

CONCEVOIR UN AVENIR PROMETTEUR

UNITÉ 3 : LES TURBINES M'EMPORTENT

La popularité de l'énergie éolienne continue à croître autour du monde (Canadian Wildlife Federation, 2020), et ce, parce qu'elle est une « option essentielle pour réduire l'émission du carbone. Les scientifiques prédisent que le Canada utilisera 3,5 fois plus d'énergie éolienne au cours des 15 prochaines années » (Overall, 2017, pararg. 2). Pendant cette activité, les élèves auront l'occasion d'agir en tant qu'ingénieur·e·s et d'entreprendre le processus de design pour concevoir, bâtir et analyser leur propre turbine à vent.

LIENS AVEC LE CURRICULUM

Cette ressource est liée aux curriculums de sciences et de technologies au niveau primaire, dont les systèmes, l'électricité, les forces et l'environnement, mais aussi aux programmes d'arts et de mathématiques (géométrie et trigonométrie). L'unité est également liée aux programmes scientifiques du palier secondaire, en particulier en 11^e et 12^e années, où il y a un accent sur l'énergie, l'électricité, le magnétisme et les sciences de l'environnement.

RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE

- Dresser une liste des rôles et responsabilités des ingénieur·e·s, ainsi que leurs apports à la société
- Décrire différentes formes d'énergie
- Expliquer le fonctionnement d'une turbine à vent
- Concevoir et construire un prototype d'une éolienne
- Tester le prototype et évaluer son efficacité

DURÉE SUGGÉRÉE : 2,5 HEURES (PRIMAIRE); 4,5 HEURES (SECONDAIRE)





INTRODUCTION ET CONTEXTE

Depuis plusieurs décennies, de nombreux pays ont utilisé l'énergie éolienne pour des fins électriques. Pourtant, ce n'est que récemment que cette forme d'énergie renouvelable est devenue populaire au Canada,¹ et ce, puisque le pays utilise d'autres formes d'énergies, tel que l'hydroélectricité².

L'énergie éolienne utilise l'énergie cinétique produite par le vent et la transforme en formes utiles. Il existe 4 utilisations principales de l'énergie éolienne :

1. Les voiles de navires utilisent l'énergie éolienne pour les faire propulser;
2. Les moulins à vent prennent l'énergie cinétique et la convertissent en énergie mécanique pour moudre le grain;
3. Les moulins à vent sont également utilisés pour le sciage;
4. Plus récemment, l'énergie éolienne est utilisée pour produire de l'électricité².

Presque toutes les provinces et tous les territoires au Canada utilisent l'éolien. « En 2018, l'énergie éolienne a répondu à environ 6 % de la demande en électricité du pays. Dans certaines provinces, ce pourcentage est plus élevé : 28 % à l'Île-du-Prince-Édouard, 12 % en Nouvelle-Écosse, 8 % en Ontario, et 7 % en Alberta et au Nouveau-Brunswick »³.

Bien que nous voyions souvent des éoliennes qui ressemblent à l'image à droite, il existe en fait deux catégories d'éoliennes : les éoliennes à axe vertical et les éoliennes à axe horizontal. Cette image représente une éolienne à axe horizontal parce que l'axe de rotation des pales est parallèle au flux du vent, donc horizontal. Ces turbines à vent sont les plus populaires et communément utilisées commercialement parce qu'elles sont les plus efficaces quand il y a un flux de vent constant. Cependant, si le vent est turbulent, les turbines à axe vertical (où l'axe principal des pales est vertical) devraient être privilégiées. Elles sont placées où les vents sont turbulents, tels que des littorales, toits et paysages urbains, parce que leur construction permet de capturer le vent de toutes les directions⁴.



Photo : Johanna Montoya

Pendant cette activité, les élèves auront l'occasion d'agir en tant qu'ingénieur·e·s pour comprendre, concevoir et tester leur propre turbine à vent à axe horizontal ou vertical. Ils auront à prendre des décisions sur le design et l'esthétique pour bâtir une éolienne qui est efficace.

¹ Association canadienne de l'énergie éolienne, s. d.

