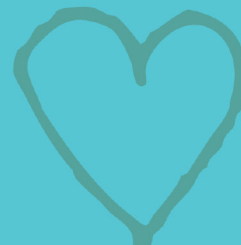


L'apprentissage des sciences et des technologies par l'expérimentation

Le biomimétisme

Ghislain Samson **et** Abdeljalil Métioui



Presses de l'Université du Québec
Le Delta I, 2875, boulevard Laurier, bureau 450,
Québec (Québec) G1V 2M2
Téléphone : 418 657-4399 – Télécopieur : 418 657-2096
Courriel : puq@puq.ca – Internet : www.puq.ca



La Loi sur le droit d'auteur interdit la reproduction des œuvres sans autorisation des titulaires de droits. Or, la photocopie non autorisée – le « photocopillage » – s'est généralisée, provoquant une baisse des ventes de livres et compromettant la rédaction et la production de nouveaux ouvrages par des professionnels. L'objet du logo apparaissant ci-contre est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit le développement massif du « photocopillage ».

Les Presses de l'Université du Québec reconnaissent l'aide financière du gouvernement du Canada par l'entremise du Fonds du livre du Canada et du Conseil des Arts du Canada pour leurs activités d'édition. Elles remercient également la Société de développement des entreprises culturelles (SODEC) pour son soutien financier.

Mise en pages : Mathieu Plasse
Conception de la couverture : Mathieu Plasse

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés
© 2014, Presses de l'Université du Québec

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives nationales du Québec et Bibliothèque et Archives Canada

Métioui, Abdeljalil, 1951-
L'apprentissage des sciences et des technologies par l'expérimentation

Comprend des références bibliographiques.

Sommaire : module 1. Le circuit électrique / Abdeljalil Métioui, Ghislain Samson – module 2. L'astronomie / Ghislain Samson, Abdeljalil Métioui – module 3. La photosynthèse / Ghislain Samson, Abdeljalil Métioui -- module 4. Le magnétisme / Adeljalil Métioui, Ghislain Samson – module 5. Le biomimétisme / Ghislain Samson, Abdeljalil Métioui – module 6. L'électrostatique / Abdeljalil Métioui, Ghislain Samson.

Monographie électronique en format PDF.

ISBN 978-2-7605-3611-1 (série)
ISBN 978-2-7605-3925-9 (vol. 1)
ISBN 978-2-7605-3926-6 (vol. 2)
ISBN 978-2-7605-3927-3 (vol. 3)
ISBN 978-2-7605-3928-0 (vol. 4)
ISBN 978-2-7605-3929-7 (vol. 5)
ISBN 978-2-7605-3930-3 (vol. 6)

1. Sciences - Manuels scolaires. I. Samson, Ghislain, 1967- . II. Métioui, Abdeljalil, 1951- . Circuit électrique. III. Samson, Ghislain, 1967- . Astronomie. IV. Samson, Ghislain, 1967- . Photosynthèse. V. Métoi, Abdeljalil, 1951- . Magnétisme. VI. Samson, Ghislain, 1967- . Biomimétisme. VII. Métioui, Abdeljalil, 1951- . Électrostatique. VIII. Titre. IX. Titre : Le circuit électrique. X. Titre : L'astronomie. XI. Titre : La photosynthèse. XII. Titre : Le magnétisme. XIII. Titre : Le biomimétisme. XIV. Titre : L'électrostatique.

Q161.2.M472 2013 500 C2013-941827-X

Remerciements

L'idée de cet ouvrage est venue du professeur Abdeljalil Métioui à la suite d'échanges et de travaux avec monsieur Raymond Gervais au début des années 2000. Les expérimentations portant sur l'astronomie, la photosynthèse et le biomimétisme ont été réalisées par des étudiants de l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) sous la supervision du professeur Ghislain Samson. Nous les remercions pour leur participation. Les étudiants suivants ont collaboré plus spécifiquement à la préparation de certains ateliers : Gabrielle Dionne, Pierre-Emmanuel Dufour, Thomas Fournier et Alexandre Gareau. Merci pour vos idées et pour le professionnalisme avec lequel vous vous êtes investis dans ce volet du projet.

Les enrichissements du présent livre numérique, quant à eux, ont été rendus possibles grâce à une subvention octroyée par le fonds FODAR de l'Université du Québec.

Enfin, un grand merci à nos institutions respectives, l'UQTR et l'Université du Québec à Montréal (UQAM), pour leur soutien ainsi qu'aux Presses de l'Université du Québec (PUQ), plus particulièrement à monsieur Mathieu Plasse et à mesdames Bianca Drapeau, Nadine Elsliger, Céline Fournier et Audrey St-Amand pour leur soutien incontestable et leurs judicieux conseils.

Introduction

Depuis les années 1990, la majorité des pays, qu'ils soient développés ou en voie de développement, accordent un intérêt marqué pour l'enseignement des sciences et des technologies au primaire. À cet effet, il existe un grand nombre de manuels scolaires, de livres de littérature jeunesse, d'ouvrages didactiques et de sites Internet qui proposent une panoplie d'activités d'expérimentation et de manipulation aux enseignants et à leurs élèves. Malgré tout, l'enseignement des sciences et des technologies demeure difficile, la majorité des enseignants éprouvant des difficultés à le dispenser, principalement en raison du manque de formation (OCDE)¹.

Pour pallier ce manque de formation, le site [La main à la pâte](#), initié par le prix Nobel de physique Georges Charpak, propose aux enseignants et à leurs élèves des expériences à réaliser ainsi qu'une documentation scientifique, didactique et pédagogique importante.

C'est une référence dans le domaine et plusieurs pays, dont l'Italie, s'en inspirent pour développer des programmes de formation pour leurs enseignants :

La main à la pâte est un vaste projet expérimental lancé en France en 1996 dans le but de révolutionner l'enseignement des sciences à l'école primaire. Il a exercé une profonde influence sur les programmes nationaux d'enseignement au primaire que le ministère français de l'Éducation a proposés en 2002 et, plus récemment, en 2008. Cette espèce d'« aventure pédagogique » donne une place centrale à l'élève et propose des expériences directes et une mise en relation stricte entre les sciences et le langage, tout en accordant une attention particulière au développement chez l'élève de l'imagination, de la créativité, du raisonnement logique et d'une attitude impeccable. Ces principes fondamentaux sont également la source d'inspiration du projet italien ISS – Insegnare Scienze Sperimentali (Enseigner les sciences expérimentales)².

1 OCDE (2005). *Declining Student Enrolment in Science and Technology: Is it real? What are the causes? What can be Done?*, Amsterdam, Amsterdam Koepelkerk Convention Centre.

2 Carpignano, R. et G. Cerrato (2012). « Science teaching in the primary school: A comparison between "good practices" carried out in Italy and in France », communication dans le cadre de la *11th European Conference on Research In Chemical Education* (ECRICE), 15 au 20 juillet, Abstract Book: T1.S2.OC1, p. 33; traduction libre.

Dans le même ordre d'idées, une équipe de chercheurs finlandais développe actuellement des expériences en physique et en chimie pour les enseignants du primaire afin de les aider à acquérir les rudiments de la démarche expérimentale. Dans le passage suivant, les auteurs en soulignent la pertinence :

L'un des objectifs de la Finlande dans le cadre de l'enseignement des sciences est de susciter l'intérêt et l'enthousiasme pour les sciences naturelles en faisant participer les élèves à des expériences et à des recherches scientifiques. Néanmoins, il semble que l'enseignement des sciences au primaire, en particulier la chimie et la physique en cinquième et sixième année, pourrait inclure plus d'expérimentations et de recherches scientifiques que ce qui est réalisé actuellement dans les écoles. Selon les commentaires émis par les enseignants, leur implication et leur application des travaux expérimentaux en classe est limitée. Cela peut s'expliquer par leur peu d'expérience et leur méconnaissance d'expérimentations simples et faciles en chimie et en physique, découlant du fait qu'une minorité seulement d'enseignants se spécialisent dans l'enseignement des sciences au cours de leur formation. Former et motiver les enseignants en exercice est l'un des objectifs du Centre de ressource en science et en mathématiques de la Finlande (LUMA-KS), qui en tant que membre du réseau national finlandais, a pour but de motiver les élèves et les enseignants de tous les niveaux du système éducatif et de renforcer leur intérêt et leur connaissance des sciences naturelles, des mathématiques et de la technologie³.

Le présent ouvrage s'inscrit dans la lignée de ces recherches qui proposent des activités d'expérimentation aux enseignants en formation et en exercice. Grâce à des subventions du service de la recherche (équipement scientifique) et du service des ressources humaines (programme d'intégration des chargés de cours) de l'Université du Québec à Montréal, l'un des auteurs du présent ouvrage, le professeur Abdeljalil Métioui, a développé des laboratoires à l'intention des étudiants du programme de baccalauréat en éducation préscolaire et en enseignement primaire qui les ont expérimentés pendant quatre ans.

Les étudiants ont manifesté un grand intérêt, voire un enthousiasme certain envers les ateliers et leurs commentaires ont permis de nombreux ajustements et améliorations.

Dans la même veine, d'autres ateliers ont été développés en collaboration avec le professeur Ghislain Samson de l'Université du Québec à Trois-Rivières et ses étudiants, avec l'aide du fond FODAR de l'Université du Québec. Ces ateliers, ainsi que ceux réalisés précédemment, vous sont présentés dans cet ouvrage.

3 Häkkinen, P. et J. Lundell (2012). « Motivating classroom teachers into hands on science experiments in primary school science education », communication dans le cadre de la *11th European Conference on Research In Chemical Education (ECRICE)*, 15 au 20 juillet, Abstract Book: PS2. PO136, p. 496; traduction libre.

Notre approche

En quoi diffèrent les activités d'expérimentation proposées dans cet ouvrage de celles que l'on retrouve, entre autres, dans le site [La main à la pâte](#) ? D'abord et avant tout, il ne s'agit pas ici d'une banque d'expériences mais plutôt d'ateliers de laboratoire destinés aux enseignants en formation ou en exercice visant, à l'aide d'une approche adaptée, à développer leurs compétences reliées à la démarche expérimentale. Les ateliers (en physique, chimie, biologie ou technologie) ont pour but de les inciter à réaliser des expériences leur permettant de répondre à des questions données dans une formule du type « apprendre en faisant et en mettant la main à la pâte » pour qu'à leur tour ils puissent faire de même avec leurs élèves.

Chaque atelier débutera par un questionnaire permettant à l'étudiant de préciser ses conceptions initiales sur un certain nombre de questions étudiées dans les activités d'expérimentations. L'étudiant sera amené à vérifier la véracité de certaines de ses conceptions à la suite des expérimentations effectuées et des notions scientifiques présentées.

Ce questionnaire permettra également de mettre en relief l'apport des expérimentations, qui sont présentées dans cet ouvrage, à l'apprentissage des étudiants. Ainsi, ces derniers n'auront pas l'impression d'exécuter une recette ou de faire de la « magie ».

Qui plus est, nous recommandons fortement, dans le cas des étudiants en formation, que les expérimentations soient réalisées en équipe de deux, afin, d'une part, de diminuer le stress que certains peuvent ressentir par rapport aux sciences et, d'autre part, de se rapprocher le plus possible du travail de collaboration observé dans le milieu scientifique.

Soulignons que cet ouvrage propose une structure différente de la plupart des autres ouvrages consacrés à l'apprentissage des sciences et des technologies. Alors que la majorité des manuels didactiques présentent des expérimentations se réduisant à vérifier un cadre donné (ce qui constitue souvent une source de découragement, voire de falsification des données de l'expérimentation), notre ouvrage propose tout d'abord des expérimentations qui sont par la suite appuyées par des notions scientifiques.

Voici la démarche en **8 étapes** proposée dans cet ouvrage.

1

ÉVALUATION DES CONCEPTIONS INITIALES

Permet de faire un état des connaissances antérieures sur le sujet à l'étude.

2

EXPÉRIMENTATION

Des consignes pour chacune des manipulations à effectuer sont clairement indiquées afin que l'expérimentation se déroule dans les meilleures conditions possibles, et ce, sans ambiguïté. Les précautions à prendre pour éviter des accidents, le cas échéant, ainsi que les conditions qui pourraient entraver la réalisation de l'expérience sont également présentées.

3

SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS

Après chaque expérimentation, nous présentons une synthèse des observations qui auraient dû être effectuées. L'étudiant pourra alors refaire l'expérience dans les cas où ses observations ne seraient pas appropriées. On peut également omettre une expérimentation et consulter uniquement la synthèse.

4

NOTIONS SCIENTIFIQUES

Les notions scientifiques reliées directement à chaque expérimentation sont présentées ici au lieu d'être présentées à la toute fin des expérimentations.

5

RETOUR SUR L'ÉVALUATION DES CONCEPTIONS INITIALES

Permet de réévaluer les savoirs à la suite des expérimentations.

6

ÉVALUATION DES SAVOIRS

Cette étape permet d'évaluer les savoirs formels et pratiques que l'étudiant devrait acquérir à la suite des activités réalisées.

7

RETOUR SUR L'ÉVALUATION DES SAVOIRS

Les réponses aux questions d'évaluation des savoirs et compétences sont présentées.

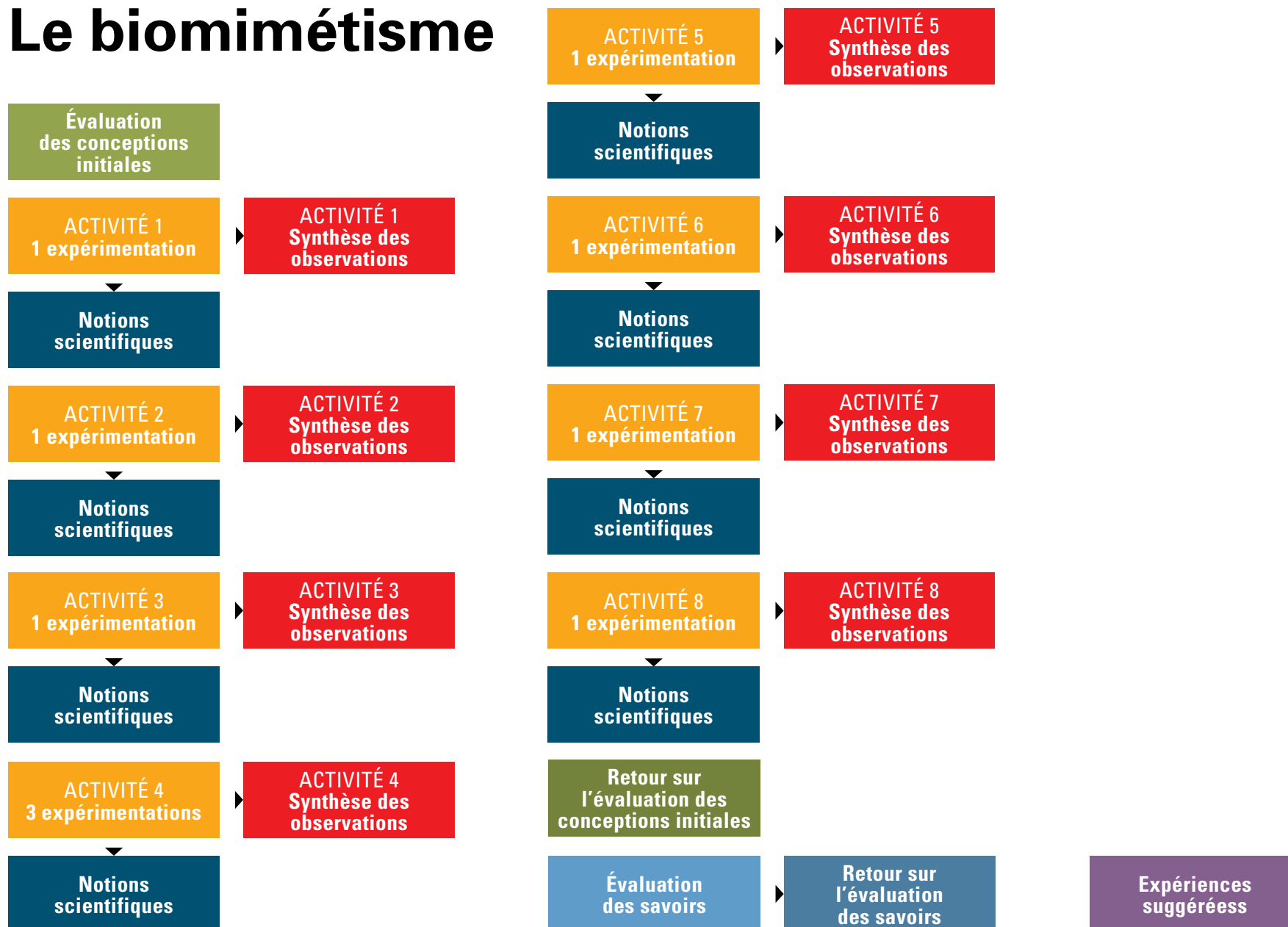
8

EXPÉRIENCES SUGGÉRÉES

Cette étape a pour objet de présenter un complément d'expériences à réaliser, certaines par des élèves de niveau primaire ou secondaire.

Module 5

Le biomimétisme



Le biomimétisme

À l'heure actuelle, un concept semble attirer l'attention des écologistes et des ingénieurs : le biomimétisme ! Effectivement, l'Homme s'inspire de plus en plus du génie de la nature pour diminuer son empreinte écologique sur son environnement et il y parvient avec succès ! Pensons aux moules qui fabriquent une colle très adhésive ou encore à l'araignée qui tisse une toile dont la résistance est cinq fois supérieure à celle de l'acier.

À l'aide d'activités visuellement convaincantes, vous pouvez aider vos apprenants à mieux comprendre ce qu'est le biomimétisme et comment nous pouvons nous inspirer de l'environnement pour diminuer notre impact sur ce dernier.

