 1891, permirent aux habitants des zones rurales de produire leur propre électricité pour faire marcher les ampoules, les outils et ensuite les radios. Cependant, dans les années trente, malgré les services qu'elle avait rendus à la société, les jours de l'énergie éolienne semblaient être comptés. Alors que la demande énergétique augmentait et que les réseaux électriques atteignaient les zones rurales, des millions de petits moulins à vent tombèrent en

désuétude et furent remplacés par de grandes centrales énergétiques brûlant des combustibles fossiles bon marché et abondants.

Qui aurait pu prédire la renaissance de l'énergie éolienne à notre époque ? En raison des progrès technologiques et de la baisse des coûts, c'est maintenant la source d'énergie qui se développe le plus vite. À l'échelle mondiale, les capacités de production d'énergie éolienne ont quadruplé entre 1997 et 2002, croissant en moyenne de 32 pour cent par an. Des turbines éoliennes industrielles fournissent désormais de l'électricité à des foyers et des industries dans 32 États des États-Unis et dans 7 provinces et territoires canadiens. Cependant, environ 80 pour cent des capacités de production d'énergie éolienne se trouvent en Europe. Au Danemark, un cinquième de toute l'électricité provient de cette source et l'Allemagne à elle seule produit davantage d'électricité à partir de l'énergie éolienne que l'ensemble de l'Amérique du Nord.

Il s'agit d'une énergie renouvelable qui représente une réelle alternative à la combustion des énergies fossiles pour générer de l'électricité destinée à nos foyers, entreprises et écoles. En effet, contrairement aux centrales classiques fonctionnant au charbon, au pétrole ou au gaz, les éoliennes n'émettent ni polluants dans l'air ni gaz à effet de serre. En dehors des matériaux qui servent à les construire, elles ne

nécessitent pas de forage, d'extraction, de transport ou d'importation des ressources. De plus, à la différence des centrales nucléaires, elles ne produisent pas de sous-produits dangereux. Les centrales au gaz, au charbon ou les centrales nucléaires utilisent une énorme quantité d'eau, paramètre crucial dans les régions qui en manquent. Alors, pourquoi ne sommes-nous pas tous passés à l'énergie éolienne ?

D'abord, les éoliennes fournissent l'électricité de façon intermittente et non régulière, parce que le vent ne souffle pas partout à tout moment. Pourtant, il est facile d'utiliser d'autres sources d'énergie comme compléments ; et à

mesure qu'on construit des éoliennes et que leur capacité de production augmente, il est possible de tisser un réseau pour que l'énergie produite au cours d'une journée calme soit complétée par l'énergie venant d'autres régions où le vent souffle plus fort. Le coût initial de l'énergie éolienne constitue un autre frein. Les centrales éoliennes sont en général situées dans des zones rurales, où il faut installer des lignes de transmission et des postes électriques pour transmettre l'énergie aux clients du fournisseur. En dépit de l'investissement de base nécessaire, le coût de l'énergie éolienne a baissé de 80 pour cent au cours des 20 dernières années, alors que les éoliennes étaient construites en plus grand nombre et que la technologie progressait.² Comme le font également remarquer les partisans de cette source d'énergie, les comparaisons entre son coût et celui des sources d'énergie non renouvelables ne prennent pas en compte les subventions gouvernementales pour la production de pétrole et de gaz, ni les augmentations futures du coût de ces énergies fossiles.

Alors que des préoccupations relatives au changement climatique et à la pollution de l'air nous amènent à revoir nos options énergétiques, l'énergie éolienne nous offre une source d'électricité propre et non polluante susceptible de contribuer à la bonne santé de la planète. Explorer ce thème avec les élèves, c'est un moyen fantastique de les intéresser aux énergies renouvelables et de leur présenter une technologie d'avenir qui, bien que déjà connue, revêt une importance croissante.