² Sager, 2016

³ Association canadienne de l'énergie éolienne, s. d., paragr. 5

⁴ Khillar, 2019



DÉMARCHE RECOMMANDÉE

1. Remue-méninge de l'ingénierie

- Comme groupe-classe, faites un remue-méninge de l'ingénierie.
- Tenter de mettre en évidence les disciplines d'ingénierie, telles que le génie chimique, mécanique, électrique, environnemental, etc.; les divers rôles et les responsabilités des ingénieur-e-s; et la nécessité de ces professionnel-le-s dans la société.
- Présenter le travail de quelques ingénieur-e-s qui œuvrent dans différents domaines. L'annexe 1 fournit des exemples qui peuvent être l'objet de la discussion.

2. Explication du processus de design

- S'il s'agit de la première fois que vous ou les élèves utilisez le processus de design, veuillez prendre le temps de lire l'annexe 2 et de présenter ce processus aux élèves.

3. Mise en situation

- Présenter une mise en situation où les élèves agissent en tant qu'ingénieur-e-s pour concevoir des éoliennes. Par exemple : vous habitez dans un endroit où toutes les ressources non renouvelables ont été épuisées. Vous avez maintenant la tâche d'assurer la survie de votre communauté. Pour ce faire, vous devez vous fier au vent pour concevoir et bâtir une éolienne.

4. Travailler les étapes du processus de design

- Les élèves, en groupes de 3 ou 4, entament les étapes du processus de design. Quoi que le processus de design demeure identique pour les élèves du primaire et du secondaire, l'envergure avec lequel ils entreprennent l'activité dépend du niveau scolaire. La prochaine section décrit des précisions selon les niveaux scolaires.



PRÉCISIONS SELON LES NIVEAUX SCOLAIRES

Prochainement, nous offrons des suggestions pour le personnel enseignant du primaire et du secondaire. L'activité recommandée pour le primaire demande de concevoir une éolienne qui peut lever un objet, tandis qu'au secondaire il s'agit de concevoir une éolienne qui peut produire de l'électricité.

De la 4^e à la 8^e année

Les élèves auront à bâtir une éolienne avec laquelle une corde et un contenant de masses s'attachent. L'éolienne devient efficace lorsqu'elle réussit à tourner les pales, enrouler le cordon autour du goujon de bois et finalement faire lever un contenant rempli de masses. Le plus de masses que l'éolienne peut lever, plus elle est efficace.

1. **Fonctionnement des éoliennes**

- Avant de concevoir des éoliennes, les élèves doivent apprendre comment elles fonctionnent. La vidéo du CNR Officiel⁵ pourrait faciliter cette tâche. Pour y accéder, veuillez vous référer au site suivant : <https://www.youtube.com/watch?v=zqc1GfOn1a8>
- À la suite de la vidéo, présenter quelques faits qui peuvent aider les élèves à concevoir une éolienne efficace.
 - o Nombre de pales : généralement entre 1 et 8;
 - o Grandeur des pales : les petites pales vont tourner plus vite que les grandes pales, mais ces dernières ont plus de pouvoir;
 - o Forme des pales : affecte la quantité d'énergie produite, parce qu'une vitesse élevée des pales va produire une plus grande quantité d'électricité à comparer à une vitesse réduite;
 - o Rayon du rotor : les longs bras peuvent soutenir plus de poids, mais les petits bras tournent plus vite⁶.

2. **Conception des turbines**

- Les élèves ont le temps de faire un remue-ménage pour concevoir leur éolienne qui pourra faire lever un contenant avec des masses. Une fois qu'ils ont choisi un modèle, ils dressent une liste des matériaux requis et font un croquis de leur éolienne.

3. **Bâtir les turbines**

- Les élèves peuvent apporter des matériaux de la maison ou certains peuvent être fournis par le personnel enseignant. Nous suggérons de fournir quelques articles, tels que des morceaux de carton, du ruban adhésif, des tubes, des verres en plastique, des pailles, du papier, des goujons en bois, etc.⁷. Il va aussi falloir fournir la corde, le contenant et les masses, telles que des rondelles.