Considérant que le biomimétisme est relativement nouveau comme champ de recherche, peu d'études en didactique, sinon aucune à notre connaissance, n'existe sur cette question. Il n'en demeure pas moins que les thématiques abordées découlent des domaines classiques, comme la chimie, la physique et la biologie, par exemple, et que les conceptions des enseignants et des élèves de l'ordre primaire sont généralement erronées par rapport aux idées scientifiques acceptées. Pour aider les enseignants et leurs élèves à acquérir les concepts entourant le biomimétisme indispensables à la compréhension des sciences et technologies, nous proposons des

activités d'expérimentation interactives, à savoir des activités qui ne se limitent pas à une exécution machinale d'un ensemble de tâches.

Le présent module s'inscrit dans cette foulée et suggère aux enseignants en formation et en exercice des expérimentations simples (activités 1 à 8) sur le phénomène du biomimétisme ainsi que d'autres à réaliser avec les élèves. Ces expérimentations rendent compte implicitement de résultats de recherches sur les conceptions d'élèves et d'enseignants répertoriées dans la documentation consultée ainsi que de ceux des auteurs du présent module.

Ainsi, les expérimentations retenues ont pour objectif général d'inciter les enseignants en exercice et en formation à prédire, à observer, à concevoir, à expliquer et à comprendre le phénomène de biomimétisme. Après une étude des activités suivantes : 1) « Amusons-nous un peu, mimons ! », 2) « De la bardane... au velcro ! », 3) « Plume et fermeture éclair », 4) « Les propriétés autonettoyantes ou l'effet lotus ? », 5) « La tôle ondulée et la coquille St-Jacques », 6) « Matériaux et procédés : un autre niveau », 7) « La chasse à l'inspiration », 8) « Un concours : *made in* biomimétisme ». Les apprenants seront en mesure d'apprécier le génie de la nature... et le vaste champ de recherche en plein développement.

En réalisant ces expérimentations qui nécessitent de mettre la main à la pâte, nous pensons que les enseignants seront capables de bâtir leurs propres séquences d'enseignement, et ce, en tenant compte du niveau de leurs élèves. C'est du moins ce que nous espérons. Les expérimentations proposées ainsi que les notions scientifiques qui s'y rattachent les aideront à trouver plusieurs éléments de réponse à des questions liées au biomimétisme faisant partie de l'environnement immédiat de leurs élèves. Voici quelques questions qui seront soulevées dans les expérimentations proposées : Qu'est-ce que le biomimétisme ? Quelles différences voyez-vous entre le camouflage et le mimétisme ? D'où vient le nom *velcro* ? Que peut représenter l'effet lotus ? Où cette propriété est-elle exploitée ? De quels autres matériaux produits dans la nature pourriez-vous vous inspirer pour améliorer les méthodes de production ou la qualité des matériaux ? Autant de questions passionnantes permettant de découvrir le biomimétisme, concept situé à l'intersection de l'écologie et du génie de l'environnement !



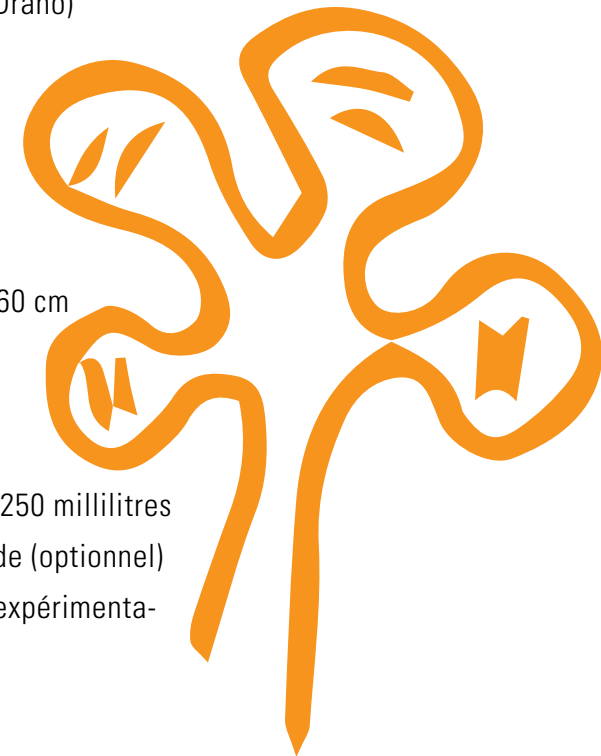
Objectifs

- Acquérir des habiletés en sciences et technologies par l'étude du biomimétisme.
- Développer sa curiosité pour les phénomènes de biomimétisme présents dans notre environnement.
- Apprendre à communiquer par écrit de façon appropriée.
- Analyser qualitativement des résultats expérimentaux.
- S'initier aux aspects historiques des sciences.
- Interpréter les relations entre la nature et la technologie/ingénierie.
- Découvrir les métiers et les professions liés au domaine du génie de l'environnement.



Matériel

- Cartons pour le jeu sur le mime
- Loupe binoculaire
- Morceau de velcro
- Fruits de plants de bardane
- Crayon à mine de plomb
- Feuilles pour dessiner
- Feuille 8 ½ × 11 de papier d'aluminium
- Feuille 8 ½ × 11 de papier ciré
- Feuille de papier absorbant de type essuie-tout
- Feuille 8 ½ × 11 de papier à imprimante
- Feuille 8 ½ × 11 de papier parchemin (sulfurisé)
- Carton rigide de 8 ½ × 11
- Feuille de chou
- Feuilles d'arbres (hêtre, chêne, etc.)
- Rapporteur d'angle (optionnel)
- Compte-gouttes
- Chronomètre
- Deux dictionnaires pour servir de support
- Une bouteille en plastique
- Marqueur imperméable
- Bécher
- Eau
- Miroir
- Rain X (bouteille jaune)
- Papier essuie-tout
- Sel de déglçage à base de chlorure de calcium (Attention, corrosif !)
- Débouche-tuyaux en cristaux (type Drano) (Attention, corrosif !)
- Gants de caoutchouc
- Balance
- Tige pour agiter
- Pierre à bulles pour aquarium
- Tube en plastique souple d'environ 60 cm
- Papier filtre ou filtre à café
- Entonnoir
- Contenant en verre d'environ 1 litre
- Contenant en verre d'environ 150 à 250 millilitres
- *Dragon Breath* ou poudre de lycopode (optionnel)
- Produits chimiques pour les autres expérimentations (optionnel)





Où trouver le matériel ?

Vous pouvez acheter tout le matériel indiqué dans la plupart des magasins du type grande surface ou ceux à bon marché. Le *Dragon Breath* peut se trouver dans les magasins pour magiciens, sinon on peut récolter en forêt la poudre de lycopode (*Lycopodium clavatum*) à l'automne. Pour la section « Expériences suggérées », il faudra se procurer le matériel dans un laboratoire de chimie.



Évaluation des conceptions initiales

1. Le mot *biomimétisme* est composé de deux racines : *bio* et *mimétisme*. Que signifient-elles selon vous ?
2. Mais au fait, qu'est-ce que le biomimétisme ? Donne un exemple.
3. Que signifie *imiter* ? Qu'est-ce que le mime ? Quelle différence avec le camouflage ?
4. Dans le biomimétisme, est-ce la nature qui imite l'Homme ou ce dernier qui tente d'imiter la nature ?
5. À première vue, quels seraient les avantages du biomimétisme ?
6. Le biomimétisme existe-t-il partout sur la planète ? Pourquoi ?



Activité 1

Amusons-nous un peu, mimons !

Expérimentation 1

Je mime, tu mimes...
nous mimons

Matériel

- Mots sous la forme de vignettes
 - Sac de type Ziploc
 - Ciseaux
 - Marqueur
- 7.** Question d'anticipation : Retournez dans votre tendre enfance pour pratiquer un jeu qui s'appelle le « mime ». Est-ce que vous vous rappelez ce jeu ?

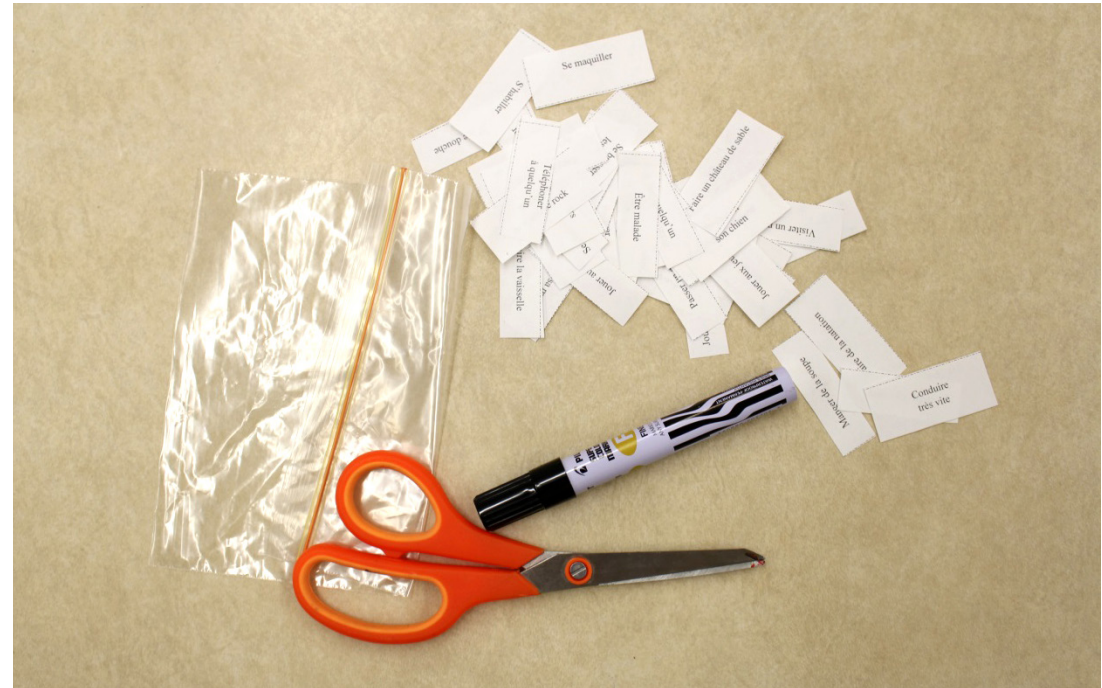


FIGURE 5.1
MATÉRIEL REQUIS

Le principe du jeu est très simple : le groupe se subdivise en plusieurs sous-groupes (quatre étudiants par groupe selon le nombre total).

Dans chaque petit groupe, une personne sera désignée pour faire deviner un maximum d'actions ou de mimes à ses coéquipiers en un temps imparti (proposition : deux minutes par personne).

L'équipe qui a trouvé le plus grand nombre de bonnes réponses remporte la victoire.

Le professeur doit découper les vignettes de la page suivante et en distribuer un certain nombre à chacun des petits groupes. D'autres vignettes, d'autres thématiques peuvent être ajoutées.



Jouer de la batterie	Écouter de la musique	Avoir peur	Acheter une banane	Conduire très vite
Visiter un musée	Se faire piquer par des moustiques	Faire ses devoirs	Promener son chien	Réparer sa moto
Lire un journal	Être malade	Se faire couper les cheveux	Marcher sur le pied de quelqu'un	Faire la vaisselle
Jouer aux jeux vidéo	Chanter de la musique rock	Faire le ménage	Manger au restaurant	Jouer aux cartes
Regarder un film	Faire la cuisine	Faire un cadeau	Faire un reportage	Balayer
Faire de la natation	Saluer quelqu'un	Faire du jogging	Faire un cauchemar	Se brosser les dents
Se promener dans la forêt	Se réveiller	Boire du thé	Téléphoner à quelqu'un	Monter un escalier
Ouvrir une fenêtre	Aller en discothèque	Jouer au tennis	Se maquiller	Être en colère
Manger de la soupe	Passer un examen	Faire des photocopies	Prendre une douche	Siffler
Se faire arracher une dent	Se faire arrêter par la police	Faire un château de sable	S'habiller	Dormir



8. À la lumière de ces explications, quelles différences voyez-vous entre le camouflage et le mimétisme ?
9. Quelles peuvent être leurs ressemblances ?
10. Fournissez des exemples d'êtres vivants usant de stratégies de camouflage et de mimétisme autres que ceux énoncés plus haut ?



Synthèse des observations

Expérimentation 1

Je mime, tu mimes... nous mimons

Cette activité avait comme objectif de vous faire découvrir l'importance du mime dans le phénomène du biomimétisme. Vous comprendrez que dans la vie, le biomimétisme est plus qu'un jeu et que l'Homme tire de nombreux avantages à s'inspirer de la nature pour développer des produits. Le mimétisme et le camouflage sont deux phénomènes importants dans la nature.

R7. Réponses variables.

R8. Le camouflage est la capacité de passer inaperçu en se fondant dans son environnement alors que le mimétisme est plutôt la ressemblance d'un individu d'une espèce avec un individu d'une autre espèce. De plus, l'évolution de l'aptitude au camouflage peut se faire très rapidement alors que le mimétisme requiert une longue évolution impliquant au moins trois espèces.

R9. Il s'agit de stratégies permettant aux individus une meilleure chance de survie. La question de la ressemblance, importante dans le mimétisme, peut aussi intervenir dans le camouflage. Certains animaux prendront l'apparence de branches, de feuilles, de pierres ou d'autres entités inanimées afin de se camoufler.

R10. Réponses variables.



Notions scientifiques

Camouflage

En écologie, il existe une différence majeure entre le mimétisme et le camouflage du point de vue de leur évolution.

Le terme *camouflage* fait référence à la faculté d'un organisme vivant à se fondre dans son environnement, notamment grâce à sa couleur (comme l'ours blanc sur la banquise) ou sa forme (comme le phasme, l'insecte-branche).

« L'aptitude au camouflage [...] peut apparaître et se développer très rapidement au sein d'une espèce par le jeu des mutations et de la sélection » ([Wikipédia](#)). L'exemple par excellence de ce phénomène est celui du phalène du bouleau (*Biston betularia*), un papillon de nuit. Il existe deux types d'individus de cette espèce, ceux de coloration foncée et les pâles. En Angleterre, aux abords des villes industrialisées et polluées, les populations étaient auparavant majoritairement constituées d'individus foncés (plus de 90 %). Ceci s'explique par la coloration sombre que prenait le tronc des arbres, noircis par la fumée de charbon et dépourvus des lichens pâles qui y auraient poussé s'ils n'avaient pas été tués par la pollution.

Thomas Fournier



FIGURE 5.2
UN EXEMPLE
DE CAMOUFLAGE

Brian Lasenby

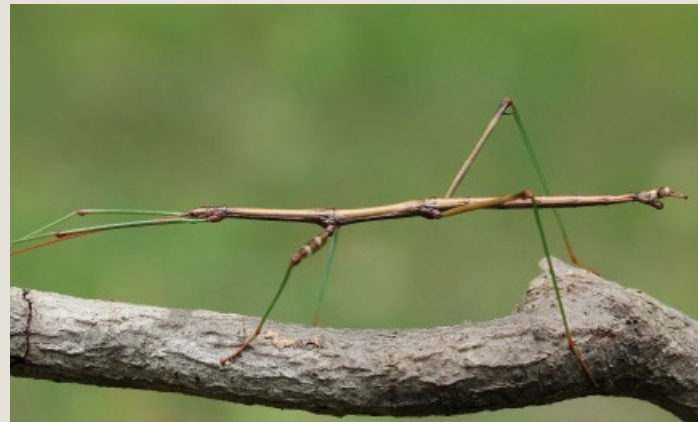


FIGURE 5.3
UN EXEMPLE
DE CAMOUFLAGE

Les phalènes sombres étaient donc mieux camouflés et pouvaient éviter les prédateurs, alors que les individus pâles devenaient des proies faciles. Lorsque les niveaux de pollution ont diminué, la tendance s'est inversée et, en 1986, les phalènes du bouleau pâles et foncés étaient également représentés dans les zones industrielles d'Angleterre.



Mimétisme

Le terme *mimétisme* fait quant à lui référence à la ressemblance d'un organisme avec un autre ce qui lui procure un avantage pour sa survie en trompant d'autres espèces. Il suppose une évolution liée d'au moins trois espèces : le modèle, le mime et le dupe.

Une espèce peut se protéger de ses prédateurs grâce au mimétisme. C'est notamment le cas du vice-roi (*Limenitis archippus*), un papillon potentiellement comestible pour les oiseaux, mais qui pourtant le fuit. En effet, ce mime profite du fait qu'il arbore les mêmes couleurs noire et orangée que son modèle, le toxique monarque (*Danaus plexippus*).

Saviez-vous que ?

Que ce soit pour les végétaux ou les animaux, la taxonomie ou classification utilise le latin comme langage scientifique (tableau ci-contre).

Ainsi, on parlera de *Canis lupus* ou de Canis lupus. *Canis* représente le genre et *lupus* l'espèce. On peut l'écrire en utilisant les caractères italiques ou en le soulignant séparément. C'est la même chose pour les végétaux comme vous serez en mesure de la constater dans le texte de ce module.

Règne	Animal
Embranchement	Cordés (Animaux ayant une notocorde)
Sous-embranchement	Vertébrés (Animaux ayant une colonne vertébrale)
Classe	Mammifères (Animaux possédant des mamelles)
Ordre	Carnivores (Animaux se nourrissant de chair)
Famille	Canidés (Chiens, renard, loups...)
Genre	Canis (Chiens, loups)
Espèce	Lupus (Loups)



Les nombreuses espèces de papillons qui portent sur leurs ailes des motifs circulaires appelés « ocelles » usent également de mimétisme. Lorsqu'ils se sentent menacés par un prédateur, ils ouvrent leurs ailes et ces ocelles, rappelant les yeux d'un animal beaucoup plus gros, surprennent suffisamment le dupe (le prédateur trompé) pour que le papillon puisse fuir.

Une entreprise s'inspire du tournesol et du phénomène d'héliotropisme

À l'ère de tous ces changements climatiques, il est plus que temps de modifier notre consommation et production d'énergie.

Chez [Sunflower Technology International](#), le souci de l'environnement est primordial. C'est pourquoi ils ont développé un produit permettant d'optimiser les gains d'énergie en positionnant avec précision les panneaux solaires.