Découverte de l'énergie éolienne

Matières concernées : sciences, études sociales, mathématiques

Concepts clés : énergies renouvelables, portance, principe de Bernoulli, convection

Compétences : conception, essai des modèles

Durée : 1 heure (2 heures si les élèves construisent la boîte à convection et la maquette de centrale éolienne)

Lors de ces activités, les élèves acquièrent des connaissances de base sur l'énergie éolienne et conçoivent et testent des éoliennes simples. Il est possible d'exploiter les phases de la séquence pédagogique en un seul cours ou d'en

choisir certaines si elles peuvent valablement être intégrées à des séquences sur les énergies renouvelables.

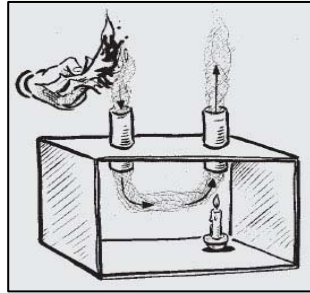
Introduction

Les brèves discussions et activités suivantes éveillent l'intérêt des élèves pour l'énergie éolienne.

- Demandez aux élèves quelle est la différence entre les ressources en énergie renouvelable (ex. éolienne, solaire, géothermale, hydroélectrique, marémotrice) et les ressources en énergie non renouvelable (ex. le pétrole, le charbon, le gaz naturel). Expliquez que l'énergie renouvelable provient de sources qui ne nous feront jamais défaut parce qu'elles subsisteront aussi longtemps que la Terre : le soleil brillera toujours, le vent soufflera toujours, les marées changeront toujours et la Terre conservera sa chaleur souterraine. Comme les ressources en énergie non renouvelable sont des combustibles tels que le charbon ou le pétrole, dont les réserves sont limitées, nous les épuiserons un jour ou alors les quelques gisements restants seront trop difficiles ou coûteux à exploiter.
- Montrez une photo d'éolienne et demandez aux élèves de deviner la taille de ses trois composantes principales: la tour, les pales du rotor et le moyeu central, c'est-à-dire la nacelle. La nacelle se trouve en haut de la tour et contient

une boîte de vitesses, des arbres de transmission, une génératrice, un système de contrôle et des freins. Écrivez toutes les suggestions des élèves au tableau. Vous pouvez donner les réponses tout de suite ou attendre de traiter du fonctionnement des turbines plus tard dans la leçon.

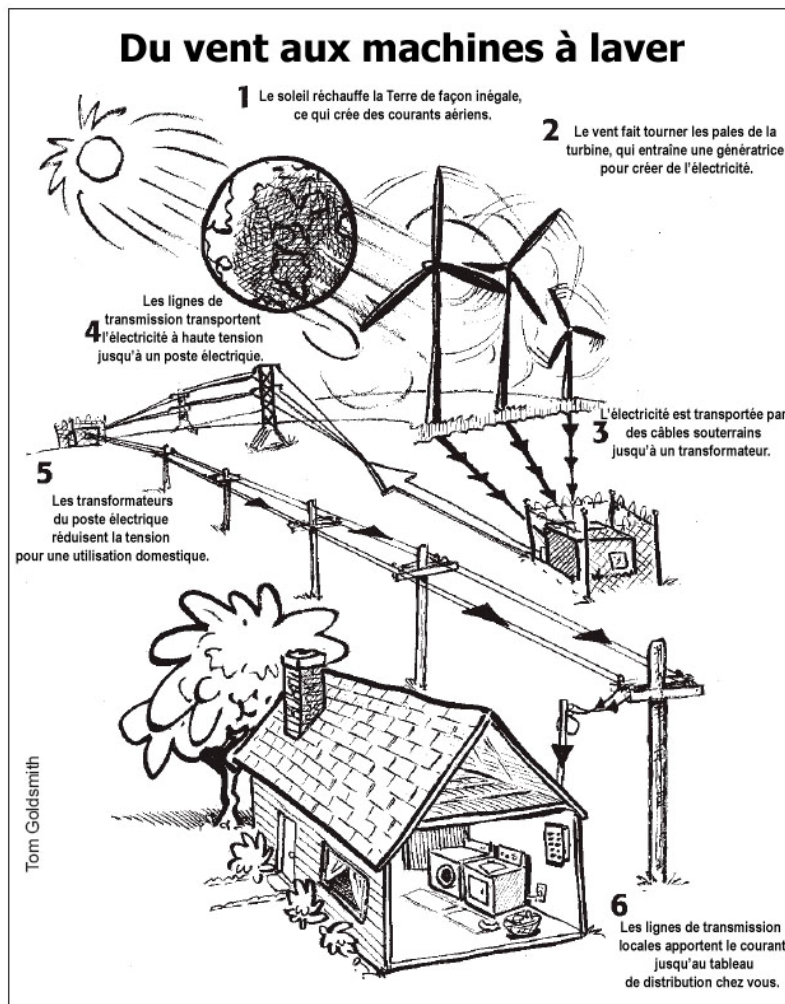
- On construit des éoliennes de grande puissance de plusieurs tailles, selon la force du vent et la production électrique souhaitée. Dans une petite turbine produisant entre 600 et 660 kilowatts, pour fournir de l'électricité à environ 250 foyers, la tour mesure généralement 30 mètres ou plus. Chaque pale mesure environ 20 mètres de long. La nacelle, ou moyeu, sur laquelle se fixent les pales, est aussi grande qu'un bus scolaire, avec