4. **Analyse de l'efficacité**

- Au fur et à mesure que les élèves bâtissent leur éolienne, il devrait y avoir un dialogue entre les camarades de groupe et le personnel enseignant. Celui-ci peut poser des questions afin d'assurer une compréhension. Par exemple, pourquoi choisir cette forme et ce nombre de pales? Pourquoi avez-vous

⁵ CNR Officiel, 2018

⁶ Northeastern STEM, 2019

⁷ Northeastern University Center for STEM Education, s. d.



choisi ces matériaux pour la construction? Combien de masses pensez-vous que votre éolienne sera capable de lever?

5. Testage et reconstruction du prototype :

- Une fois que l'éolienne est construite, les élèves peuvent tester son efficacité avec un éventail. Ils peuvent prendre note du nombre de masses qui furent haussées, ainsi que les points forts et faibles de leur prototype. Par la suite, ils devraient avoir l'occasion de retravailler leur design pour l'améliorer.

6. Présentation :

- Demander aux élèves de présenter leur prototype final à la classe, d'expliquer leur design et son efficacité, des succès, des faillites et des pistes d'amélioration.

9^e année ou plus

La conception de l'éolienne au palier secondaire diffère du primaire parce qu'il pourra produire de l'électricité. Nous suivons toujours le processus de design, mais incluons des informations et des activités supplémentaires.

1. Formes d'énergie

- Présenter les formes d'énergie (par ex. cinétique, électrique, sonore, etc.), pratiquer des calculs d'énergie⁸ et explorer le concept de la transformation de l'énergie, afin d'appréhender la conversion de l'énergie cinétique en énergie électrique.

2. Le fonctionnement des turbines à vent

- Demander aux élèves de faire de la recherche pour découvrir comment fonctionne une turbine à vent. Nous suggérons que les élèves se réfèrent au site de l'Association canadienne de l'énergie éolienne (CanWEA).

3. Exploration des types de turbines

- Il existe deux types de turbines à vent, l'éolienne à axe vertical et celle à axe horizontal. Les élèves devraient s'appropriier les deux types de turbines afin de décider lequel serait le plus efficace pour leur prototype. Nous proposons les deux prochaines activités :
 - o Fournir un mini-historique des turbines à vent à axe vertical en se focalisant sur le travail de Raj Rangi et Peter South – deux Canadiens qui sont reconnus pour leur contribution à l'énergie éolienne. Les détails de ces ingénieurs se trouvent à l'annexe 3.
 - o Mener une analyse de turbines à vent horizontales. Pour ce faire, présenter deux modèles de turbines à vent qui furent conçus par des élèves du secondaire lors d'un concours de WindEng. Fournir les fiches d'information à l'annexe 4 pour leur permettre d'analyser les turbines. Leur demander quel modèle serait le plus efficace pour produire de l'énergie et d'expliquer leur raisonnement.

La physique du vent

Formule de l'énergie cinétique

$$E_c = 1/2 mv^2$$

Calculer le pouvoir du vent

$$P = 1/2 \rho A v^3$$

P = pouvoir du vent (W)

ρ = densité de l'air (kg/m^3)

A = aire de la surface de la turbine (m^2)

v = vitesse du vent (m/s)

⁸ The Royal Academy of Engineering, s. d.



4. Concevoir des idées divergentes

- Une fois que les élèves ont une meilleure compréhension des turbines à vent, les groupes d'élèves doivent songer au design de leur turbine. Ils devraient explorer des pales éoliennes qui varient en grandeurs et en formes. Encourager l'utilisation des connaissances antérieures en mathématiques, tels que la trigonométrie, la géométrie, la circonférence et l'aire⁹.
- Ils auront ensuite à faire un croquis du modèle qu'ils désirent bâtir en incluant les dimensions précises.

5. Bâtir la turbine à vent

- Après qu'ils ont choisi le design qu'ils veulent concevoir, les élèves auront à récupérer les matériaux nécessaires pour la construction.
- Une seconde option serait d'utiliser un logiciel de modélisation, tel que Google SketchUp ou Thingiverse et de faire imprimer le prototype sur une imprimante en 3D¹⁰.
- En plus du matériel pour les pales, il y a nécessité d'avoir un générateur. Le personnel enseignant peut choisir de fournir cet appareil ou d'entreprendre une activité d'électromagnétisme pour en concevoir un.