Inspirés par des principes fondamentaux de la nature, les créateurs de Sunflower ont redéfini les normes dans le développement d'énergie verte et durable par le biais d'une technologie performante et accessible à tous.

Héliotropisme

L'héliotropisme ou phénomène d'attraction vers le Soleil est, en botanique, un mouvement diurne d'une partie de la plante (fleur, feuille, tige) en réponse au changement de direction du Soleil. Le plant de tournesol en est un bel exemple.

Pour en connaître davantage sur le phénomène de biomimétisme

Cette activité avait comme objectif de vous faire découvrir un champ de recherche scientifique relativement nouveau et un phénomène complexe, soit le biomimétisme. Vous avez vite compris que *bio* signifie « vivant » alors que le mimétisme est une stratégie adaptative d'imitation.

Les solutions aux plus grands défis technologiques de l'humanité ont déjà été trouvées. Les plantes et les animaux fournissent des modèles parfaits pour les ingénieurs¹.



FIGURE 5.4
JANINE M. BENYUS, LA DAME
À L'ORIGINE DU BIOMIMÉTISME

Biomimicry 3.8

1 Benyus, J. (2009). *Québec Science*, mai, p. 26.



La Nature fut probablement la première source d'inspiration pour l'Humain lorsqu'est venu le temps de résoudre des problèmes. En observant les êtres vivants qui les entouraient, nos lointains ancêtres ont certainement trouvé nombre de solutions applicables à eux-mêmes. Chronologiquement plus près de nous, Roger Bacon (1214-1294) et Léonard de Vinci (1452-1519) regardaient les oiseaux dans le ciel en imaginant des machines volantes battant des ailes.

Si le terme *biomimétisme* est apparu dans les années 1950, inventé par Otto Schmitt (1913-1998), un homme qui s'est notamment inspiré de la transmission des influx nerveux pour concevoir des circuits électriques, le concept est demeuré longtemps flou dans le monde scientifique. Au courant des années 1990, il a toutefois été clarifié et, depuis, une Américaine fait office de figure de proue dans la promotion de cette approche.

Janine M. Benyus, née au New Jersey en 1958, est une scientifique, consultante et auteure connue internationalement pour ses travaux sur le biomimétisme et son acharnement à en promouvoir l'étude.

Avec la biologiste Dayna Baumeister, Janine Benyus a cofondé en 1998 la Biomimicry Guild, une société de consultants spécialisée dans le service-conseil aux entreprises intéressées par l'intégration du biomimétisme dans le développement de leurs produits. En 2006, Benyus, Baumeister et Bryony Schwan créaient le Biomimicry Institute,

un organisme sans but lucratif voué à l'éducation relative au biomimétisme, au partage des savoirs et à la mise en relation de différents acteurs comme les scientifiques, les ingénieurs et les architectes. Ces deux organisations ont depuis été fusionnées en une seule entité présidée par Janine Benyus, le Biomimicry Institute 3.8. Dans ce nom, les chiffres 3.8 rappellent le numéro que portent les différentes versions améliorées d'un programme informatique, mais font aussi référence aux 3,8 milliards d'années d'évolution depuis que la vie est apparue sur Terre.

Janine Benyus a d'ailleurs fait son credo du fait de tirer parti de l'histoire évolutive du Vivant pour soutenir l'innovation technologique. Elle affirme que, peu importe le problème ou le défi de conception que nous cherchions à résoudre, au moins une espèce parmi les millions qui peuplent ou ont peuplé la Terre l'a déjà résolu ou relevé avec brio. Ce sont donc de ces succès de la Nature dont nous pouvons nous inspirer, ce qui nécessite selon Janine Benyus de développer une nouvelle façon d'aborder le monde qui nous entoure.

De plus, la Nature étant l'environnement, les solutions qui en sont issues produisent généralement un faible impact environnemental, voire un impact nul ou positif. Le biomimétisme s'inscrit donc dans une démarche de développement durable, en proposant des innovations aux coûts énergétiques moindres et aux rejets moins abondants et moins toxiques.



Janine Benyus détaille trois niveaux de biomimétisme, selon la « profondeur » de la source d'inspiration. Moins l'inspiration est en surface, plus le résultat s'inscrit dans une démarche de développement durable. Ces trois niveaux concernent les :

- formes qu'adoptent les êtres vivants ;
- matériaux dont sont composés les êtres vivants et les processus biologiques par lesquels ils les fabriquent ;
- interactions entre les différents êtres vivants d'un même milieu et le fonctionnement des écosystèmes.

Pour un résumé du biomimétisme et des exemples concrets d'innovations correspondant à chaque niveau, nous vous invitons à consulter la vidéo de Gauthier Chapelle, un des hommes à l'origine de [Biomimicry Europa](#), une association vouée à la promotion du biomimétisme en Europe.

Un institut sur le biomimétisme est en développement actuellement au Québec : [Institut Biomimétisme Québec](#).



Activité 2

De la bardane... au velcro !

Expérimentation 2

Agrippez-vous
à vos binoculaires !

Matériel

- Loupe binoculaire
- Morceaux de velcro
- Bardane
- Paire de gants
- Feuille pour dessiner
- Crayon à mine de plomb

Thomas Fournier



FIGURE 5.5
MATÉRIEL
REQUIS

Thomas Fournier



FIGURE 5.6
DU VELCRO
OU DES BANDES
AUTOAGRIPPANTES



11. Question d'anticipation : Grâce à l'Activité 1, vous avez pu constater que le biomimétisme est une sorte de principe voulant que l'Homme s'inspire de la nature pour inventer ou développer des applications pour répondre à des besoins particuliers. Connaissez-vous l'histoire du velcro ?

12. D'où vient le nom *velcro* selon vous ?

Le terme *velcro* est utilisé pour désigner un matériau textile servant de système d'attache (parfois également appelé « bande autoagrippante ») inventé par Georges de Mestral, un ingénieur suisse. Ce matériau est constitué de deux bandes recouvertes chacune d'une texture différente, permettant la formation d'une liaison réversible simplement en les mettant en contact. Velcro était à l'origine une marque déposée possédée par la société Velcro ; le terme *velcro* est toutefois passé dans le langage courant.

L'inventeur du velcro

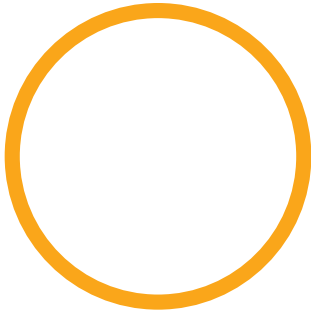
L'idée de la bande autoagrippante a germé dans l'esprit de Georges de Mestral en 1941. À la suite d'une promenade à la campagne, il remarqua qu'il était difficile d'enlever les fleurs de bardane accrochées à son pantalon et à la fourrure de son chien. Après les avoir examinés au microscope, il découvrit la source des propriétés fortement agrippantes de la bardane. Il songea à la possibilité de faire adhérer deux matériaux de façon simple et réversible grâce à ce principe et développa rapidement la bande autoagrippante, qu'il fit breveter en 1951. De nos jours, les applications de ce système sont très nombreuses et le mot *velcro* est devenu un terme générique pour tous les types de bande autoagrippante.



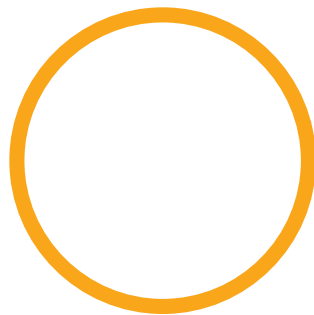
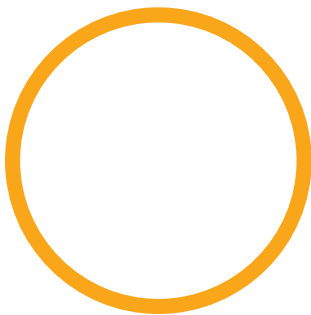
FIGURE 5.7
GEORGES DE MAESTRAL,
L'HOMME À L'ORIGINE
DES BANDES AUTOGRIPPANTES



- 13.** En utilisant des gants, prenez un fruit de la plante appelée « bardane » (nom commun) dont le nom scientifique est *Arctium lappa*. Observez-le avec une loupe binoculaire et dessinez-le. Que remarquez-vous ?



- 14.** Observez ensuite avec la loupe binoculaire les deux parties d'une bande de velcro. Dessinez ce que vous voyez. Que remarquez-vous ?



Thomas Fournier

- 15.** À partir de vos observations, expliquez le principe de fonctionnement du « velcro ».

FIGURE 5.8
LE FRUIT DE
LA BARDANE



Des applications multiples

La bande autoagrippante présente de nombreux avantages : elle est peu coûteuse, facile d'utilisation, ne nécessite aucun entretien et ne présente aucun danger. Elle est utilisée dans à peu près tous les cas où une accroche temporaire est nécessaire. Son utilisation est par conséquent largement répandue, notamment dans le domaine du vêtement et des chaussures.

Outre l'habillement, le domaine de l'équipement sportif utilise abondamment la bande autoagrippante. Le monde de la santé également, entre autres pour fermer des orthèses de toutes sortes, mais aussi dans l'univers de l'ergothérapie. En effet, la facilité d'utilisation et la solidité du velcro répondent aux besoins de certains types de personnes dont l'autonomie est compromise, notamment les gens aux mains déformées par l'arthrite ou encore les paraplégiques.

Le velcro est même suffisamment solide pour être utilisé sur les plateaux d'outils rotatifs comme des ponceuses ou des meuleuses pour y fixer les disques abrasifs. Qui plus est, la NASA en fait abondamment usage, que ce soit dans l'arrimage de toutes sortes d'objets en apesanteur à l'intérieur des navettes ou la fermeture de pièces d'équipements de spationautes.



Thomas Fournier

FIGURE 5.9
LES CROCHETS DE
LA BARDANE OU
ARCTIUM LAPPA

Des attaches en acier inoxydable sont utilisées dans l'industrie automobile pour accrocher des pièces comme les pare-chocs. Plutôt que de provoquer un décrochement, les vibrations de la voiture maintiennent en fait l'attache ou « accroche » (chaque crochet se détachant est censé se rattacher grâce au mouvement aléatoire qu'il subit).

- 16.** Trouvez d'autres applications possibles dans l'utilisation des bandes velcro.



Synthèse des observations

Expérimentation 2

Agrippez-vous à vos binoculaires !

Cette activité avait comme objectif de découvrir une première application du phénomène de biomimétisme, soit l'invention du velcro à partir d'une plante qui s'appelle la « bardane ».

R11. Réponses variables.

R12. De Mestral. Il nomma son invention *velcro* qui est l'acronyme de la combinaison des termes *velour* et *crochet*.

R13. L'extrémité des bractées (les « piquants » de la fleur) est recourbée à la manière d'un hameçon.

R14. La partie douce de la bande autoagrippante est composée d'une multitude de fils formant des boucles. La partie rugueuse est quant à elle constituée de crochets.

R15. La bande autoagrippante est constituée de deux couches : une couche « crochet » qui est faite de petits crochets en plastique de type « hameçons », et une couche « velours » couverte de petites boucles en plastique. Quand les deux faces sont pressées l'une contre l'autre, les crochets agrippent les boucles et maintiennent les deux couches ensemble. Lorsqu'on tire dessus, les liens se décrochent puis reprennent leur position initiale, leur permettant ainsi de remplir à nouveau leur rôle.

R16. Réponses variables (des rideaux fixés à une tringle, par exemple).



Notions scientifiques

Bardane

Le terme *bardane* désigne les membres du genre *Arctium*, des plantes herbacées mesurant de 50 à 300 centimètres présentes en Amérique du Nord, en Europe, en Afrique du Nord et en Asie. Le nom *Arctium* provient du grec *arktion* (signifiant « ours »), référence à l'apparence hirsute des fleurs de ces plantes. La capacité de s'agripper permet aux fleurs de la bardane d'être transportées par les animaux et d'être dispersées sur de grandes distances, un phénomène appelé « zoochorie ».



Activité 3

Plume et fermeture éclair

Expérimentation 3

Si la plume avait inspiré l'inventeur de la fermeture éclair ?

Matériel

- Loupe binoculaire
- Plume d'oiseau
- Fermeture éclair

Avant d'expérimenter, faisons un petit retour dans le temps. En 1851, Elias Howe, qui avait déjà mis au point une machine à coudre, dépose un brevet pour un système de « fermeture continue et automatique pour vêtements ». Mais il ne donne pas suite à son invention. Ce n'est que quarante ans plus tard, en 1893, que l'inventeur Whitcomb



Thomas Fournier

FIGURE 5.10
GROS PLAN
SUR LE SYSTÈME
D'UNE FERMETURE
ÉCLAIR

Judson dépose un brevet pour une invention similaire à celle de Howe. Il fonde son entreprise, la Universal Fastener Company, et commercialise la première fermeture éclair. Mais l'invention de Judson n'est pas très fiable et ne remporte pas le succès escompté. Il faut attendre 1913 pour que Gideon Sundback, un ingénieur suédois employé par la firme, améliore le système. Les ventes décollent alors et la fermeture éclair investit le quotidien des gens.



- 17.** Question d'anticipation : Si le lien entre velcro et bardane a été démontré par De Mestral dans l'Activité 2, il semble que, pour la prochaine activité, le lien entre la constitution d'une plume d'oiseau et l'invention de la fermeture éclair ne soit pas officiel. N'avez-vous jamais porté une attention particulière à une invention qui semble aussi banale qu'une fermeture éclair ? Pouvez-vous en expliquer le fonctionnement ?

Le principe du *zipper*

La fermeture éclair, dont la dénomination exacte est *fermeture à glissière* ou *fermeture à crémail- lère*, est un système mécanique d'ouverture et de fermeture à l'aide de dents d'engrenage.

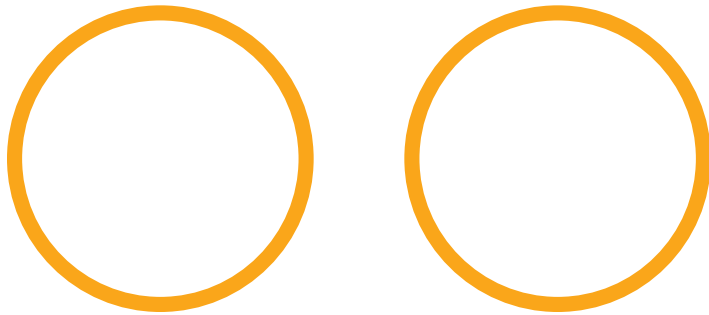
Cet ingénieux système, plus pratique et rapide que le boutonnage, se compose de deux bandes de tissu présentant des dents en plastique ou en métal.

Ces dents, placées face à face de manière décalée, s'emboîtent les unes dans les autres au passage d'une navette. Lorsque l'on fait glisser la navette dans le sens inverse, les dents se séparent et le système s'ouvre.



Tout comme De Mestral l'a fait en observant un élément de la nature, croyez-vous que l'inventeur de la fermeture éclair ait pu s'inspirer de la plume d'oiseau pour développer ce système si ingénieux? En observant une plume et une fermeture éclair avec une loupe binoculaire, que remarquez-vous?

18. Dessinez ce que vous voyez à l'aide de la loupe binoculaire.



Thomas Fournier

FIGURE 5.11
UNE PLUME SOUS
TOUS SES ANGLES



Synthèse des observations

Expérimentation 3

Si la plume avait
inspiré l'inventeur
de la fermeture éclair ?

Cette activité avait pour but de vous faire découvrir une autre invention pouvant avoir été inspirée par la nature, soit la plume de l'oiseau. À notre connaissance, nous ne savons pas si l'inventeur a réellement pris exemple de la plume, mais il reste qu'*a posteriori*, des liens peuvent être tissés entre la plume et la fermeture éclair.

R17. Réponses variables.

R18. Réponses variables. Il faut s'assurer de bien distinguer la fermeture éclair et la plume.



Notions scientifiques

Fermeture éclair

La fermeture éclair, dont la dénomination exacte est *fermeture à glissière* ou *fermeture à crémail- lère*, est un système mécanique d'ouverture et de fermeture à l'aide de dents d'engrenage.

Plume

Caractéristique de la classe des oiseaux, la plume est une production tégumentaire complexe constituée de β -kératine.

L'ensemble des plumes, généralement plusieurs milliers, forme le plumage, dont les fonctions sont de protéger le corps de l'oiseau du milieu ambiant, notamment contre l'eau et le froid, de permettre le vol, de le camoufler. Mais il a aussi une fonction sociale et reproductive.

L'observation d'une plume ou du plumage peut permettre de déterminer l'espèce, le sexe, l'âge ou la santé d'un oiseau.

Une plume se compose d'un axe central, creux à sa base, le *calamus* qui naît dans l'épiderme, et plein dans sa partie principale, le rachis.

Le rachis porte des « barbes », insérées en deux séries de part et d'autre de l'axe dans un seul plan, et enchevêtrées par des « barbules » perpendiculaires qui sont dotées d'innombrables crochets minuscules. L'ensemble des barbes situées du même côté du rachis est appelé « vexille ». Le vexille externe (visible quand l'aile est repliée) est souvent plus étroit que l'interne.



Activité 4

Les propriétés autonettoyantes ou l'effet lotus ?

Expérimentation 4

L'effet lotus

Matériel

- Feuille d'aluminium
- Papier ciré
- Papier absorbant
- Papier à imprimante
- Carton
- Papier parchemin
- Rapporteur d'angle
- Compte-gouttes
- Miroir ou morceau de verre
- Rain X
- Livres ou autres supports



- 19.** Question d'anticipation : Que connaissez-vous des propriétés de certains végétaux, de certaines plantes ?

FIGURE 5.12
MATÉRIEL
REQUIS



Dans le langage courant, le vocable *lotus* peut correspondre à un nom de restaurant, à une variété de plantes ou à une marque de voitures. Dans le contexte du biomimétisme, ces deux derniers attirent particulièrement notre attention.

Saviez-vous que le lotus est une plante aux propriétés autonettoyantes ?