Boîte à convection: une boîte à convection montre le fonctionnement des courants qui créent le vent. L'air chauffé par la bougie s'élève et s'échappe par une cheminée et de l'air plus froid, plus dense, entre par l'autre

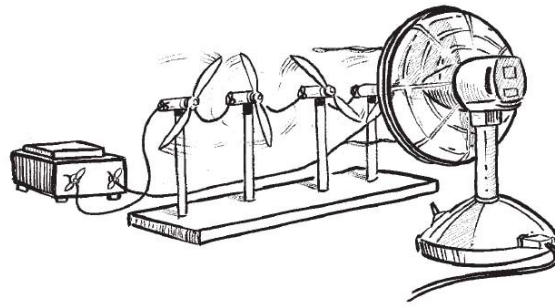
- Demandez aux élèves s'ils connaissent des endroits très venteux et discutez-en les caractéristiques. Par exemple, il

d'endroits exposés (le vent circulant au-dessus d'un lac ou d'une plaine ouverte) ou de collines (plus on monte, plus le vent est fort). Cherchez s'il y a une centrale éolienne dans votre région. Demandez pourquoi elle est située dans cette zone. Les élèves peuvent trouver des cartes des vents de leur continent ou de leur région sur Internet.



- De nombreuses communes proposent aux gens de recevoir de l'électricité de sources renouvelables telles que l'énergie éolienne ou solaire. Évidemment, la compagnie d'électricité n'envoie pas des électrons produits par le vent vers un foyer en particulier, ce qui serait impossible, mais les clients achètent un certain nombre de kilowattheures fournis par des ressources renouvelables à un prix donné, ce qui permet à la compagnie d'investir dans le développement de ces ressources. Beaucoup acceptent de payer cette électricité « verte » plus cher parce qu'elle nuit moins à l'environnement que les combustibles fossiles. Si votre compagnie d'électricité offre de l'énergie « verte », demandez aux élèves d'en comparer le coût au kilowattheure avec le coût de l'électricité conventionnelle. Les élèves pourront calculer ce qu'il coûterait à leur famille de passer à l'énergie verte (en général, cela n'augmente la facture énergétique que de quelques dollars par mois).
- S'il y a des génératrices qui fonctionnent au charbon dans votre secteur, discutez des problèmes que