6. Tester la turbine

- Se procurer d'une source de vent, tel qu'un éventail, et placer la turbine devant l'appareil. Demander aux élèves de déterminer le voltage produit par la turbine grâce au voltmètre. Les élèves auront à ajuster le pouvoir de la source de vent et la distance entre la source de vent et l'éolienne. Ils doivent recueillir des données.

7. Analyse et modification de la turbine

- Il reste à analyser et à modifier la turbine pour assurer son fonctionnement, son efficacité et son esthétique.

8. Rapport écrit /présentation

- Demander aux élèves de fournir un rapport écrit ou de faire une présentation orale pour expliquer leurs choix de design (par ex. type de turbine, nombre de pales, etc.), les résultats d'efficacité recueillis, des succès et des faillites, et des pistes d'amélioration.

Méthode alternative – rendre la turbine numérique

Si les outils sont disponibles à l'école, les élèves pourraient utiliser des microcontrôleurs Arduino Uno ou micro:bit pour mesurer la capacité de leur prototype

ALLER PLUS LOIN

- Décrire comment les lois de Newton agissent sur leur prototype.
- Dessiner des diagrammes de forces de l'éolienne pour illustrer les forces qui agissent sur une turbine.
- Expliquer comment fonctionne un générateur.
- Explorer et décrire les répercussions sociales, économiques et environnementales de l'énergie éolienne.

⁹ Cunningham et al., 2019

¹⁰ Cunningham et al., 2015



ÉVALUATIONS

Diagnostic

Pendant que le groupe-classe fait un remue-méninge du génie et des tâches des ingénieur·e·s, le personnel enseignant peut prendre note de leurs connaissances antérieures ou prendre une photo du remue-méninge (une fois complété) pour en faire une évaluation après le cours.

Formatif

Lorsque les élèves entreprennent le processus de design, le personnel peut évaluer leurs connaissances du fonctionnement des turbines à vent, soit par questionnaire ou par un document écrit. Questionnement : pourquoi utiliser une turbine à axe vertical ou à axe horizontal? Pourquoi ils ont privilégié cette forme de pales? Pourquoi avez-vous choisi ces matériaux? De plus, les élèves pourraient se charger de remplir un document pendant qu'ils travaillent (ou après qu'ils ont terminé) chaque étape du processus de design. Ces documents peuvent faire partie du rapport final ou pourraient être utiles pour assurer une compréhension des élèves au fur et à mesure qu'ils travaillent leur prototype.

Sommatif

Évaluer le rapport final ou la présentation orale qui décrit leur design, les succès et les erreurs, ainsi qu'une analyse de l'efficacité grâce aux données recueillies et l'esthétique de la turbine. Les élèves devraient aussi élaborer comment la turbine pourrait être modifiée ou améliorée.



ANNEXE 1 – LES INGÉNIEUR·E·S

Les ingénieur·e·s utilisent leur créativité pour concevoir et créer des machines, des structures ou des processus qui peuvent résoudre des problèmes sociétaux afin d'améliorer la qualité de vie du peuple^{11,12}. Ils doivent utiliser leurs connaissances de multiples disciplines, notamment en sciences et en mathématiques, pour transformer des idées abstraites en objets physiques¹¹.

Les ingénieur·e·s mécaniques, civil·e·s, électriques, environnementales, chimiques, etc., travaillent tous à résoudre des problèmes qui touchent à leur discipline. À titre d'exemple, une personne pourrait remarquer la nécessité de connecter la ville de San Francisco avec la péninsule du comté de Marin, tel que l'a fait l'ingénieur civil Joseph Strauss. En réponse à ce problème, il a conçu le pont Golden Gate¹³.

Il existe de nombreux et excellents exemples de personnes qui essaient de faire la différence dans le monde. Découvrez le travail de ces ingénieures passionnées !