20. Que signifie *autonettoyant* ? Connaissez-vous des appareils aux propriétés autonettoyantes ?



Thomas Fournier

FIGURE 5.13
UNE FLEUR
DE LOTUS



L'effet lotus est un phénomène d'antiadhérence et de répulsion de l'eau. Une surface présentant l'effet lotus doit cette caractéristique à une rugosité à l'échelle nanométrique. Son nom provient d'une plante des climats chauds et humides, le lotus (*Nelumbo sp.*), dont les feuilles ont la capacité de faire perler l'eau. D'autres plantes, comme les capucines (*Tropaeolum*), le chou (*Brassica*), le roseau (*Phragmites*), le taro (*Colocasia*) ou l'ancolie (*Aquilegia*), des animaux comme le canard et certains lézards et de nombreux insectes, montrent la même propriété.

Une surface présentant l'effet lotus se voit devenir autonettoyante. En circulant plutôt qu'en s'étalant, les gouttes d'eau attrapent les poussières et autres impuretés pour les retirer de la surface concernée. Le phénomène lui-même est connu depuis des millénaires : en Asie, à cause de sa perpétuelle propreté, le lotus est symbole de pureté et de perfection. Il aura néanmoins fallu attendre les années 1970 et l'avènement du microscope électronique pour que soit percé le secret de l'effet lotus, et son application en biomimétisme survint une vingtaine d'années plus tard.

21. Expliquez ce que peut représenter l'effet lotus.

22. Pourquoi certains végétaux possèdent-ils ces propriétés et d'autres pas ?



Le principe

En raison de la tension superficielle, les gouttes d'eau tendent à diminuer leur surface et à adopter la forme ayant l'aire la plus petite possible, la sphère. Lorsqu'elles touchent une surface, la cohésion entre cette surface et les molécules de la goutte font que la goutte cherchera à s'étaler. Selon la texture de la surface et la tension superficielle du liquide, qui n'est pas la même pour chaque liquide, l'étalement sera plus ou moins grand.

Pour le lotus, la structure fine de ses feuilles et son revêtement concourent plutôt à y faire perler l'eau. L'épiderme de la feuille, sa couche de cellules la plus externe, présente des papilles, de petits renflements de quelques microns. De plus, l'épiderme est recouvert d'une cire, un matériau qui par ses caractéristiques chimiques a la propriété de repousser l'eau.

De cette façon, l'eau ne peut plus parvenir jusque dans les interstices de la surface de la feuille, ce qui a pour conséquence que les points de contact entre l'eau et la surface de la feuille sont réduits de façon drastique. La goutte, à l'image d'un fakir sur un tapis de clous, repose seulement sur le sommet des papilles. En se déplaçant sur la surface de la feuille, elle « gomme » les poussières et autres particules, la laissant propre après son passage. Cette action confère la propriété autonettoyante à la feuille de lotus.

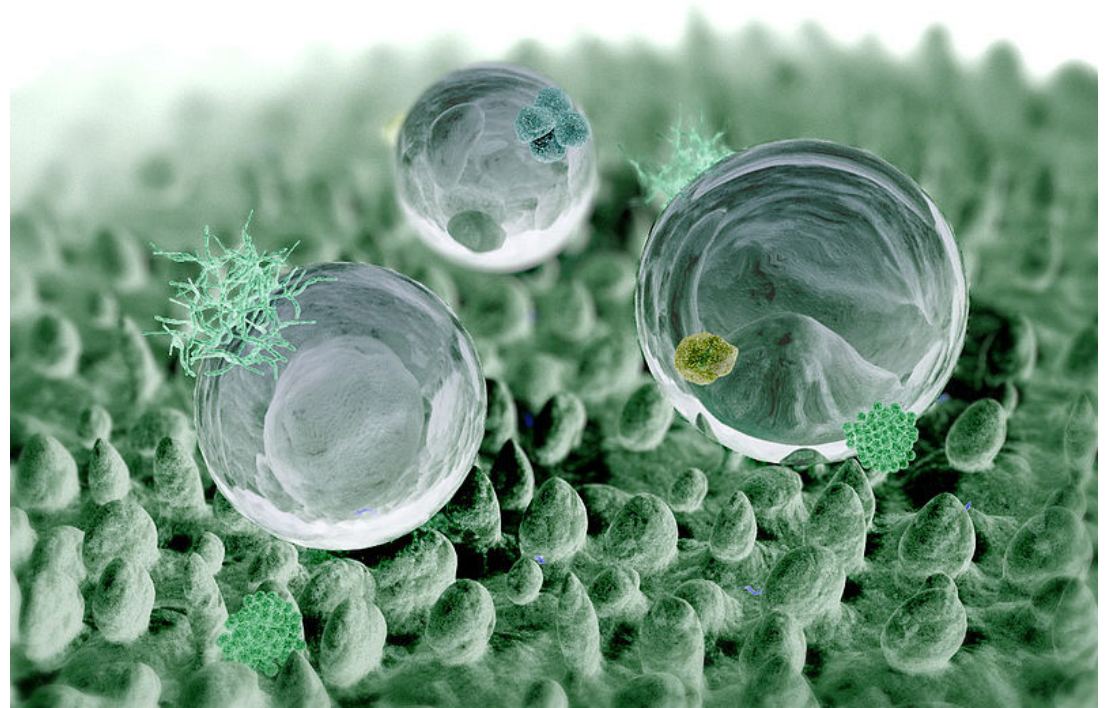


FIGURE 5.14
IMAGE DE L'EFFET
LOTUS GÉNÉRÉE PAR
ORDINATEUR AVEC
DES GOUTTES D'EAU
REPOSANT SUR LES
MICROSTRUCTURES



Le mouillage d'un matériau dépend de l'angle de contact entre la surface de ce dernier et une goutte d'eau s'y déposant. Lorsque l'angle est inférieur à 90° , le matériau est dit « hydrophile » (littéralement « qui aime l'eau »), alors qu'il sera qualifié d'hydrophobe lorsque cet angle excédera 90° (figures A et B). À partir d'un angle de 160° , il sera plutôt question de superhydrophobie. Pour un tel angle, seulement 2 à 3 % de la surface de la goutte demeurent en contact avec la surface. À titre d'exemple, une goutte d'eau à la surface d'une feuille de lotus peut former un angle de plus de 170° , et une goutte qui aurait un angle de 180° serait parfaitement sphérique et toucherait la structure sous elle en un seul point.

L'émission *Découverte*, diffusée sur les ondes de Radio-Canada, a présenté un reportage sur l'effet lotus, accessible sur le [site](#) du réseau.

Pour aller plus loin

Pour en connaître davantage sur le phénomène de la superhydrophobie, vous pouvez consulter le [vidéo](#) du Conseil national de recherche scientifique français.

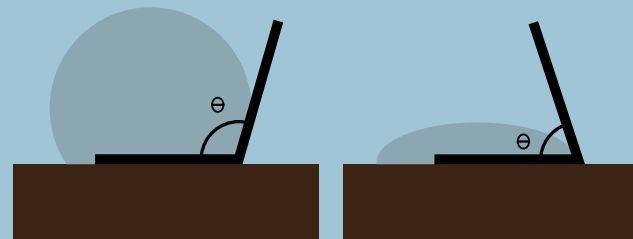


FIGURE A
UNE GOUTTE D'EAU
SUR UNE SURFACE
HYDROPHOBE

FIGURE B
UNE GOUTTE D'EAU
SUR UNE SURFACE
HYDROPHILE

Différence entre une surface de verre normale et une surface de verre hydrophobe

L'origine de l'autonettoyage réside dans une double structure hydrophobe (c'est-à-dire qui n'absorbe pas l'eau) de la surface. Grâce à celle-ci, la surface de contact, et avec elle la force d'adhérence entre la surface et l'eau ou particules de saleté est si réduite que cela aboutit à un autonettoyage.



Synthèse des observations

Expérimentation 4

L'effet lotus

Au terme de cette activité, vous comprenez que notre but était de découvrir les propriétés autonettoyantes de certains végétaux dont le lotus, d'où l'appellation *effet lotus*. Vous avez vite constaté que le potentiel commercial de ces propriétés autonettoyantes est immense.

R19. Réponses variables.

R20. Réponses variables.

R21. Tout dépend des matériaux dont sont recouverts les feuilles des végétaux, de même que de la micro- ou nanostructure de leur surface. Certains végétaux voient leurs feuilles être recouvertes d'une cire qui repousse l'eau, ou encore présenter des papilles à leur surface qui réduisent la taille des points de contact et empêchent l'étalement des gouttes. D'autres espèces présentent des caractéristiques plutôt hydrophiles, comme la violette africaine (*Saintpaulia ionantha*), bien connue des amateurs de plantes d'intérieur. La présence de poils sur les feuilles provoque plutôt une rétention de l'eau; ainsi, il est recommandé de ne pas en arroser les feuilles, au risque de les voir pourrir.

R22. Certains végétaux possèdent des propriétés caractéristiques comme celle des surfaces imperméables.



Expérimentation 5

Comme sur le dos
d'un canard

Matériel

- Rapporteur d'angle
- Carton
- Compte-gouttes
- Livres ou autres supports

En prenant appui sur un objet quelconque, inclinez six morceaux de papier ou carton 8×11 selon un angle de 30 et 60 degrés. Déposez, sur chacun d'eux à l'aide d'un compte-gouttes, une goutte d'eau. Que remarquez-vous ?



Thomas Fournier



Thomas Fournier

FIGURE 5.15
MATÉRIEL
REQUIS

FIGURE 5.16
GOUTTE D'EAU
GLISSANT
SUR UN PAPIER
SULFURISÉ
OU PARCHEMIN



23. Complétez le tableau ci-dessous.

Matériaux	30°	60°
Feuille d'aluminium		
Papier ciré		
Papier absorbant (essuie-tout)		
Papier à imprimante		
Carton		
Papier parchemin (sulfuré)		



Des applications

Il semblerait que le premier produit utilisant véritablement l'effet lotus à avoir été commercialisé est une peinture autonettoyante. Elle permet aux façades des bâtiments de demeurer exemptes de saletés. Des centaines de milliers d'immeubles auraient déjà été peints à l'aide de cette peinture.

Différents types de verre autonettoyant ont aussi été développés, utilisés entre autres pour fabriquer des fenêtres ou encore des lentilles pour des appareils optiques. Les technologies allient généralement une surface rugueuse (à l'échelle nano- ou micrométrique) à un enduit hydrophobe, exactement comme les feuilles de lotus.

L'entreprise du textile cherche aussi à intégrer les propriétés autonettoyantes de l'effet lotus à la production de tissu.

À l'instar du phénomène de l'écoblanchiment, opération de relations publiques visant à convaincre les consommateurs de la valeur écoresponsable ou écologique d'une entreprise ou d'un produit, l'effet lotus fait parfois les frais de marketing trompeur. En effet, de nombreux produits qui se targuent de reproduire ses effets autonettoyants ne sont en fait que de simples substances hydrophobes. Le Rain-X en serait-il un exemple ? La question demeure.



Synthèse des observations

Expérimentation 5

Comme sur le dos
d'un canard

R23. La goutte d'eau a descendu beaucoup plus vite sur la feuille de chou (*Brassica oleracea*), que sur la feuille de bette à carde (*Beta vulgaris*) et sur la feuille de chêne à gros fruit (*Quercus macrocarpa*). On constate aussi que la goutte est demeurée plutôt sphérique sur la feuille de chou, mais qu'elle s'est étalée sur les feuilles de bette à carde et de chêne à gros fruit. Voyez les résultats dans le tableau ci-contre.

Matériaux	30°	60°
Feuille d'aluminium	Goutte s'étend et coule	Goutte s'étend et coule
Papier ciré	Goutte sphérique Descend très vite	Goutte très sphérique Descend très vite
Papier absorbant (essuie-tout)	Goutte absorbée immédiatement	Goutte absorbée immédiatement
Papier à imprimante	Goutte s'étend et est absorbée	Goutte s'étend, coule 10 cm puis s'arrête
Carton	Goutte s'étend et est absorbée	Goutte s'étend, est absorbée
Papier parchemin	Goutte reste sphérique Descend très vite	Goutte reste sphérique Descend très vite



Expérimentation 6

La course des gouttes d'eau

Matériel

- Chou
 - Autres végétaux de votre choix (ou faire avec des feuilles d'arbre, dont la feuille de hêtre et de chêne)
 - Compte-gouttes
 - Chronomètre
- 24.** Sur une feuille de chou et deux autres végétaux de votre choix (ou ceux proposés ici), déposez des gouttes d'eau et chronométrez le temps nécessaire pour dévaler la pente de 45 degrés par exemple et d'une longueur de 10 cm. Que remarquez-vous ?



FIGURE 5.17
MATÉRIEL
REQUIS



25. Complétez le tableau suivant (avec ces végétaux ou ceux de ton choix).

Matériaux	10 cm
Chou	
Bette à carde	
Chêne à gros fruits	

26. Expliquez, à partir de la tension superficielle, pourquoi la goutte d'eau sur la feuille de chou ou de hêtre devrait gagner la course?

Voir aussi le site [Le biomimétisme](#) pour d'autres explications.



Synthèse des observations

Expérimentation 6

La course des gouttes d'eau

R24. Il semble y avoir une couche de cire à la surface du chou le rendant hydrophobe et améliorant la tension superficielle.

R25.

Matériaux	10 cm
Chou	Descente rapide (environ 1 seconde), la goutte conserve sa forme sphérique
Bette à cardé	Descente lente (environ 5 secondes), la goutte s'étale sur la feuille
Chêne à gros fruits	La goutte ne descend pas les 10 cm, elle s'étale sur la feuille

R26. Les feuilles de chou et de hêtre sont toutes les deux revêtues d'une cire dite épicuticulaire (« au-dessus de la cuticule ») qui leur confère des propriétés hydrophobes. Par conséquent, les gouttes d'eau s'étalent moins à leur surface et se déplacent donc plus vite.



Notions scientifiques

Hydrophobe

Le mot *hydrophobie* est composé de deux racines, *hydro*, qui signifie «eau», et *phobie*, qui signifie «peur». En sciences, l'hydrophobie se définit comme la propriété de fuir l'eau.

Microscopique

Le mot *microscopique* vient de *micro* («petit») et *scopique* («observer»).

Nanoscopique

Le mot *nanoscopique* vient de *nano* («très petit») et *scopique* («observer»). Ainsi, nanoscopique est plus petit que microscopique.

La tension *superficielle*

La tension superficielle est un phénomène d'augmentation de l'énergie à la surface d'un fluide et qui en augmente localement la cohésion. Cet effet permet à certains insectes (patineurs) de marcher sur l'eau, à un objet léger de se maintenir à la surface d'un liquide, à la rosée de ne pas s'étaler sur les pétales de fleurs, par exemple.

Cette propriété est particulièrement intéressante dans la protection d'une voiture. Ci-dessous, une voiture de marque Lotus.



La revue automobile

FIGURE 5.18
UNE LUXUEUSE
VOITURE DE
MARQUE
LOTUS



Activité 5

La tôle ondulée et la coquille St-Jacques

Expérimentation 7

Après la coquille St-Jacques

Matériel

- Deux blocs ou deux dictionnaires
- 1 feuille $8\frac{1}{2} \times 11$ ou un carton de même dimension
- 1 bouteille de plastique contenant entre 300 et 600 millilitres

- 27.** Question d'anticipation : Avez-vous déjà constaté qu'une feuille de papier placée entre deux bureaux va tomber ?

Thomas Fournier

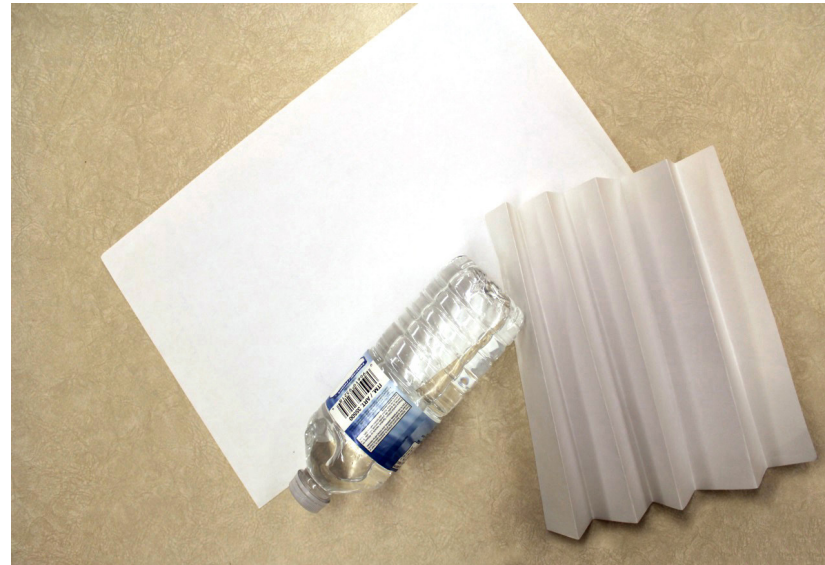


FIGURE 5.19
MATÉRIEL
REQUIS

Thomas Fournier



FIGURE 5.20
UNE COQUILLE
ST-JACQUES

Thomas Fournier



FIGURE 5.21
BORDURE ONDULÉE
D'UNE COQUILLE
POUR UN MAXIMUM
DE RÉSISTANCE



Après avoir disposé une feuille (ou un carton) entre deux dictionnaires, placez-y la bouteille contenant un volume V d'eau.

Placez ensuite la bouteille contenant le même volume V d'eau sur une feuille ondulée (ou un carton ondulé).

Dans les deux cas, mesurez avec le chronomètre le temps maximal avant que la bouteille ne tombe.

Dans l'espace ci-contre, construisez un tableau dans lequel vous consignerez vos résultats.