cela pose pour l'environnement (la combustion d'énergies fossiles libère des polluants dans l'air et des gaz à effet de serre). En un an, une éolienne de 660 kilowattheures produit assez d'énergie pour remplacer 900 tonnes de charbon et réduire les émissions de dioxyde de carbone de 1 660 tonnes. Si vous pouvez obtenir de votre fournisseur d'énergie local un morceau de charbon, faites-le circuler dans la classe (aspergez-le de gomme-laque pour éviter le maculage). Demandez aux élèves de peser le charbon, puis calculez combien de morceaux d'une taille semblable il faudrait brûler pour produire la même quantité d'énergie qu'une éolienne de 660 kilowattheures en un an.



Maquette d'éolienne

scientifiques³ donnent des instructions pour en construire une simple.

Comment capter l'énergie du vent ?

Les éoliennes sont des machines qui captent l'énergie du vent. L'air en mouvement fait tourner d'énormes pales, qui entraînent un arbre relié à une grande génératrice, qui produit de l'électricité selon un

processus d'électromagnétisme : le métal se déplace à travers un champ magnétique, ce qui crée de l'énergie électrique. Cette énergie parcourt le réseau électrique par les lignes à haute tension, tout comme l'électricité issue des centrales conventionnelles.

Dessinez un schéma simple au tableau pour montrer aux élèves comment l'électricité va

d'une éolienne à leur domicile en passant par le réseau électrique (voir

l'illustration « Du vent aux machines à laver »).

Maquette de centrale éolienne

Afin d'illustrer le concept de centrale éolienne, on peut construire une maquette à l'aide de petites turbines munies de moteurs à courant continu (C. C.), qui sont disponibles dans des boutiques de sciences (voir Ressources pour les fournisseurs).

Matériaux : une longueur (environ 30 cm) de bois de 2X6, 4 ou 5 maquettes d'éoliennes, une perceuse électrique, un voltmètre, du fil de cuivre calibre 20, des petits bouts de fil de fer, un ventilateur.

Comment le vent naît-il ?

Expliquez aux élèves que l'énergie éolienne est en fait une forme d'énergie solaire. Le soleil chauffe la Terre de façon inégale, c'est pourquoi il fait plus chaud à certains endroits qu'à d'autres (par exemple, l'équateur reçoit davantage d'énergie solaire que les pôles de la Terre et la Terre se réchauffe plus vite que l'eau). Quand la chaleur est transférée de la surface à l'air, les molécules d'air s'écartent les unes des autres, ce qui rend l'air plus léger et fluide. Comme l'air chaud monte, de l'air plus froid et plus dense prend très vite sa place, ce qui produit un courant. C'est ce processus, dénommé convection, qui crée le vent. Les schémas de circulation du vent sont modifiés par la rotation de la Terre, la nature du terrain, les cours d'eau et la végétation. Les plaines ouvertes, les cols de montagne et les rivages sont des zones très venteuses.

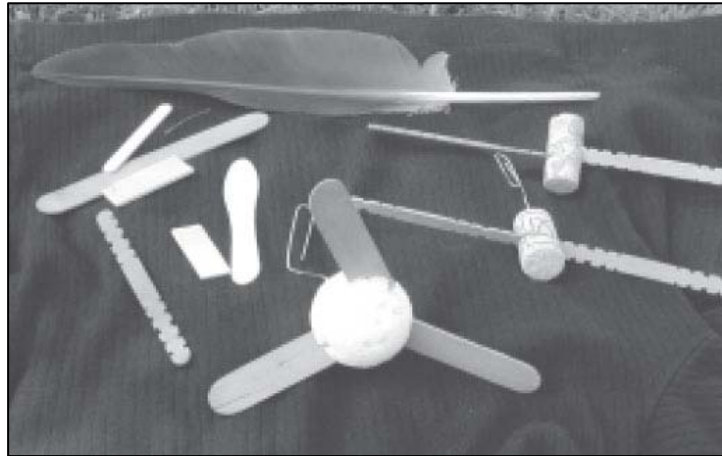
Pour illustrer rapidement comment la chaleur crée du vent, vous pouvez allumer une bougie, comme on en trouve sur les manèges de Noël (disponibles dans les boutiques de décorations de Noël). Dans de tels