FEMMES EN STIM

ANN MAKOSINSKI

Une brillante idée

On peut dire qu'Ann Makosinski a eu une brillante idée en inventant la lampe Hollow! Cette lampe de poche révolutionnaire alimentée par la seule chaleur des mains est destinée aux populations de pays en développement ayant un accès limité à des ressources énergétiques.

Ingenium s'engage à motiver et à autonomiser les femmes et les filles dans les domaines des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques. Apprenez-en davantage à : ingeniumcanada.org/femmesenstim/

Ingenium Canada

FEMMES EN STIM

VEENA RAWAT

Pionnière des télécommunications

Veena Rawat a été la première femme à obtenir un doctorat en génie électrique à l'université Queen's. Elle a passé presque 40 ans à Industrie Canada, où elle a dirigé les travaux sur les communications sans fil.

Ingenium s'engage à motiver et à autonomiser les femmes et les filles dans les domaines des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques. Apprenez-en davantage à : ingeniumcanada.org/femmesenstim/

Ingenium Canada

FEMMES EN STIM

NATALIE PANEK

Une passionnée d'exploration spatiale

Natalie Panek, ingénieure en mécanique et en aérospatiale, est une étoile du monde formidable des sciences spatiales et de l'ingénierie. Ses travaux en robotique spatiale contribuent à de nombreux programmes d'exploration, y compris à une mission de rover martien.

Ingenium s'engage à motiver et à autonomiser les femmes et les filles dans les domaines des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques. Apprenez-en davantage à : ingeniumcanada.org/femmesenstim/

Ingenium Canada

Vous trouverez plus de détails sur ces ingénieures à <https://femmesenstim.ingeniumcanada.org/>. Nous recommandons aussi d'explorer les affiches de : Lynn Conway, Charity Wanjiku, Jill Tarter et Melissa Sariffodeen.

¹¹ Khandani, 2005

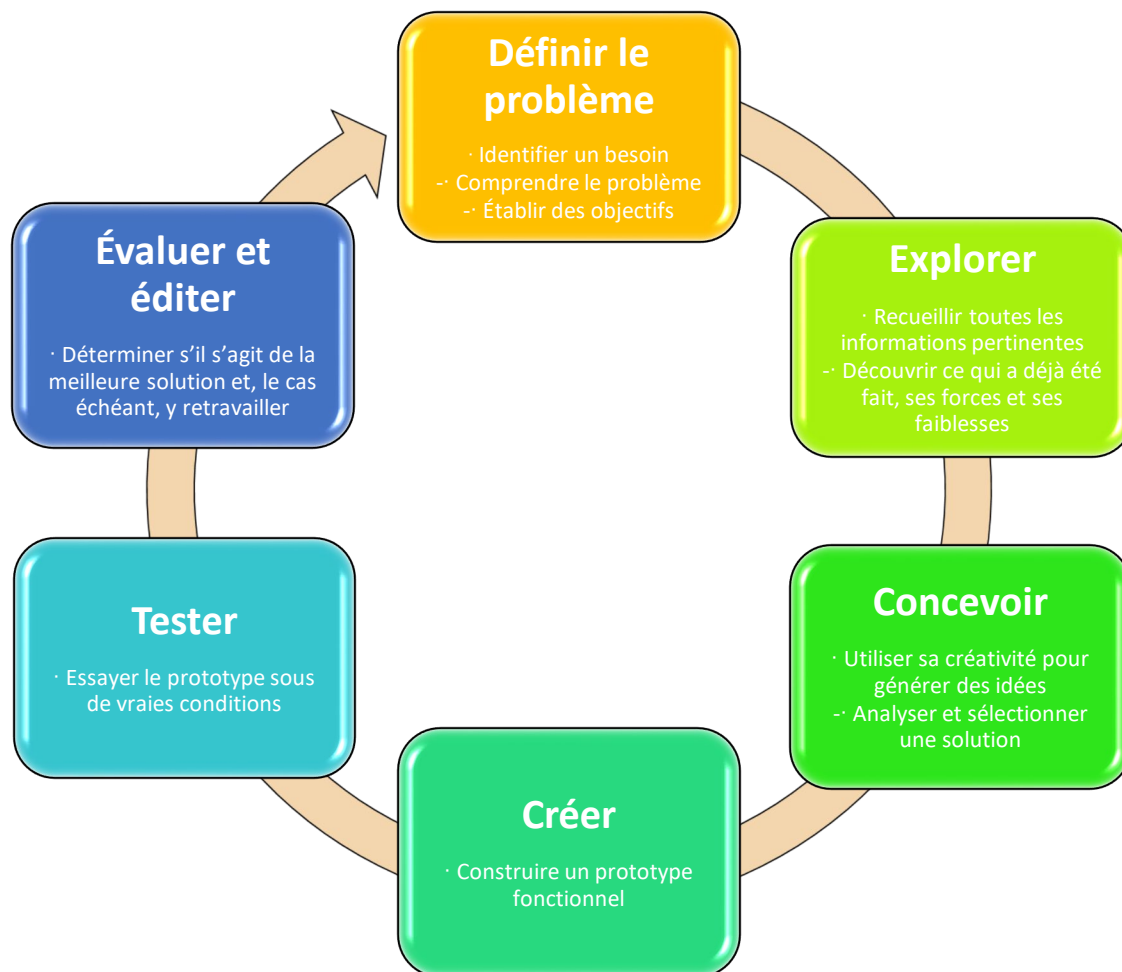
¹² Lucas, 2014; PBS Kids, 2017; TeachEngineering, s. d.