28. Et si vous deviez plier cette même feuille en accordéon, que constateriez-vous alors ?

29. Quels sont les avantages pour une coquille St-Jacques de voir son pourtour replié ?

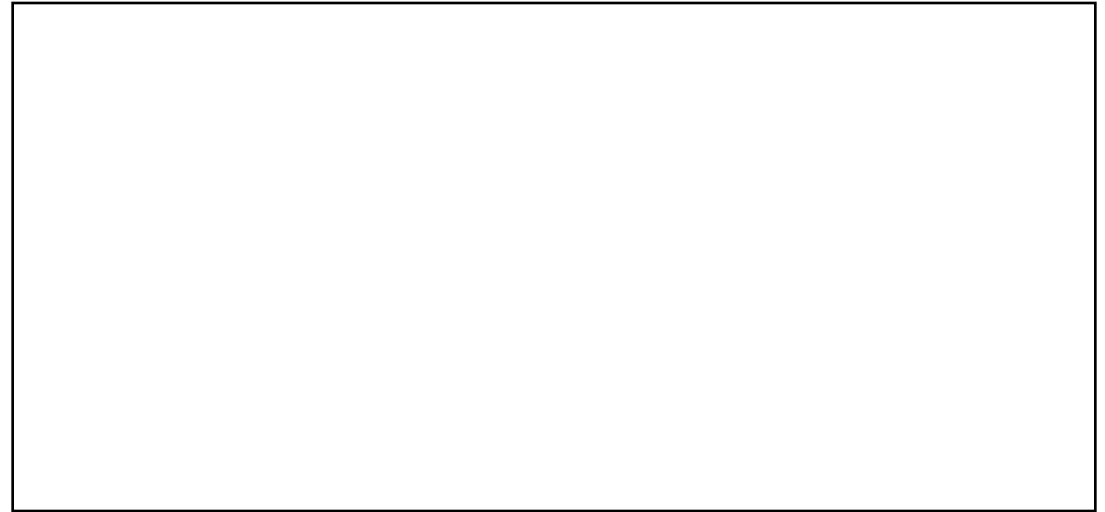
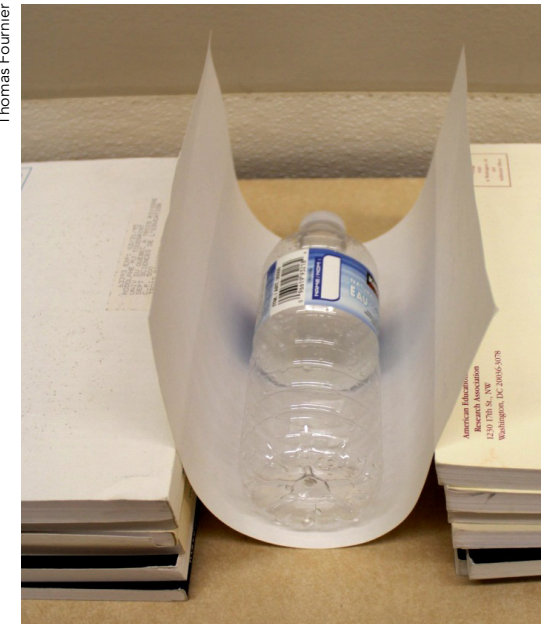


FIGURE 5.22
LA BOUTEILLE
SUR UN PAPIER
ONDULÉ OU ACCORDÉON
AVEC UN VOLUME V



Thomas Fournier

FIGURE 5.23
LA BOUTEILLE
SUR UN PAPIER
AVEC UN VOLUME V



Thomas Fournier



- 30.** Trouvez des applications dans votre environnement où cette propriété est exploitée.
- 31.** Inventez un laboratoire ou une activité qui permettrait de tester les propriétés des cartons ondulés. Dessinez au besoin.



FIGURE 5.24
UN CARTON ONDULÉ...
POUR UN MAXIMUM
DE RÉSISTANCE



Synthèse des observations

Expérimentation 7

Après la coquille St-Jacques

Cette activité avait pour but de vous faire découvrir les avantages de l'ondulation pour du papier, du carton ou de l'aluminium, etc. L'Homme s'est probablement inspiré de la coquille St-Jacques ou d'autres organismes vivants pour exploiter cette propriété rendant les matériaux « plus forts ».

R27. Réponses variables.

R28. Le fait de plier une feuille ou un carton en accordéon lui confère de la rigidité, c'est-à-dire une résistance à la déformation.

R29. Le pourtour de la coquille est alors moins friable et plus résistant.

R30. L'intérieur de plusieurs boîtes de cartons d'emballage exploite cette propriété. Les toits en tôle ondulée peuvent supporter une charge plus importante que s'ils avaient été conçus en tôle plate. Même le gourmand peut prélever une plus grande quantité de trempette avec une croustille ondulée qu'avec une croustille régulière.

R31. Réponses variables. Expérience possible dans le but de démontrer l'efficacité de l'ondulation de la coquille St-Jacques. Cela a notamment inspiré les toits en tôle ondulée.



Notions scientifiques

Force

Une force est une action exercée sur un objet et qui crée une accélération chez ce dernier ou en modifie le mouvement. Au moins deux forces sont nécessaires pour déformer un objet.

Principe de l'ondulation

L'ondulation du matériau le rend plus rigide, plus résistant.

Dans le cas de la feuille non ondulée, la gravité attirant la bouteille vers le sol fait que cette dernière applique une force sur la feuille. Cette force est suffisante pour déformer la feuille (l'autre force étant celle des dictionnaires la retenant).

Dans le cas de la feuille ondulée, la force appliquée par la bouteille est répartie le long des ondulations. La feuille est ainsi beaucoup plus difficile à déformer.

Testez avec vos sens ! Remplacez les dictionnaires par vos mains et vous sentirez la pression exercée par la bouteille.



Activité 6

Matériaux et procédés : un autre niveau

Préambule

La recherche scientifique et l'histoire des sciences regorgent d'exemples de matériaux et de procédés de fabrication dont l'idée a germé par l'observation de la nature. Par exemple, les chercheurs travaillent depuis des décennies sur les fils d'araignée. Ils ont d'abord été intéressés par leur grande résistance et leur légèreté, et ils cherchent d'ailleurs toujours à en percer le secret. De plus, contrairement aux moutons dont on peut faire l'élevage en masse pour ensuite les tondre et en récolter la laine, les araignées, lorsqu'élevées en captivité, ont une fâcheuse tendance à... s'entredévorer ! Les milieux scientifiques cherchent donc à comprendre COMMENT l'araignée produit ses soies, de manière à pouvoir fabriquer à grande échelle des soies d'araignée artificielles ou un matériau s'y apparentant. Ce champ d'études est d'ailleurs toujours en effervescence, les scientifiques cherchant à utiliser ces fibres autant



Mikhail Starodubov

FIGURE 5.25
UNE ARAIGNÉE
DU GENRE NEPHILA,
L'UNE DES PLUS
ÉTUDIÉES

Pour en apprendre davantage sur les soies d'araignées, consultez [Les secrets de Nephila](#), un reportage présenté à l'émission *Découverte* sur les ondes de Radio-Canada et [Spidersilk](#), un site de vulgarisation créé par trois lycéennes françaises avec l'aide de chercheurs.

pour leurs propriétés mécaniques (résistance, élasticité, légèreté) que pour leurs propriétés chimiques (biodégradabilité), optiques (capacité à transmettre la lumière ; production de fibres optiques biologiques) et biologiques (biocompatibilité, sans rejet par le corps humain ; utilisation dans des prothèses et autres implants médicaux). (Voir entre autres les travaux de Michel Pézolet de l'Université Laval et d'Isabelle Marcotte de l'UQAM.)



Biographie de Réaumur

Un autre exemple d'imitation des matériaux et des procédés de la nature nous vient du monde des pâtes et papiers. En effet, bien que la production industrielle de papier à partir de fibres de bois ait dû attendre la deuxième moitié du XIX^e siècle, certains avancent que l'idée d'un procédé semblable avait été lancée dès le début des années 1700. Observant un nid de guêpes conservé dans un musée, René-Antoine Ferchault de Réaumur, un naturaliste français, fut étonné de constater à quel point la matière dont il était constitué ressemblait au carton. Cette analogie piqua sa curiosité, et il chercha à découvrir de quelle matière première les guêpes pouvaient bien user pour arriver à ce résultat surprenant. Il obtint la réponse à sa question lorsqu'il surprit une guêpe en plein travail, arrachant à l'aide de ses mandibules des fibres de bois au cadre d'une fenêtre. Il fit paraître ses observations en 1719, mais de véritables percées technologiques dans la production de papier à partir de bois n'eurent lieu que de 100 ans plus tard.



Astray Petra Laleike

FIGURE 5.26
UNE GUÊPE
EN ACTION



Wikicommons

FIGURE 5.27
RENÉ ANTOINE FERCHAULT
DE RÉAUMUR (1683-1757)



Expérimentation 8

Un procédé « béton » sous la mer



Matériel

- Source de dioxyde de carbone (CO_2) → expiration
- Source de dichlorure de calcium (CaCl_2) sel de déglçage
(Le sel de déglçage à base de CaCl_2 en est composé de 70 à 85 %)
- Source d'hydroxyde de sodium (NaOH) → débouche-tuyaux
(Le débouche-tuyaux en cristaux en est composé de 30 à 60 %)
- Balance
- Gants de caoutchouc
- Tige pour agiter
- Pierre à bulle pour aquarium (type Aquafizz)
- Tube de caoutchouc ou de vinyle (environ 60 cm)
- Papier filtre
- Compte-gouttes
- Eau
- Bécher 1 L (ou pot en verre de volume équivalent)
- Entonnoir



FIGURE 4.28
MATÉRIEL
REQUIS



- 32.** Question d'anticipation : À travers les activités 2 à 5, vous avez exploré différents exemples d'imitation de forme que le biomimétisme a permis de développer. En effet, le crochet de la bardane, les barbes et les barbules (les « poils ») des plumes d'oiseaux, la structure microscopique de la surface de la feuille de lotus et le contour ondulé de la coquille St-Jacques sont autant de formes retrouvées dans la nature et dont l'Homme s'est inspiré pour des innovations technologiques.

L'imitation de matériaux et des procédés permettant leur fabrication constitue un autre domaine auquel s'intéresse le biomimétisme. Pouvez-vous nommer des substances (matériaux, produits chimiques, etc.) que des organismes vivants synthétisent et qui pourraient être utiles aux humains ?

- 33.** Sans faire de recherche, pouvez-vous nommer le matériau de construction le plus utilisé par l'humain ?

L'Homme utilise une quantité phénoménale de béton dans ses constructions. On estime la consommation mondiale à environ 1 tonne par habitant par année, soit 7 milliards de tonnes de béton devant être produites annuellement. Mais de quoi est constitué ce matériau, au fait ?

Le béton est un matériau composite, c'est-à-dire qu'il est composé de deux ou plusieurs matériaux différents. Il s'agit principalement d'un mélange de granulats (des cailloux et du sable) et d'une matière liante, le ciment. À ces ingrédients s'ajoutent différents adjuvants, des produits ajoutés au béton afin d'en modifier les propriétés.

Quant à lui, le ciment nécessite comme matières premières du calcaire (environ 80 %) et de la silice (environ 20 %), qui doivent tous deux être extraits de carrières. Sa production annuelle est de l'ordre de 1,25 milliard de tonnes, et représente à elle seule environ 5 % des émissions mondiales de CO₂, un gaz à effet de serre.

Pourquoi tous ces chiffres ? Pour montrer l'important volume de matériaux impliqué dans la fabrication de béton, mais aussi pour démontrer l'intérêt de trouver des solutions de rechange qui seraient moins polluantes.

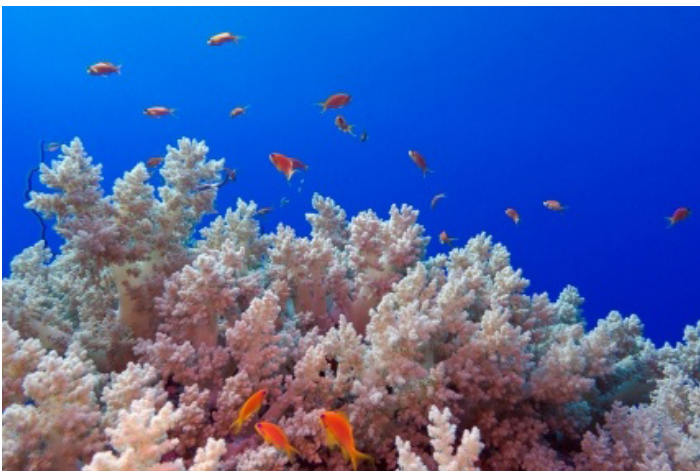
À l'abri des regards, dans les océans, de nombreux organismes vivants utilisent les ressources présentes dans l'eau de mer pour fabriquer leurs exosquelettes, coquilles et autres carapaces. Les mollusques (comme les moules et les huîtres), les crustacés



(tels les crabes et les homards), les coraux et de nombreux êtres microscopiques synthétisent du carbonate de calcium (CaCO_3) afin de fabriquer une enveloppe protectrice rigide autour de leur corps mou. L'intérêt réside justement dans cette molécule, le carbonate de calcium, qui est également la principale composante du calcaire et un ingrédient essentiel à la production du ciment.

Donc, les organismes marins produisent la même molécule (le carbonate de calcium, CaCO_3) que celle pour laquelle sont excavées 1 milliard de tonnes de calcaire chaque année dans le but de produire du ciment. Plus intéressant encore, ces mêmes organismes le produisent entre autres à partir de CO_2 , un gaz à effet de serre rejeté par bon nombre d'industries et par les machines brûlant des combustibles fossiles.

FIGURE 5.29
CORAIL ROUGE
(*CORRALIUM*
RUBRUM)



Jolanta Wojcicka



FIGURE 5.30
CREVETTE NORDIQUE
(*PANDALUS BOREALIS*),
UN CRUSTACÉ



FIGURE 5.31
MOULE BLEUE
(*MYTILUS EDULIS*),
UN MOLLUSQUE

Panama7

Panama7



Cette expérience a pour but d'illustrer de quelle manière la faune marine procède à la biominéralisation (la production de minéraux par des organismes vivants) du carbonate de calcium.

Étapes

1. Mesurer un litre d'eau. Verser l'eau dans le bécher de 1 litre.
2. Peser 30 grammes de chlorure de calcium (CaCl_2) à l'aide de la balance.
3. Dissoudre le CaCl_2 dans l'eau.
 - a. Cette solution représentera l'eau de mer, qui contient naturellement des ions Ca_2^+ et Cl^- . Il faut noter que les concentrations sont plus élevées que dans la réalité : ce changement a pour but de permettre aux réactions de se dérouler plus rapidement.
4. Mesurer 100 millilitres d'eau et le verser dans le bécher de 150 ml.
5. Peser 10 grammes de débouche-tuyaux en cristaux.
6. Verser les cristaux de débouche-tuyaux dans les 100 millilitres d'eau et dissoudre en agitant avec la tige.
 - a. Le but est de préparer une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH). Cette solution permettra au CO_2 et au CaCl_2 de réagir ensemble de la même façon qu'ils le feraient à l'intérieur des cellules d'organismes marins.

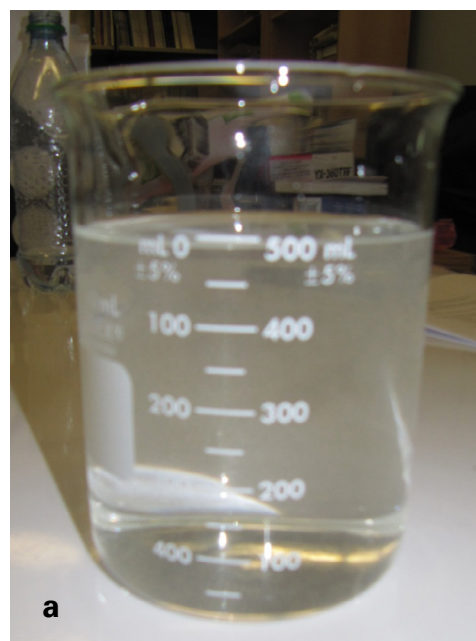


FIGURE 5.32
UNE SOLUTION DE CaCl_2
(À TITRE INDICATIF)



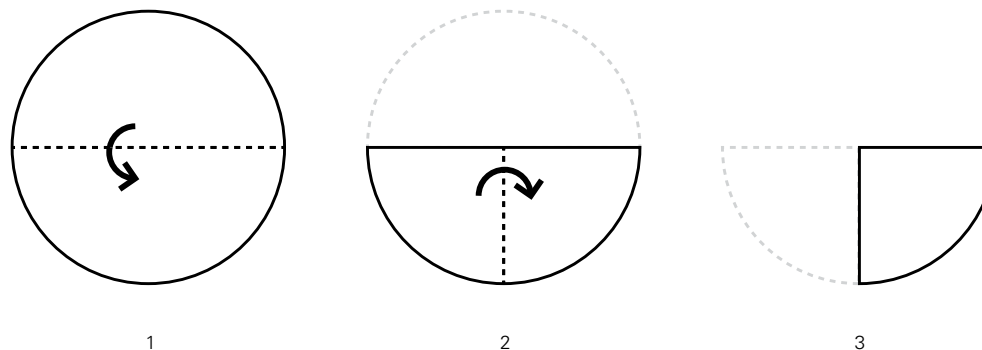
FIGURE 5.33
UNE SOLUTION DE NaOH
(À TITRE INDICATIF)

Thomas Fournier

Thomas Fournier



7. Remplir le compte-gouttes de la solution de NaOH.
8. Insérer la pierre à bulles dans une extrémité du tube. Immerger ensuite la pierre à bulles dans le bécher de 1 litre.
9. Ajouter quelques gouttes de la solution de NaOH dans la solution de CaCl_2 . Un précipité blanchâtre devrait se former.
 - c. Le NaOH et le CaCl_2 réagissent avec le gaz carbonique (ou dioxyde de carbone, CO_2) naturellement dissous dans l'eau pour former du carbonate de calcium (CaCO_3).
10. Souffler dans l'extrémité libre du tube. Cette opération a pour but de dissoudre davantage de CO_2 dans notre « eau de mer ».
11. Ajouter des gouttes de NaOH et souffler encore dans le tube, de manière à ce que le liquide se brouille complètement.
12. Retirer le tube de caoutchouc de la solution et laisser le précipité se déposer au fond.
13. Pendant ce temps, inscrire ses initiales sur le papier filtre et plier ce dernier en quatre selon la méthode illustrée ci-dessous.
 - d. Un filtre à café peut aussi être utilisé. Cependant, la filtration sera plus longue.