Utiliser une plume pour expérimenter la force de portance

Procédure :

1. Marquez les emplacements des turbines sur la planche de 2X6, en les orientant de façon que chacune soit face au vent (au ventilateur) et qu'elles soient assez espacées pour que les pales puissent tourner.
2. Aux emplacements indiqués en 1, percez des trous du même diamètre que la base des turbines.
3. Insérez les bases des turbines dans les trous : les turbines se trouveront droites sur la planche.
4. Branchez-les en série (en alternant les pôles positifs et les pôles négatifs). Branchez la première et la dernière turbine sur le voltmètre.
5. Mettez le ventilateur en marche. Comme il génère du « vent », la jauge du voltmètre indiquera la quantité d'électricité que les turbines produisent.



En se servant de boules de polystyrène et de bouchons préalablement découpés, les élèves peuvent essayer des pales de différentes tailles et formes. Un trombone fixé à un bout permet à la turbine de tourner.

Qu'est-ce qui fait tourner une éolienne ?

Pourquoi le vent fait-il bouger les pales d'une turbine et quel impact la forme des pales a-t-il sur la capacité de la turbine à utiliser le vent ? Dans cette activité, les élèves étudient le principe de Bernoulli et la force de portance.

Matériaux : une bande de papier (de 5 à 25 cm) par élève, des plumes d'oiseau (demandez-en au centre de nature ou au service de protection de l'environnement), un mètre.

Procédure :

1. Donnez une bande de papier à chaque élève. Demandez-leur de la tenir juste au-dessous de leur bouche, de souffler sur le dessus : ils observeront qu'elle s'élève. Demandez-leur d'expliquer ce qui se passe.
2. Expliquez que l'air au-dessus du papier se déplace plus vite qu'au-dessous, ce qui réduit la pression de l'air au-dessus. La pression plus forte sous le papier pousse celui-ci et l'oblige à s'élever. Les pales d'une éolienne sont entraînées par le vent d'une façon similaire : le vent fait baisser la pression de l'air sur la face supérieure, incurvée de la pale. C'est la pression de l'air plus forte au-dessous de la pale qui la fait

tourner. Vous expérimentez ainsi le principe de Bernoulli, selon lequel les gaz (en l'occurrence l'air) ont une pression plus faible quand ils se déplacent. Plus la vitesse du gaz est élevée, plus la pression qu'il exerce est faible.

3. Si vous disposez de plumes, faites expérimenter la force de portance aux élèves: ils tiendront une plume légèrement inclinée (à un angle de moins de 45°)

entre le pouce et l'index. En la faisant bouger d'avant en arrière devant eux, ils doivent sentir que la pression de l'air soulève la plume. Faites-leur remarquer que les pales d'une éolienne ont une forme de plume ou d'aile d'avion, donc la force de portance les fait bouger d'une façon semblable.

4. Rappelez qu'une pale d'éolienne industrielle peut avoir une longueur de 20 mètres ou plus. Mesurez 20 mètres dans la classe à l'aide d'un mètre. Demandez pourquoi elles sont si grandes. De grandes pales reçoivent beaucoup de vent et produisent plus d'électricité que les petites, mais il leur faut un vent plus fort pour tourner. La taille optimale pour une pale dépend de la vitesse moyenne du vent et de la production électrique souhaitée.