¹³ Golden Gate Bridge, Highway and Transportation District, s. d.



ANNEXE 2 – PROCESSUS DE DESIGN

Le processus de design, utilisé par les ingénieur(e)s peut être utilisé quand une personne tente de résoudre un problème avec plusieurs solutions. Il existe six étapes au processus de design.



Adapté de Khandani (2005); The Works Museum (2016)



ANNEXE 3 – DEUX CANADIENS PASSIONNÉS PAR L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

En 1931, Georges Jean Marie Darrieus, un ingénieur aéronautique de la France, a obtenu le brevet pour la première turbine à vent à axe vertical^{14,15}. Le design a trois pales dans la forme d'arc, dont les extrémités sont attachées au sommet et au fond du puits¹⁴. Cependant, Darrieus n'a pas continué son travail sur l'éolien et ses contributions ont été oubliées¹⁵.

En 1966, lorsque Raj Rangi et Peter South travaillaient pour le Conseil national de recherches Canada (CNRC), ils ont expérimenté avec l'énergie éolienne. Rangi et South travaillaient, eux aussi, avec des modèles à deux ou à trois pales en forme d'arc, ce qui permet au vent de souffler dans n'importe quelle direction pour faire tourner la turbine et conséquemment produire de l'électricité¹⁶.

Puisque le travail de Darrieus avait été majoritairement oublié, les deux Canadiens n'avaient pas réalisé que leurs modèles paraissaient très semblables à ceux de Darrieus. Alors, quand ils cherchaient à obtenir un brevet pour leur modèle d'une turbine à axe vertical, il a été refusé. C'est à ce point que Rangi et South ont été crédités avec la redécouverte et la popularisation de l'éolienne de type Darrieus¹⁵.

Pendant que ces chercheurs canadiens travaillaient sur l'énergie éolienne, ils ont placé une éolienne à axe vertical sur le toit de l'immeuble du CNRC (dont vous pouvez voir dans l'image ci-dessous). Vous pouvez imaginer que cette éolienne a attiré beaucoup d'attention. C'est à ce temps que leur travail a été approuvé et encouragé par leur direction¹⁵ et ils ont pu continuer à travailler sur ce qui les passionnait; l'énergie éolienne.

Jusqu'à la fin des années 1980, le modèle de Rangi et South dominait les parcs éoliens de l'Amérique du Nord¹⁷. Par suite, les turbines à axe horizontal ont gagné en popularité à cause de leur efficacité accrue. Cependant, récemment, il y a un renouvellement dans l'intérêt des turbines à axe vertical au Canada pour des fins électriques¹⁸. Alors, ne soyez pas surpris si dans le futur vous voyez les conceptions de Raj Rangi et Peter South près de chez vous!