COMMENT PLIER UN FILTRE ?
TROIS ÉTAPES SIMPLES



FIGURE 5.34
UNE SOLUTION
QUI BARBOTTE

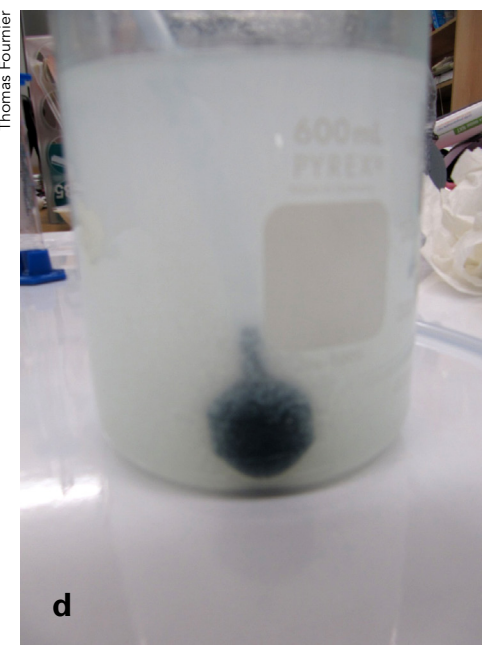


FIGURE 5.35
UNE SOLUTION
QUI BARBOTTE

Thomas Fournier

Thomas Fournier



14. Insérer le papier filtre dans l'entonnoir et l'ouvrir de manière à avoir trois épaisseurs d'un côté et une seule de l'autre.
15. Verser le contenu du bécher de 1 litre dans l'entonnoir, de manière à filtrer le précipité.
16. Retirer ensuite le papier filtre et le laisser sécher au moins une nuit.

La poudre blanche qui se trouve dans le fond de votre papier filtre est du carbonate de calcium solide, un des composés des coquilles et carapaces d'animaux marins, et ingrédient essentiel du ciment.

Le but de cette expérimentation était d'illustrer le procédé par lequel la faune marine synthétise du carbonate de calcium à partir d'éléments présents dans l'eau de mer soit des sels minéraux et du dioxyde de carbone.

Ce dernier gaz est produit naturellement par les organismes vivants, mais constitue aussi un rejet industriel important et a un impact sur le réchauffement climatique. Il s'agit en effet d'un gaz à effet de serre, et la réduction de ses émissions constitue un enjeu de premier plan.

Le biomimétisme pave donc la voie dans le domaine la production de matériaux de construction à des procédés de synthèse qui pourraient remplacer le recours traditionnel à des ressources minérales nécessitant l'exploitation de mines.

Pour en savoir plus, consultez l'animation « [Les techniques de séparation : la filtration](#) ».



Thomas Fournier

FIGURE 5.36
PRÉSENCE DE CO_2
DANS LA SOLUTION
EMBROUILLÉE



34. Quels avantages identifiez-vous à privilégier un procédé semblable pour la production de carbonate de calcium plutôt que l'extraction de roche calcaire dans des carrières ?

35. Identifiez d'autres matériaux qui sont produits dans la nature et dont l'Homme pourrait s'inspirer pour améliorer ses méthodes de production ou la qualité de ses matériaux ?

$\text{CO}_2 + \text{Alkalinity} + \text{Calcium} = \text{Calcium Carbonates}$

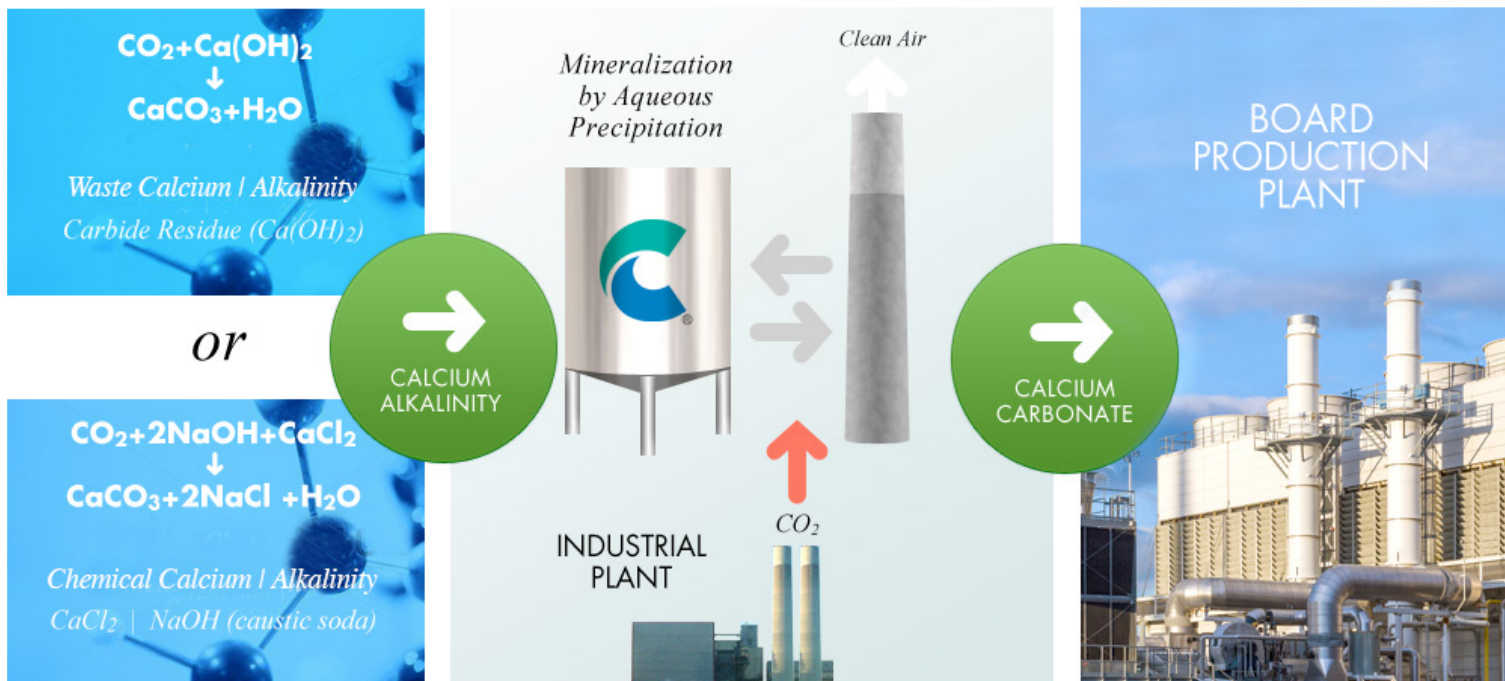


FIGURE 5.37
ILLUSTRATION
DE LA PRODUCTION
INDUSTRIELLE
DE CARBONATE
DE CALCIUM



Synthèse des observations

Expérimentation 8

Un procédé « béton » sous la mer

R32. Réponses variables.

R33. Le ciment transformé en béton est le matériau de construction le plus utilisé.

R34. Les avantages sont les suivants :

- L'impact sur l'environnement de l'exploitation minière est évité.
- L'utilisation de machinerie et donc de combustibles fossiles est réduite.
- Ce procédé permet de produire un composé d'intérêt commercial (le carbonate de calcium) à partir des rejets d'autres industries (le dioxyde de carbone).
- Cette réutilisation permet de minimiser le recours à une ressource minérale épuisable (le calcaire).
- Etc.



R35. Les éponges de mer et les diatomées produisent des squelettes de verre à température ambiante, alors que les procédés industriels requièrent un chauffage à plus de 1 000 °C.

Le byssus des moules, c'est-à-dire les filaments avec lesquels elles se fixent à un substrat (ou la barbe que l'on enlève avant de les cuire), présente des propriétés mécaniques semblables à celles du Kevlar (fibre aramide, utilisée notamment dans les gilets pare-balles). De plus, il serait possiblement biocompatible et pourrait donc servir dans le domaine médical, comme fil à suture ou pour fabriquer des prothèses et implants. Finalement, sa capacité à adhérer à quasiment n'importe quelle surface a inspiré des scientifiques dans la fabrication d'une colle sous-marine (« [La moule un jour dans les hôpitaux](#) »).

Un procédé actuellement à l'étude, ou plutôt un comportement, est l'automédication chez les grands singes. En observant des chimpanzés, des gorilles et des bonobos, des chercheurs ont réalisé qu'ils consommaient une panoplie de différentes plantes, et certaines seulement lorsqu'ils étaient malades. Après analyse de ces plantes, de nouvelles molécules aux propriétés pharmacologiques ont été découvertes, dont certaines inhibant la prolifération de cellules tumorales ou d'autres qui pourraient permettre de combattre le paludisme ([Revue médicale suisse](#), n° 321).



Notions scientifiques

Béton

Il y a souvent confusion entre béton et ciment.

Le ciment est une poudre très fine qui, lorsque mélangé à de l'eau, forme une pâte qui va durcir et qui sera capable de lier différentes particules entre elles, comme des grains de sable ou du gravier. Le ciment est produit à partir de calcaire et d'argile broyés, chauffés à de hautes températures puis broyés à nouveau. Lors de la dernière étape, d'autres composés sont ajoutés en plus ou moins grandes quantités.

Le béton est pour sa part un matériau composite, formé d'eau, de sable, de gravier et d'un liant, le plus souvent du ciment; on parle alors de *béton de ciment*. Il existe également du *béton bitumineux*, où du bitume sert de liant. Ce matériau, appelé parfois dans le langage courant « asphalte » ou « macadam », sert principalement à recouvrir les chaussées.

Biominéralisation

Processus par lequel des organismes vivants accumulent ou synthétisent des substances minérales dans leurs tissus. Les principales substances concernées sont le carbonate de calcium (CaCO_3), les phosphates de calcium et la silice (SiO_2). Elles entrent dans la composition des os, des dents, des coquilles, etc.

Gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre, ou GES, sont des constituants gazeux de l'atmosphère qui absorbent et réémettent la chaleur émise par la surface de la Terre sous forme de rayons infrarouges. Ce phénomène a pour effet de diminuer la perte de chaleur de la Terre vers l'espace.

Les GES peuvent être naturels, comme la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone et le méthane, ou encore artificiels, comme les CFC (chlorofluorocarbures).



Activité 7

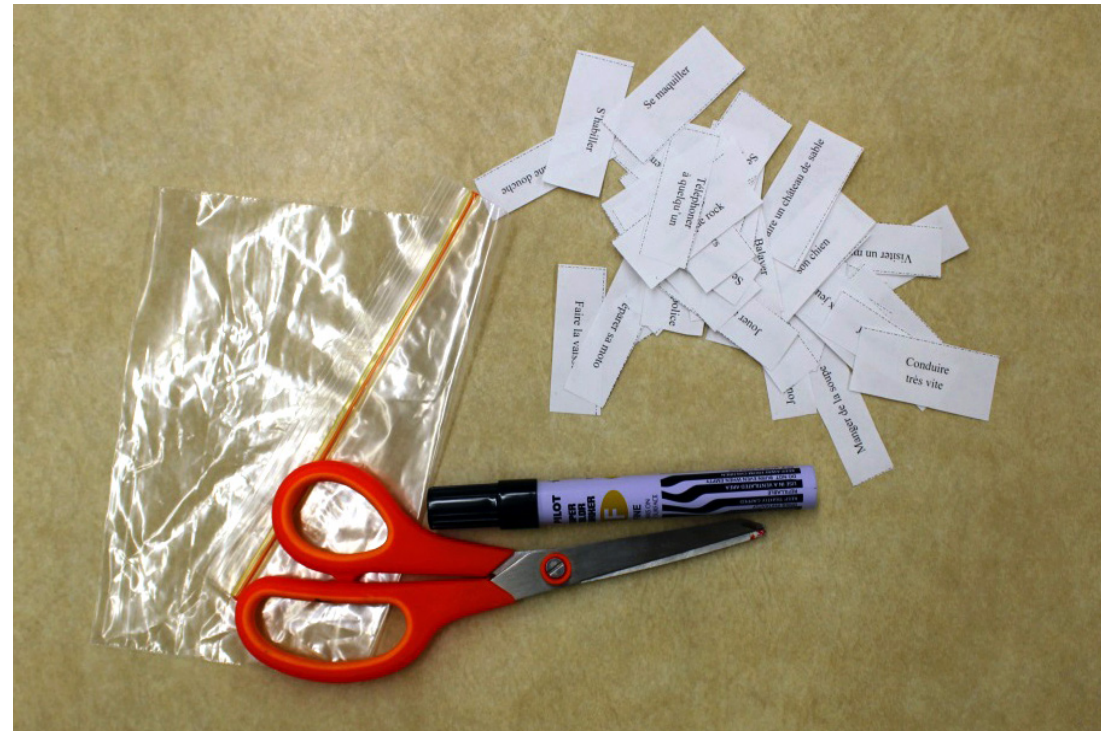
La chasse à l'inspiration

Expérimentation 9

Biomimétique, mon cher Watson!

Matériel

- Mots sous la forme de vignettes
- Sac de type Ziploc
- Ciseaux
- Accès à l'extérieur



Thomas Fournier

FIGURE 5.38
MATÉRIEL
REQUIS



- 36.** Question d'anticipation : D'après vous, quels sont les différents métiers qui peuvent tirer parti du biomimétisme ?

Comme bon nombre de professionnels qui ont recours au biomimétisme, vous devrez maintenant relever vous-même le défi d'observer la nature à travers une « loupe biomimétique ». Tout comme Georges de Mestral qui, en s'attardant aux fruits de la bardane, a inventé une nouvelle technologie permettant de fixer deux objets ensemble, vous aurez à trouver dans la nature des organismes dont l'Homme pourrait s'inspirer pour innover.

Le groupe se subdivise en plusieurs sous-groupes, les équipes d'investigation. Chaque équipe se verra remettre un certain nombre de vignettes sur lesquelles seront écrites différentes fonctions qu'aspirent à remplir les humains et le monde vivant. Les équipes auront comme mandat de se promener dans la nature afin d'identifier des organismes vivants qui réussissent à assumer ces fonctions.

Une personne par équipe d'investigation sera désignée pour agir à titre de secrétaire. Elle devra consigner par écrit les différentes fonctions pigées par l'équipe, les organismes qu'ils auront identifiés et une explication accompagnant chacun d'entre eux.

Après une période de temps prédéterminée (proposition : une vingtaine de minutes), les équipes d'investigation se retrouvent et partagent leurs découvertes.

Le professeur aura pour responsabilité de déterminer le lieu où se déroulera l'activité, par exemple un parc, un boisé, un terrain abandonné de l'école, voire une ruelle.

Le professeur doit découper des vignettes (page suivante) et en distribuer un certain nombre à chacun des petits groupes. D'autres vignettes, d'autres thématiques peuvent être ajoutées.

Variante de l'activité

Toutes les équipes peuvent avoir la même sélection de fonctions. Cette approche permet de trouver des solutions multiples à un même problème.

Les participants peuvent aussi être invités à rédiger eux-mêmes des fonctions qu'ils devront retrouver dans la nature.



Réfléchir la lumière	Protéger	Résister à la déformation	Emmagasiner (eau, nourriture, énergie)	S'agripper
Fixer	Reprendre sa forme après une déformation	Se déplacer sur l'eau	Fabriquer un abri	Chauffer, se réchauffer
Équilibrer	Prévenir l'érosion	Recycler	Se protéger des éléments (eau, vent, froid, chaleur, etc.)	S'isoler (thermiquement)
Absorber les chocs	Fabriquer des matériaux légers	Fabriquer des matériaux solides	Générer de la lumière	Protéger
Absorber la lumière, les rayons du Soleil	Communiquer	Communiquer à grande distance	Favoriser des conditions propices à la vie	Orienter, s'orienter
Rafrâchir	Être flexible	Se réparer tout seul	Créer une ou des couleurs	Changer de forme
Coopérer	Être rigide	Résister au vent	Moudre ou broyer	Détecter
Coordonner	Être élastique	Minimiser les pertes d'humidité	Décomposer	Créer un courant dans un fluide (eau, air)
Flotter	Recueillir de l'eau	Produire des matériaux	37. À la suite de l'activité, quels professionnels peuvent s'inspirer de la nature dans leur pratique pour résoudre de tels problèmes ?	
Tenir au fond de l'eau	Se déplacer dans l'eau	Être stable		



Synthèse des observations

Expérimentation 9

Biomimétique, mon cher Watson!

Cette activité a pour but de vous faire découvrir le nombre incalculable de sources d'inspiration potentielles que recèle la nature. Pour reprendre l'affirmation de Janine Benyus, pour chaque problème technologique rencontré par l'Homme, plusieurs solutions ont déjà été développées par le monde vivant; il suffit de savoir trouver où sont cachées les réponses et comment les adapter à nos besoins spécifiques.

R36. Réponses variables.

R37. Les ingénieurs, les architectes, les physiciens, les chimistes, les économistes, les gestionnaires d'entreprises, les dentistes, les médecins, les roboticiens, les designers, etc.



Activité 8

Un concours : *made in* biomimétisme

Expérimentation ou recherche 10

Un défi biomimétique

Matériel

Variable selon les recherches et les projets.

- 38.** Question d'anticipation : Retournez dans votre tendre enfance ou dans l'Activité 1 de ce module pour pratiquer un jeu qui s'appelle le « mime ». Est-ce que vous vous rappelez ce jeu ?



Léo Blanchette

FIGURE 5.39
UN EXEMPLE DE PROJET...
MACHINE À VOLER



Vous pourriez aller plus loin en effectuant une recherche sur le biomimétisme et d'autres applications possibles.

Vous devez choisir l'étude d'un des sujets parmi les suivants, lesquels sont tirés de l'article paru en 2009 dans *Québec Science* :

- la voiture poisson coffre,
- des trains-oiseaux,
- l'immeuble termitière,
- etc.