Conception d'une éolienne

Matériaux : de gros trombones, 1 à 3 ventilateurs et :

- pour la nacelle : des bouchons de bouteilles de vin ou des boules de polystyrène d'un diamètre de 8 à 10 cm. Apportez les deux si possible. Même si les boules de polystyrène ne résistent pas aussi bien que les bouchons, les élèves peuvent faire des essais en variant le nombre et l'angle des pales.
- pour les pales de la turbine : des spatules en bois, des petites cuillères plates en bois ou en plastique, des bâtonnets de glace ou des objets similaires, au moins 4 par turbine. La variété des matériaux permet aux élèves de tester des pales de différentes tailles et formes.

Préparation : préparez des bouchons à l'avance en leur faisant deux entailles à des angles de 45°, à

l'opposé l'une de l'autre, et en perçant à un bout un trou assez large pour y insérer un trombone déplié.

Dans le monde, la production d'énergie éolienne a quadruplé entre 1997 et 2002, ce qui représente une croissance moyenne de 32 pour cent par an.

(par ex. en utilisant des boules de polystyrène), en variant les angles des pales. Ils peuvent aussi modifier la vitesse du ventilateur pour constater les effets de la vitesse du vent sur des

Procédure :

1. Demandez aux élèves:

« Si vous deviez construire une éolienne, à quoi faudrait-il réfléchir ? » Faites une liste de leurs idées au tableau. Expliquez qu'ils auront pour tâche de construire la « meilleure » éolienne, sans définir « meilleure » : laissez-les deviner ce que cela signifie.

2. Donnez à chaque élève ou groupe un ensemble de matériaux. Montrez-leur comment déplier le trombone et l'insérer dans un bout du bouchon ou au milieu de la boule de polystyrène. Il sert de bras et permet au bouchon ou à la boule de tourner.

3. Si les élèves utilisent des bouchons, demandez-leur d'insérer deux pales de turbines dans les ouvertures pratiquées en biais dans les bouchons. S'ils utilisent des boules de polystyrène, ils inséreront deux pales ou plus dans le polystyrène.

4. Faites tester les dispositifs, en utilisant les ventilateurs comme source de vent.

5. Encouragez les élèves à essayer des pales de différentes tailles en nombre variable et, si possible

turbines de configurations différentes.

6. Une fois que les élèves auront testé leurs maquettes, recueillez leurs remarques sur les points positifs et les points négatifs. Faites-en une liste au tableau.

Normalement, les élèves trouveront que toutes les pales doivent avoir la même inclinaison pour un bon fonctionnement de la turbine. Ils se rendront peut-être également compte que les variations de la vitesse du ventilateur ont une influence différente selon le type de dispositif. Par exemple, des pales plus petites fonctionneront mieux que les plus grandes si la vitesse du vent est faible. Pour produire de l'énergie, les grandes turbines commerciales nécessitent une vitesse du vent minimum d'environ 8 à 16 kilomètres heure et elles sont conçues pour ne se mettre en marche que lorsque le vent atteint cette vitesse « d'enclenchement » optimale. De même, il y a une

Les écoles vont dans le sens du vent

Depuis son installation en 2002, l'éolienne de 750 kilowatts, derrière le collège Eldora-New Providence d'Eldora, Iowa, est devenue à la fois la source et le symbole de l'autosuffisance énergétique du district scolaire. Les 800 000 \$ du projet proviennent d'un emprunt de capital à un programme de conservation de l'énergie de l'État ; mais le Principal Bill Groves a espoir que l'éolienne s'autofinance dans seulement huit ans et demi. Le district a conclu un accord, garantissant une inflation zéro avec la compagnie d'électricité locale, qui achète l'électricité 3,9 cents le kilowattheure et la revend aux quatre établissements scolaires du district au même tarif (il inclut un crédit fédéral pour la production d'énergie propre de 1,9 cent au kilowattheure). De plus, l'éolienne produit 50 pour cent d'électricité en plus par rapport aux besoins des écoles, donc, une fois le prêt remboursé, elle générera un bon profit pour le district scolaire.