Figure 1 – La première éolienne à axe vertical de type Darrieus développée par Raj Rangi et Peter South. Elle fut montée sur le toit de l'édifice du Conseil national de recherches du Canada.

(Photo : Conseil national de recherches Canada)

¹⁴ Kumar et al., 2019

¹⁵ Tudor, 2010

¹⁶ Ingenium, s. d.

¹⁷ Musée des sciences et de la technologie du Canada, s. d.

¹⁸ Sager, 2016



ANNEXE 4 - ANALYSE DE TURBINES À VENT À AXE HORIZONTAL

Fiche d'information – turbine A

Numéro d'artéfact

2010.0092.001

Lieu du fabricant

Norwich, Ontario, Canada

Date de fabrication

2010

Contexte – fonction

Modèle 3D à petite échelle d'une machine conçue pour produire de l'électricité à partir du vent.

Contexte technique

Les pales sont faites de balsa, qui a été trempé dans un moule rempli d'eau. La tour, le nez et la nacelle sont finis, peints et décorés avec les initiales de l'école. Les pales portent des marquages antiaériens rouges.

Description

Le modèle revêtu de bois a des lames en balsa ; le moteur et les raccords sont en métal et en matière synthétique. Modèle peint en blanc ; marquages rouges.

Longueur

93,0 cm

Largeur

49,0 cm





Fiche d'information – turbine B

Numéro d'artéfact

2010.0093.001

Lieu du fabricant

Toronto, Ontario, Canada

Date de fabrication

2010

Contexte – fonction

Modèle 3D à petite échelle d'une machine conçue pour produire de l'électricité à partir du vent.

Contexte technique

Après avoir testé plusieurs modèles, les étudiant·e·s ont décidé de choisir un modèle à huit lames. Le nez et les zones de la "nacelle" ont été laissés ouverts pour faciliter l'accès, l'entretien et les réparations. Cela permettrait aux étudiants de corriger rapidement tout problème. La turbine a produit de l'énergie pendant une minute avec un rendement moyen de 0,707 watts.

Description

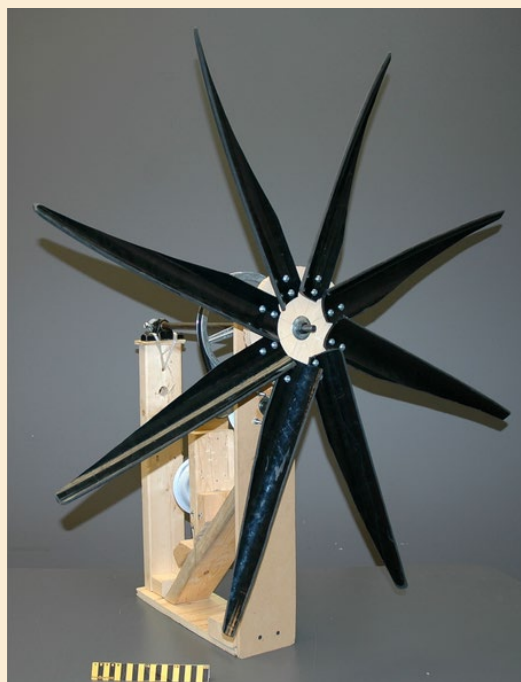
Pales synthétiques noires lisses et réfléchissantes fixées à un moyeu en bois non fini ; cadre en bois non fini ; poteau et ceinture synthétiques noirs ; composants métalliques argentés (certains peints en blanc) ; engrenage synthétique moulé en blanc.