Vous pourriez aller plus loin en simulant un concours du type génie inventif dans lequel la thématique serait le biomimétisme. De jeunes Américains (10 à 14 ans) ont inventé une botte autochauffante, appelée « *Cozy Paws* », en s'inspirant du système circulatoire des pattes du loup, alors que d'autres ont conçu un véhicule rétractable (*Pill-Bug Sledge*) (figure 5.40) inspiré d'un insecte ou encore une marguerite pour faire cuire des légumes vapeur.

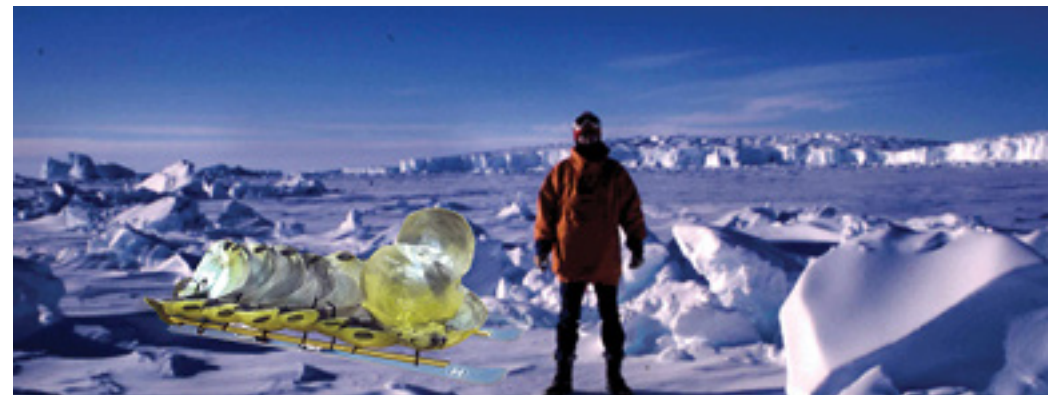
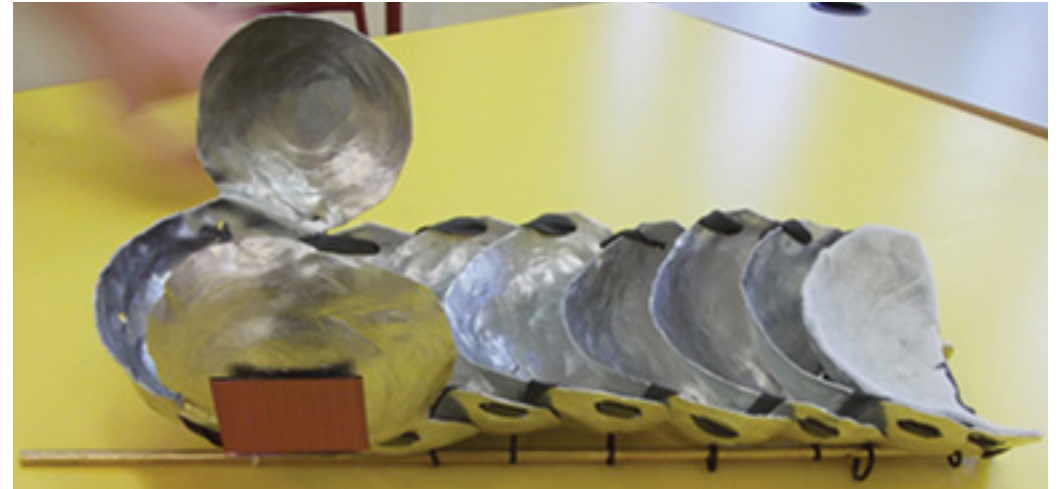


FIGURE 5.40
PILL-BUG SLEDGE



À votre avis...
est-ce du biomimétisme ?

39. Voici des exemples d'objets dont certains ont été inspirés du biomimétisme, d'autres pas. Vous devez voter pour savoir lesquels ont été inspirés ou pas du biomimétisme. Pour les objets inspirés du biomimétisme, vous devez écrire quelle a été la source naturelle d'inspiration ?

a. Les ailes d'avion ?

b. iPod ?

c. Un sonar pour la navigation ?

d. Une imprimante d'ordinateur ?

e. Le revêtement dur pour le pare-brise des voitures ?



Thomas Fournier

FIGURE 5.41
UNE MARGUERITE
OUVERTE



Thomas Fournier

FIGURE 5.42
UNE MARGUERITE
FERMÉE

f. La coque des sous-marins ?

g. Un coussin doux pour une chaise de travail ?

h. Une cellule solaire ?



Synthèse des observations

Expérimentation ou recherche 10

Un défi biomimétique

R38. Réponses variables.

R39. a. Oui, à partir des ailes d'oiseaux.

b. Non.

Un maillot super performant

Lors des derniers Jeux olympiques d'été, vous avez peut-être remarqué que des records ont été fracassés dans les compétitions de natation. La science, ou plus spécifiquement le biomimétisme, pourrait en expliquer une partie.

En effet, les nageurs portent maintenant des maillots dont les textiles ont semblé-t-il été développés en s'inspirant de la nature, notamment de la peau de requin. Pourquoi selon vous ?

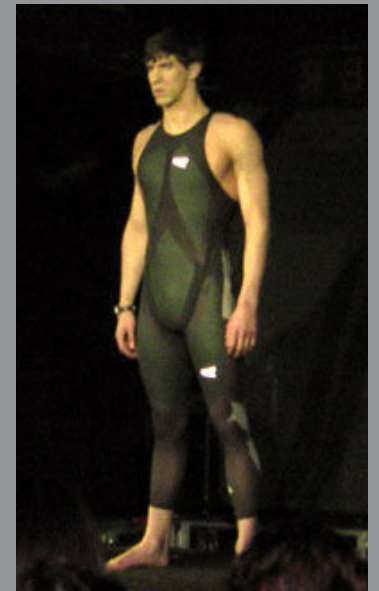
Pour aller plus loin

Oeffner, J. et G.V. Lauder (2012). « [The hydrodynamic function of shark skin and two biomimetic applications](#) », *J. Exp. Biol.*, vol. 215, p. 785-795.

c. Oui, à partir de l'écholocation des chauves-souris et des dauphins.

d. Non.

e. Oui à partir du revêtement à l'intérieur des moules.



Wikicommons

FIGURE 5.43
UN MAILLOT
SUPER PERFORMANT



f. Oui à partir de la peau des dauphins et des requins.

g. Non.

h. Oui à partir des feuilles de certains végétaux qui captent le maximum de lumière du Soleil.

Antonio Guillem



FIGURE 5.44
UN MARTIN-
PÊCHEUR

Leonid Dorfman



FIGURE 5.45
TRAIN À
HAUTE
VITESSE

Des trains-oiseaux : exploitation de l'aérodynamisme

Le devant des trains japonais Shinkansen est inspiré du bec du martin-pêcheur!

- Il est 10 % plus rapide
- Il est 15 % moins énergivore

Profil corporatif d'une entreprise québécoise

JB Martin fabrique des tissus techniques depuis plus de 20 ans. Issus du groupe JB Martin, leader mondial du velours depuis 1832, des renforts sont produits pour les matériaux composites principalement à base de fibres de verre, carbone, aramide, polyester, basalte, polypropylène.

Les spécialités résident dans l'optimisation des propriétés physiques des matériaux et des procédés de transformation. En étroite collaboration avec leurs clients, cette entreprise québécoise s'efforce de repousser les limites des produits en travaillant sur les architectures, les orientations, les mélanges, les combinaisons.

L'entreprise est présente dans les marchés de la marine, du transport, des éoliennes, de l'aéronautique, du génie civil, des sports et loisirs, de l'industriel...

Martintek, la division protection, s'est bâti une réputation enviable de producteur de haute qualité et d'innovateur dans les domaines de la protection, notamment balistique en blindage, gilets pare-balles et protection contre les mines et explosifs.

Cette division offre des produits pour les forces militaires et de police, les pompiers, les bûcherons, les travailleurs des fonderies, de l'électricité, et de nombreux domaines exigeant des performances sans concession.

Leurs produits très innovateurs sont certifiés par de nombreux organismes de par le monde : Amérique, Europe, Australie, Asie. L'équipe sait écouter les besoins de ses partenaires et se fait un devoir d'y apporter des solutions optimales. Gageons qu'ils s'inspirent de certains phénomènes de la nature... et du biomimétisme !



Retour sur l'évaluation des conceptions initiales

R1. « Vivant » et « qui peut imiter ». Dans une définition simple, le biomimétisme est une discipline qui vise à imiter ou s'inspirer de la nature pour concevoir de nouvelles technologies. Il correspond donc aux activités de l'Homme, de ses inventions, qui permettent de s'inspirer de la nature (animaux, végétaux, etc.) en vue de produire quelque chose de plus efficace et d'écologique.

R2. Des ingénieurs ont réussi à construire des immeubles sans avoir recours à des systèmes de climatisation qui peuvent être pollués. Ils se sont inspirés des termites et de leur termitière qui, lors de la conception, appliquent des principes favorisant la circulation d'air pour éviter une surchauffe à l'intérieur.

Pour Benyus, le biomimétisme est « une méthodologie de résolution de problèmes² ».

² Benyus, J. (2009). *Québec science*, mai, p. 27.



R3. Moyen de communication souvent associé au théâtre. Généralement, le mime s'exécute en absence de parole et de son.

Un animal peut imiter un autre animal ou un objet afin de se protéger contre l'ennemi. Il n'est pas rare de voir un oiseau feindre d'être blessé ou imiter une branche pour déjouer son prédateur. Le camouflage est plutôt un phénomène naturel très présent chez les insectes, entre autres par lequel la proie se cache ou se camoufle dans l'environnement. Il s'agit souvent d'un phénomène basé sur les couleurs ou les formes.

R4. C'est l'Homme qui s'inspire de la nature pour imiter, pour mimer des formes, des procédés, des stratégies voire le fonctionnement des écosystèmes.

Le biomimétisme est une méthode innovante cherchant des solutions durables en s'inspirant de concepts et de stratégies ayant fait leurs preuves dans la nature, comme le capteur solaire imitant la feuille végétale.

Le but est de créer des produits, processus et protocoles – de nouvelles lignes de conduite – mieux adaptés à une durée de vie prolongée sur notre planète. De par le monde, ses adeptes apprennent à : filer les fibres

comme une araignée, maîtriser l'énergie comme une feuille, se soigner comme un chimpanzé et gérer les affaires (ou les villes) comme une forêt millénaire. Leurs modèles sont des organismes qui fonctionnent sans faire appel au principe de fabrication « chaleur-pression-traitement », des écosystèmes qui marchent à l'énergie solaire et aux interactions, qui créent des occasions, des ressources plutôt que des déchets. Ils se posent sans cesse les questions : que ferait la nature dans ce cas ? Que ne ferait-elle pas ? Pourquoi ? Ou pourquoi pas ?

Non seulement le biomimétisme peut aider l'espèce humaine à prolonger son passage sur la planète, mais il peut changer notre manière d'évaluer la nature qui nous entoure.

Il nous encourage à la considérer comme une source de sagesse et un guide et non uniquement comme une source de biens de consommation.

De façon plus simple, disons qu'il s'agit d'une discipline qui vise à imiter et s'inspirer de la nature pour concevoir de nouveaux produits, voire de nouvelles technologies.



R5. Le biomimétisme est en plein essor un peu partout dans le monde. Il semble que le génie de l'environnement soit une branche particulièrement intéressée par ses découvertes. C'est possiblement au niveau environnemental que les bienfaits ou avantages sont décelés. Pensons notamment à l'économie d'énergie dans le cadre de la construction d'une éolienne.

R6. Oui, en principe. Il reste toutefois beaucoup de choses à découvrir car le biomimétisme est en plein essor.



Évaluation des savoirs

40. Qu'est-ce que le biomimétisme ?

Un phénomène à partir duquel les végétaux imitent les humains.

Un phénomène à partir duquel les animaux imitent les humains.

Un phénomène à partir duquel les humains tentent d'imiter ou de s'inspirer de l'environnement pour créer, concevoir des objets, méthodes, processus, etc.

41. Qu'est-ce que l'effet lotus ?

Une voiture sport.

Un phénomène qui permet à une plante ou à un objet de s'autonettoyer.

Un phénomène d'une goutte d'eau.

42. Qu'est-ce que la tension superficielle ?

La force à la surface d'un liquide comme l'eau.

Le phénomène expliquant les marées.

Une force entre deux animaux.

43. Pour expliquer l'effet lotus, l'angle de la goutte d'eau...

a beaucoup d'importance.

a peu d'importance.

n'a pas d'importance.

44. De quelle origine est le mot *biomimétisme* ?

D'origine latine.

D'origine arabe.

D'origine grecque.

45. Vrai ou faux ? Nanoscopique est plus grand que microscopique.

Vrai. Faux.

Pourquoi ?



46. Vrai ou faux ? Le biomimétisme est un mouvement pouvant contribuer à la protection de l'environnement biophysique.

Vrai. Faux.

Pourquoi ?



Retour sur l'évaluation des savoirs

R40. Un phénomène à partir duquel les humains tentent d'imiter ou de s'inspirer de l'environnement pour créer, concevoir des objets, méthodes, processus, etc.

R41. Un phénomène qui permet à une plante ou à un objet de s'autonettoyer.

R42. La force à la surface d'un liquide comme l'eau.

R43. a beaucoup d'importance.

R44. D'origine latine.

R45. Faux.

Le préfixe *micro-* vient du grec *mikros*, qui signifie « petit », alors que le préfixe *nano-* vient de *nanos*, qui signifie « nain ». Lorsque ces préfixes sont placés devant une unité de mesure, par exemple le mètre, il y aura trois ordres de grandeur entre les deux. Ainsi, un micromètre est 1 000 (10^3) fois plus grand qu'un nanomètre.

R46. Vrai.

Parce que les ingénieurs en environnement tentent de reproduire des phénomènes naturels. Par exemple, ils s'inspirent de la circulation de l'air dans une termitière pour construire des édifices bien aérés et diminuer ainsi l'utilisation de la climatisation (gaz produits et consommation d'électricité).



Expériences suggérées

Quand les insectes nous inspirent et nous éclairent

Matériel

- 500 ml d'eau distillée
 - 10 g d'hydroxyde de sodium NaOH
 - 1 g de luminol
 - 10 g de ferricyanure de potassium
 - Bleu de méthylène ou fluorescéine
 - 0,5 ml d'eau oxygénée à 30 % concentrée
- 47.** Question d'anticipation : Vous est-il arrivé d'entendre le mot *eurêka*? Qui en est l'auteur? Que signifie-t-il?



MATÉRIEL
REQUIS

Pour découvrir les propriétés électroluminescentes de certains produits, nous proposons l'expérience suivante, dont le but est de comprendre le phénomène de la chimiluminescence, semblable à la bioluminescence.



Étapes

Attention de bien suivre les étapes afin de minimiser les risques de tacher les vêtements. Le port d'un sarrau et de lunettes est recommandé.

Solution A

1. Dissoudre 5 g d'hydroxyde de sodium dans 0,5 l d'eau distillée.
2. Ajouter 0,5 g de luminol à la solution et agiter jusqu'à complète dissolution.
3. Ajouter du colorant (fluorescéine ou bleu de méthylène) si besoin.

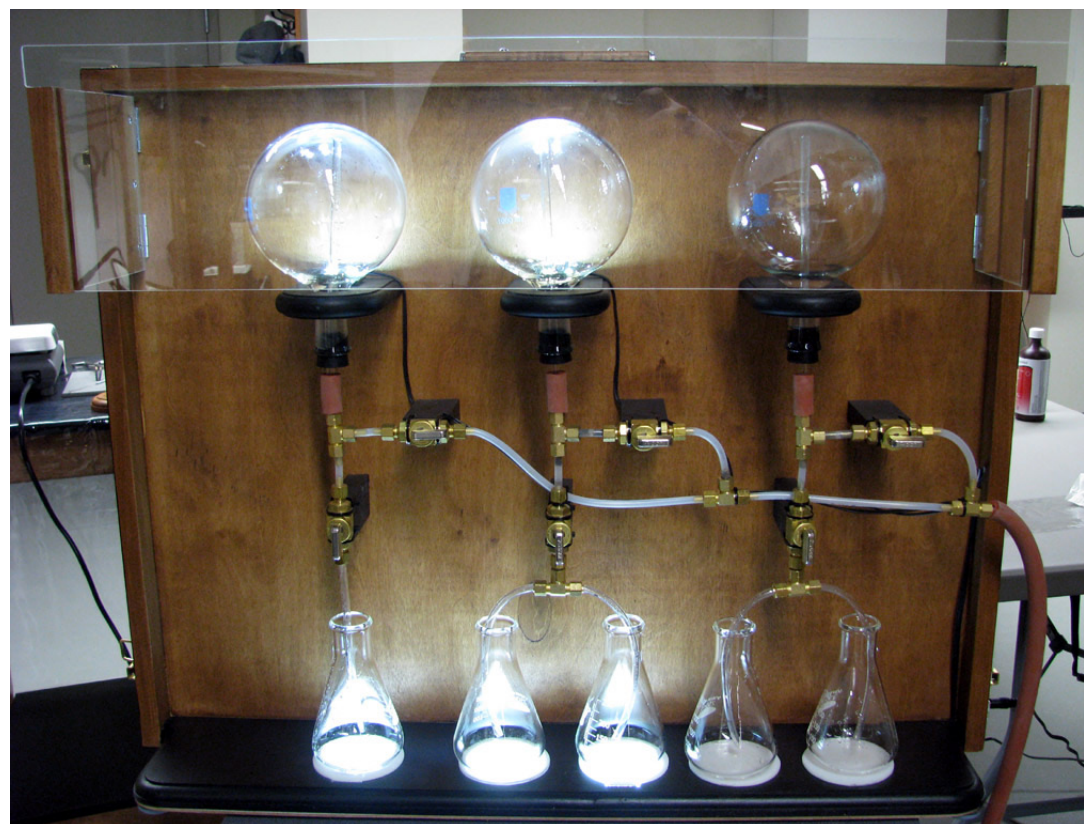
Solution B

4. Dissoudre 7,5 g de ferricyanure de potassium dans 0,5 l d'eau distillée.
5. Conserver au frais et à l'abri de la lumière (réfrigérateur) les solutions A et B. La réaction est plus longue si les solutions sont refroidies.