Dans l'Iowa, sept établissements ont maintenant des éoliennes sur leur terrain. Pour de plus amples informations, contactez le District scolaire Eldora-New Providence au : (641) 939-5631 ou à l'adresse www.eldora-np.k12.ia.us/enpdistrict/. Pour des photos et des informations sur les deux éoliennes du District scolaire de Spirit Lake, visitez le site www.spirit-lake.k12.ia.us.



vitesse de « déclenchement » d'environ 90 à 105 kilomètres heure : quand le vent l'atteint, les pales sont stoppées par un système de freinage et orientées de 90° pour ne pas donner de prise, de sorte qu'elles ne soient pas endommagées par vent fort.

En réalité, il n'y a pas de « meilleure » maquette, mais plutôt beaucoup de modèles acceptables, en fonction de l'emplacement et de l'objectif de la turbine. Par exemple, la plupart des turbines industrielles sont munies de grandes pales de rotor conçues pour fonctionner par vent assez fort. Une éolienne à usage domestique a généralement une plus petite tour et de plus petites pales et elle fonctionne par vent moins fort.

Bilan

Passez en revue les avantages de l'énergie éolienne. Elle est propre, efficace et renouvelable. En l'utilisant à la place du charbon, on contrebalance les émissions de dioxyde de soufre, d'oxyde d'azote, de particules et autres polluants de l'air. On réduit aussi l'accumulation dans l'environnement de métaux toxiques et de substances cancérigènes libérées lors de la combustion du charbon.

Mentionnez également les inconvénients de l'énergie éolienne. Comme le vent ne souffle pas tout le temps, une éolienne est une source d'électricité intermittente et non régulière. Cependant, d'autres sources d'électricité peuvent la compléter (y compris des éoliennes situées dans des zones où le vent souffle) et l'énergie produite peut être stockée pour pallier les périodes calmes. On ne peut pas construire des éoliennes n'importe où, mais seulement dans des lieux ouverts assez venteux pour les faire marcher.

Rappelez comment le vent est créé et comment l'électricité va d'une éolienne à un foyer. Il existe de nombreux types d'éoliennes ; la meilleure, c'est celle qui convient à l'emplacement et à l'objectif visé.

Pour aller plus loin

Demandez aux élèves de faire des recherches sur un aspect de l'énergie éolienne qui les intéresse. Elles porteront par exemple sur les différentes sortes de turbines, l'histoire de l'énergie éolienne, les emplacements des centrales éoliennes en Amérique du Nord ou les avantages et les inconvénients de cette énergie. Les élèves doués d'un sens artistique voudront peut-être construire des maquettes ou dessiner différents types de turbines. Laissez-leur un choix important et voyez ce qu'ils trouvent. Vous pourrez ainsi utiliser leurs superbes productions l'année prochaine !

Marcee Camenson est la coordinatrice de l'éducation et Michelle Finchum est une spécialiste de l'éducation environnementale pour les services publics de la ville de Fort Collins, dans le Colorado.

Elsa Langrené est une traductrice indépendante anglais/espagnol - français. Elle est titulaire du DESS de traduction spécialisée de l'université de Paris VII.

Notes

1 American Wind Energy Association, Global Wind Energy Market Report, février 2003, en ligne à l'adresse www.awea.org/pubs/documents/globalmarket2003.pdf, 3 janvier 2004.

2 American Wind Energy Association, « Wind Energy FAQ », en ligne à l'adresse www.awea.org/faq/cost.html, 9 janvier 2004.

3 Des instructions pour faire une boîte à convection simple sont disponibles sur les sites suivants : <http://www.uncfsu.edu/msec/nova/timmod3n.htm>, Ronald A. Johnston, « Heating of Air by Convection », Teaching Integrated Mathematics and Science, Module 3, Winds and Circulation, Department of Natural Sciences, Fayetteville State University ; et <http://www.airinfonow.org/pdf/CurriculaConvectionWithGraphic.PDF>, Pima County Department of Environmental Quality, "What's the Connection between Conversion and Inversion?"