Longueur

105,0 cm

Largeur

59,0 cm





RÉFÉRENCES

- Association canadienne de l'énergie éolienne. (s. d.). *L'éolien : Une solution viable*. Consulté 14 mars 2020, à l'adresse <https://canwea.ca/fr/leolien-les-faits/leolien-une-solution-viable/>
- Canadian Wildlife Federation. (2020). *Does wind power have a viable future in Canada?* https://cwf-fcf.org/en/about-cwf/faq/faqs/does-wind-power-have-a-viable.html?gclid=EALaIQobChMIkdOKp_P55wIVTj0MCh1hMwtEAAAYASAAEgLrzPD_BwE
- CNR Officiel. (2018, juin 5). *Le fonctionnement des éoliennes*. <https://www.youtube.com/watch?v=zqc1GfOn1a8>
- Cunningham, G., Holstein, R., & Outerbridge, L. (2015). *Renewable Energy Design : Wind Turbines - Activity*. TeachEngineering.Org. https://www.teachengineering.org/activities/view/nyu_windturbine_activity1
- Cunningham, G., Holstein, R., & Outerbridge, L. (2019, juillet 20). *Renewable Energy Design : Wind Turbines*. TeachEngineering - STEM Curriculum for K-12. https://www.teachengineering.org/activities/view/nyu_windturbine_activity1
- Golden Gate Bridge, Highway and Transportation District. (s. d.). *Frequently Asked Questions about the Golden Gate Bridge*. Consulté 15 mars 2020, à l'adresse <https://www.goldengate.org/bridge/history-research/#history>
- Ingenium. (s. d.). *Turbine, wind*. Consulté 15 mars 2020, à l'adresse <https://ingeniumcanada.org/ingenium/collection-research/collection-item.php?id=1984.1223.001>
- Khandani, S. (2005). *Engineering Design Process*. Education Transfer Plan. <https://resources.saylor.org/wwwresources/archived/site/wp-content/uploads/2012/09/ME101-4.1-Engineering-Design-Process.pdf>
- Khillar, S. (2019, octobre 18). *Difference Between Horizontal and Vertical Axis Wind Turbine*. Difference Between. <http://www.differencebetween.net/technology/difference-between-horizontal-and-vertical-axis-wind-turbine/>
- Kumar, P. M., Sivalingam, K., Lim, T.-C., Ramakrishna, S., & Wei, H. (2019). Review on the Evolution of Darrieus Vertical Axis Wind Turbine : Large Wind Turbines. *Clean Technologies*, 1, 205-223. <https://doi.org/doi:10.3390/cleantechnol1010014>
- Lucas, J. (2014, août 22). *What is Engineering ? | Types of Engineering*. Live Science. <https://www.livescience.com/47499-what-is-engineering.html>
- Northeastern STEM. (2019). *Wind Turbines*. <https://prezi.com/vkt8mbw4jl6w/wind-turbines-new/>
- Northeastern University Center for STEM Education. (s. d.). *Wind Turbines*. Consulté 1 mars 2020, à l'adresse <https://stem.northeastern.edu/programs/ayp/fieldtrips/activities/turbines/>
- Overall, A. (2017, décembre 14). *Énergie éolienne—L'énergie éolienne peut-elle répondre à nos besoins énergétiques?* Fédération canadienne de la faune. <https://cwf-fcf.org/fr/nouvelles/articles-en-ligne/wind-power.html>
- PBS Kids. (2017). *Talking to kids about engineering*. http://www-tc.pbskids.org/designsquad/pdf/engineers/DS_Act_Guide_TalkKidsEng.pdf
- Sager, E. W. (2016). Wind Power : Sails, Mills, Pumps, and Turbines. Dans *Powering Up Canada : The History of Power, Fuel, and Energy from 1600* (p. 162-184). McGill-Queen's Press - MQUP.
- TeachEngineering. (s. d.). *What is Engineering?* <https://www.teachengineering.org/k12engineering/what>



The Royal Academy of Engineering. (s. d.). *Wind Turbine Power Calculations*.
<https://www.raeng.org.uk/publications/other/23-wind-turbine>

The Works Museum. (2016). *Engineering Design Process*. https://theworks.org/wp-content/uploads/2017/01/EDP_The_Works_Museum_2016_web.jpg

Tudor, S. (2010). *A Brief History of Wind Power Development in Canada 1960s-1990s*.
<http://www.inference.org.uk/sustainable/images/blyth/A%20Brief%20History%20of%20Wind%20Power%20Development%20in%20Canada.pdf>

Vertical Axis Wind Turbine Model, N° 103204.