Solution C

6. Dans un bécher, verser 50 ml de solution B et ajouter au dernier moment 0,5 ml d'eau oxygénée concentrée.
7. Puis, ajouter la solution A et observer.
8. Après avoir ajouté le luminol, la solution a brillé durant quelques secondes. Le luminol est la solution qui... explique le phénomène de la bioluminescence.

CDES



UN MONTAGE DE CHIMIE
POUR MONTRER
LA CHIMILUMINESCENCE



48. Qu'ont en commun le phénomène de bioluminescence et l'insecte appelé « mouche à feu » ou « luciole » ?

Brandon Alms



LA MOUCHE
À FEU OU LUCIOLE
(FIREFLY EN ANGLAIS)

Les lucioles sont de petits insectes volants (pour les mâles), qu'on voit parfois briller la nuit.

Pour aller plus loin

Les scientifiques se sont penchés sur ces coléoptères (venant du grec qui signifie « dont les ailes sont recouvertes d'une sorte de fourreau », *coléoptère* est composé de *koleos* « étui, bouclier » et de *pteron* pour « ailes »), pour savoir comment ils sont capables de créer leur propre lumière, sans électricité. Il s'avère que ces petites bêtes possèdent une véritable usine dans leur abdomen. En effet, cette production de lumière se fait sur une réaction, provoquée par une enzyme, la luciférase, agissant sur un substrat, appelé la « luciférine », au contact du dioxygène. Simple au premier abord, cette bioluminescence est bien plus complexe. Un chercheur américain (W.D. McElroy) observe que cette « lumière froide » nécessite deux autres éléments : l'ATP (adénosine triphosphate) et du magnésium. L'ATP est une molécule qui sert de catalyseur pour accélérer la réaction entre la luciférase et la luciférine. Et le magnésium sert tout simplement à faire fonctionner l'ATP en se liant à elle. Des réactions d'autoréduction (qui est une réaction qui met en jeu un transfert d'électrons entre ses réactifs) s'engagent alors dans les cellules de l'insecte, mobilisant ainsi l'énergie chimique cellulaire. La luciférine va être excitée. Puis en se relâchant, celle-ci libère un photon (qui est la particule élémentaire médiatrice de l'interaction électromagnétique), responsable de la lumière émise par les lucioles !

UNE LUCIOLE
EN ACTION DANS
L'OBSCURITÉ



Wikicommons



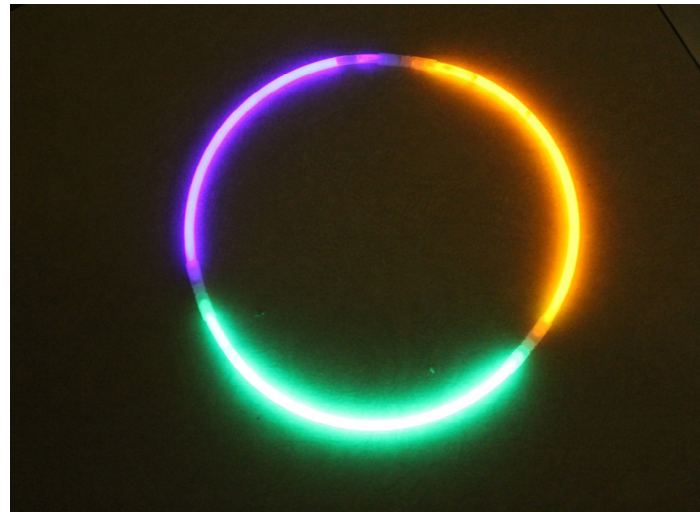
- 49.** Saviez-vous que le nom scientifique de la luciole commune est *Photinus pyralis*? Qu'est-ce qu'il y a de particulier dans le nom *Photinus*?

Dans les ampoules traditionnelles, c'est l'électricité qui, en passant, produit de la chaleur dans le filament, pour exciter les atomes. Une grande partie de l'énergie de l'électricité est donc perdue sous forme de chaleur (90 à 97 %), alors que chez les lucioles (et autres animaux utilisant la bioluminescence), l'énergie chimique libérée par la réaction est transformée directement en une autre forme d'énergie, ici lumineuse, sans avoir à passer par un intermédiaire thermique. Chez ces animaux, une bonne partie de l'énergie utilisée se retrouve sous forme de lumière (inspiré du site [Le biomimétisme](#)).

L'Homme s'en inspire

L'Homme a trouvé une alternative à la bioluminescence des lucioles en utilisant la chimiluminescence, qui au lieu d'être une réaction faisant intervenir la luciférine et la luciférase, fait intervenir le luminol et le peroxyde d'hydrogène, pour créer une lumière bleutée.

Ce phénomène est en train d'être copié par des universitaires de Cambridge, pour créer des arbres bioluminescents qui pourraient éclairer nos rues... Qui sait, dans quelques années, ce que seront les lampadaires qui éclaireront nos rues... En attendant, les enfants peuvent éclairer les rues lors des fêtes avec des colliers similaires à celui-ci :



Thomas Fournier

COLLIER
CHIMILUMINESCENT



Synthèse des observations

Quand les insectes nous inspirent et nous éclairent

Cette activité avait pour but de vous faire découvrir le phénomène de la bioluminescence. Étant jeune, vous avez probablement porté des colliers chimiluminescents lors d'un événement festif ou placé des lucioles dans un petit pot pour éclairer votre chambre à coucher dans l'obscurité. Si les chercheurs réussissent à mieux comprendre toutes les réactions chimiques en cause, le phénomène de bio ou de chimiluminescence permettrait de baisser considérablement (voire de faire disparaître) la part de chaleur dans la production d'électricité et donc de réduire la pollution.

R47. Réponses variables.

R48. La bioluminescence est la production et l'émission de lumière par un organisme vivant résultant d'une réaction au cours de laquelle l'énergie chimique est convertie en énergie lumineuse comme c'est le cas avec la luciole.

R49. On y retrouve la racine grecque *φῶς* *phōs*, signifiant « lumière ».



Notions scientifiques

Bioluminescence

La bioluminescence est une forme de luminescence, produisant une lumière dite froide, car moins de 20 % de la lumière génère de la chaleur. Elle ne doit pas être confondue avec la fluorescence, la phosphorescence ou de lumière réfractée.



Le gecko pour la fabrication de nouvelles bandes adhésives

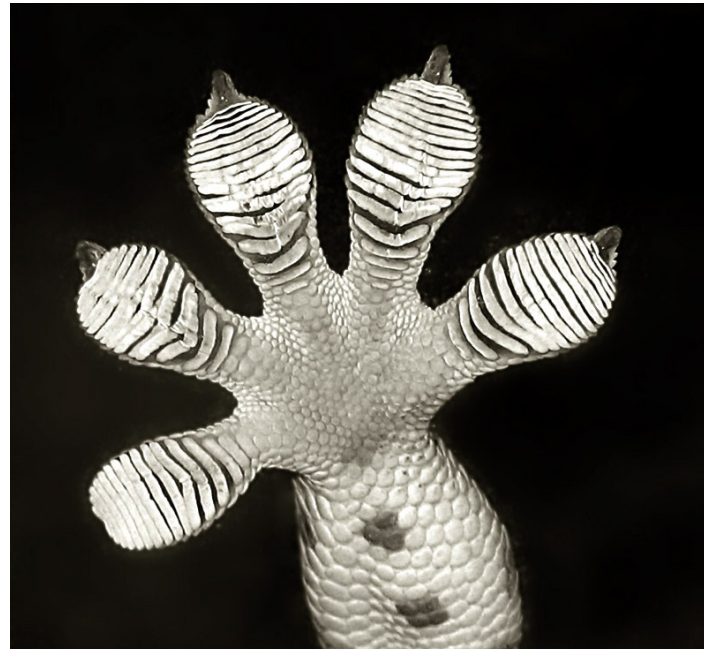
50. Qu'ont en commun une mouche et un gecko ?

Le gecko est un lézard pouvant courir la tête en bas sur les murs et les plafonds avec une facilité déconcertante. Cet animal est capable non seulement de se coller aux parois les plus lisses (même humides !), mais aussi de se décoller !



UN GECKO

nico99



Wikicommons

UNE PATTE DE GECKO MUNIE DE MULTIPLES VENTOUSES

51. Comment le gecko fait-il pour tenir au plafond ?

Principes

Il faut aussi savoir que la taille des poils permet à ces derniers d'être très proches des molécules support, et donc, d'améliorer l'action des forces de Van der Waals. Sur les surfaces humides, des forces de succion collent les poils à la surface.



Mais il reste un problème à résoudre pour le gecko : comment se « coller » et se « décoller » en gaspillant le moins d'énergie ? En effet, il faut une forte pression pour provoquer l'adhérence puis une forte traction pour la faire cesser. Or, on sait que le gecko peut courir en posant ses pieds plus de vingt fois par seconde, et si ce mécanisme nécessitait beaucoup d'énergie, l'animal serait vite épuisé, ce qui n'est pas le cas. La nature a donc résolu le problème... En effet, les forces de Van der Waals ne fonctionnent que dans un sens, et du fait de leur faible intensité, le gecko n'a aucun mal à déplacer ses pattes : les poils se tordent, les liaisons se rompent et l'adhérence disparaît.

- 52.** Donnez des exemples de votre environnement où de tels principes peuvent s'appliquer pour faire coller des objets sans recourir à de la colle.

Applications possibles

On estime que la « colle » du gecko est 600 fois supérieure à nos meilleurs rubans adhésifs. De nos jours, l'Homme n'arrive pas à créer des outils aussi collants que les pattes de geckos. De tels adhésifs pourraient servir à maintenir en place les parties lisses du corps humain durant les interventions chirurgicales, améliorer l'adhérence des pneus à



Thomas Fournier

UNE VENTOUSE POUVANT
SERVIR À ACCROCHER
TOUTES SORTES D'OBJETS

la route. Des robots-geckos pourraient être utilisés pour réparer les fissures dans la coque des navires, des ponts et des terminaux, ainsi que pour l'entretien régulier des satellites, ou même grimper aux murs des bâtiments en feu pour sauver les personnes encore coincées à l'intérieur !

Un défi pour vous

Trouvez sur Internet des « recettes » pour fabriquer de la colle ou des bandes adhésives.

- 53.** Une autre caractéristique du Teflon serait son imperméabilité. Quels seraient les avantages de cette propriété pour l'humain ?



À lire ce qui vient d'être présenté, le gecko n'aurait pas de surface ennemie. Or, ça ne semble pas être vrai ! **Le polytétrafluoroéthylène ou Teflon est par ailleurs le seul matériau auquel les pattes de la plupart des geckos arboricoles n'adhèrent pas.** Le polytétrafluoroéthylène (PTFE) est un fluoropolymère issu du tétrafluoroéthylène.

Ce polymère technique a été découvert par hasard en 1938 par le chimiste Roy J. Plunkett (1910-1994) travaillant pour la société Du Pont de Nemours. Il fut introduit commercialement en 1949. Il est commercialisé sous les marques déposées Teflon, Hostalen, Hostafon ou Fluon. La marque la plus connue est Teflon de Du Pont de Nemours.

Il possède des propriétés remarquables qui le distinguent des autres polymères thermoplastiques, notamment une excellente résistance thermique et chimique, ainsi qu'un coefficient de frottement extrêmement faible.

Dans la vie courante, le Teflon est largement utilisé comme revêtement antiadhésif dans les ustensiles de cuisine.

Le PTFE est un matériau tendre, facilement déformable, semi-cristallin, opaque, blanc et alimentaire. Son allongement est élevé (propriétés mécaniques de type élastomère) et sa résistance aux contraintes et aux radiations est faible. Il présente une remarquable résistance à la plupart des produits chimiques, un coefficient de frottement extrêmement faible et reste stable à température élevée (jusqu'à 327 °C). Ces propriétés inhabituelles lui confèrent une valeur inestimable pour un grand nombre d'applications.

Saviez-vous que ?

Le *Dragon Breath* ou poudre de lycopode est utilisé par les magiciens lors des spectacles pour attiser une flamme. La poudre de lycopode possède d'autres propriétés, dont celle d'imperméabiliser. Si vous en possédez, il suffit d'en placer tout autour de votre doigt et de tremper ce dernier dans de l'eau. Vous constaterez que votre doigt ne sera pas mouillé.

Pour aller plus loin...

Pour en savoir plus, consultez « [Les moules au secours de la médecine pour leurs vertus adhésives](#) », *La Presse*, le 16 février 2013.

UN PLANT DE
LYCOPODE





Synthèse des observations

Le gecko pour la fabrication de nouvelles bandes adhésives

Cette activité avait pour but de vous faire découvrir d'autres aspects du biomimétisme, dont les propriétés adhésives que certains animaux exploitent.

R50. Les deux peuvent marcher sur les murs et au plafond des pièces.

R51. Cette étrange propriété est due aux micropoils que le gecko possède sous ses pattes. Ces poils se comptent en millions, ils sont formés de kératine, et ne font que quelques dizaines de microns de diamètre. À leurs extrémités, ces poils se scindent eux-mêmes en poils encore plus fins (quelques centaines de nanomètres de diamètre), qui se terminent en spatule. C'est à ce niveau qu'entrent en jeu les forces de Van der Waals (qui sont

des forces de faible intensité, mais grâce au nombre de poils que le gecko possède, elles sont assez importantes pour soutenir largement le poids de l'animal)...

R52. Réponses variables, mais des ventouses pour coller des décorations dans les fenêtres en sont un bel exemple. Le même principe est utilisé pour faire tenir un GPS dans le pare-brise de la voiture.

R53. Réponses variables. Elles sont multiples. Pensons à la fabrication de parapluies.



Notions scientifiques

Forces de Van der Waals

De nature électrostatique, ces forces attractives sont responsables de liaisons intermoléculaires de faible intensité.

Il en existe trois types :

- L'effet d'orientation de Keesom. Cet effet intervient entre deux molécules polaires. Ces dipôles s'orientent les uns par rapport aux autres (chacun est placé dans le champ électrique créé par l'autre).
- L'effet d'induction de Debye, qui intervient entre une molécule polaire et une molécule non polaire qui se polarise sous l'effet de la molécule polaire.
- L'effet de London, qui intervient entre des molécules non polaires. En raison des déplacements incessants des électrons dans une molécule, celle-ci présente à chaque instant un moment dipolaire instantané non nul. Ce mouvement instantané peut polariser les molécules voisines, d'où les interactions mêmes entre molécules non polaires.

Écholocation

L'écholocation consiste à envoyer des sons et à écouter leur écho pour localiser et, dans une moindre mesure, identifier les éléments désirés. La chauve-souris, par exemple, peut repérer ses proies (insectes) en envoyant des ondes qui vont rebondir. Le temps de retour (vitesse) et l'angle permettent de repérer la proie de façon précise.

Dyson : une entreprise ingénieuse

Chez Dyson, trois mots importants : *recherche*, *conception* et *développement*. Plus de 1 000 ingénieurs et scientifiques de Dyson au Royaume-Uni, à Singapour et en Malaisie se consacrent à inventer et améliorer les appareils Dyson. Ils sont spécialisés dans des disciplines très diverses : électrotechnique ; dynamique des fluides ; prototypage ; électronique ; design ; activités d'essai ; robotique ; logiciels ; matériaux ; moteurs ; aérodynamique ; microbiologie ; mécanique générale ; acoustique ; conformité ; matériel informatique, etc.

Chaque membre du département Recherche et développement est un expert dans son domaine. En travaillant ensemble, ils garantissent que les appareils Dyson sont meilleurs que les autres et qu'ils sont construits pour durer. Qui sait, un jour, des jeunes de chez nous pourront peut-être se compter parmi les scientifiques et les ingénieurs d'une telle entreprise ?



Pour aller plus loin

Benyus, J.M. (2011). *Biomimétisme*, Paris, Éditions Rue de l'échiquier, 408 p.

Fournier, M. (2011). *Quand la nature inspire la science : histoire des inventions humaines imitant les plantes et les animaux*, Paris, Plume de carottes, 152 p.

Guillot, A. (2008). *La bionique : quand la science imite la nature*, Paris, Éditions Dunod, 229 p.

Sites en français

- [Biomimicry Europa](#)
- [Major Blog](#)
- [Winglet](#)

Sites en anglais

- [Biomimicry 3.8](#)
- [Biomimicry Europa](#)
- [Teach Engineering](#)
- [Brainz](#)
- [Robaid](#)

Approche orientante

Le biomimétisme est une discipline récente dans le domaine des sciences et du génie. Son aspect novateur et les retombées qu'il pourrait engendrer portent à croire que plusieurs emplois pourraient y être associés dans le futur. Des universités canadiennes s'y intéressent. En voici des exemples:

- **Université de Sherbrooke** – Baccalauréat en génie civil – Concentration en génie de l'environnement
- **École polytechnique de Montréal** – Diplôme d'études supérieures spécialisées (DESS) en développement durable – Option Génie de l'environnement
- **École de technologie supérieure** – DESS en génie de l'environnement
- **Université d'Ottawa** – Génie de l'environnement (M. Ing./M. Sc. A.)

Des éoliennes-baleines!

Elles sont moins bruyantes et plus stables. Elles :

- réduisent la résistance de 32 % ;
- améliorent la portance de 8 % ;
- produisent 20 % plus d'énergie.



Joe Subirana – WhalePower

DANS LA MÊME SÉRIE
L'APPRENTISSAGE
DES SCIENCES
ET DES TECHNOLOGIES
PAR L'EXPÉRIMENTATION



MODULE 1
LE CIRCUIT ÉLECTRIQUE



MODULE 2
L'ASTRONOMIE



MODULE 3
LA PHOTOSYNTHÈSE



MODULE 4
LE MAGNÉTISME



MODULE 5
LE BIOMIMÉTISME



MODULE 6
L'ÉLECTROSTATIQUE

PUQ | NUMÉRIQUE 