

L'ABC DES TECHNOLOGIES DE L'ÉNERGIE RENOUVELABLE

POLLUTION PROBE est un organisme de bienfaisance sans but lucratif qui travaille en partenariat avec tous les secteurs de la société dans le but de protéger la santé en faisant la promotion de l'air pur et de l'eau propre. Pollution Probe a été créé en 1969 à la suite d'un rassemblement de 240 étudiants et professeurs, réunis sur le campus de l'Université de Toronto pour discuter d'une série de reportages préoccupants diffusés par les médias concernant les pesticides. Pollution Probe s'est d'abord consacré à faire pression sur le gouvernement du Canada pour qu'il interdise presque toutes les utilisations du DDT et à faire campagne en faveur de la dépollution de la rivière Don, à Toronto. Nous avons encouragé la récupération à la source dans 140 collectivités de l'Ontario et appuyé l'élaboration du Programme des boîtes bleues. Pollution Probe a publié plusieurs livres, dont *Profit from Pollution Prevention*, *The Green Consumer Guide* (dont plus de 225 000 exemplaires ont été vendus partout au Canada) et *Additive Alert*.

Depuis les années 1990, Pollution Probe a orienté ses programmes vers des questions liées à la pollution de l'air et à la santé humaine, y compris un important programme visant à éliminer les sources anthropiques de mercure dans l'environnement. Pollution Probe a récemment élargi son champ d'intérêts pour englober d'autres préoccupations, dont les risques tout particuliers que font courir aux enfants les contaminants de l'environnement, les risques pour la santé liés à des expositions dans des environnements intérieurs et la conception d'outils innovateurs pour promouvoir un comportement responsable envers l'environnement. Nous avons également commencé à élaborer un vaste programme qui porte sur l'eau, de façon à mettre à jour notre compréhension des questions relatives à la gestion de l'eau, et à définir un ensemble de buts et de mesures à cet effet. Depuis 1993, dans le cadre de son engagement permanent envers l'amélioration de la qualité de l'air, Pollution Probe a mené une campagne air pur annuelle, durant le mois de juin, afin d'augmenter la sensibilisation aux liens entre les émissions des véhicules, le smog, les changements climatiques et les problèmes respiratoires afférents chez les humains. La Clean Air Campaign a aidé le ministère de l'Environnement de l'Ontario à concevoir un programme de vérification obligatoire des émissions des véhicules.

Pollution Probe présente des solutions innovatrices et pratiques aux problèmes environnementaux causés par la pollution de l'air et de l'eau. En définissant les problèmes de l'environnement et en préconisant des solutions pratiques, nous nous appuyons sur de solides connaissances scientifiques et technologiques, nous mobilisons les scientifiques et autres experts, et nous établissons des partenariats avec l'industrie, les gouvernements et les collectivités.



SEPTEMBRE 2003

Pollution Probe est heureuse de présenter cet abécédaire sur les technologies de l'énergie renouvelable. Il a été rédigé pour permettre au grand public de mieux comprendre les possibilités d'adopter au Canada des sources de production d'énergie fondées sur des technologies plus propres et à moindre intensité de gaz à effet de serre. L'abécédaire peut aussi être lu de concert avec les abécédaires gratuits de Pollution Probe sur le smog, les pluies acides, les changements climatiques et le mercure, ainsi qu'avec nos rapports de recherche sur l'énergie verte et notre guide à l'intention des consommateurs sur l'achat d'énergie verte.

Pollution Probe a pour but de veiller à ce que les gouvernements et l'industrie adoptent des politiques et des programmes qui engendrent un environnement plus propre et plus sûr. Pour accomplir cette mission, nous comptons sur l'appui d'une population bien informée et engagée.

Nous sollicitons vos commentaires. Nous aimerions aussi connaître l'utilité de l'abécédaire, pour vous et pour les personnes avec qui vous le partagerez. Nous vous serions reconnaissants de le faire connaître à d'autres personnes et aussi de faire savoir qu'il est disponible gratuitement sur notre site web (www.pollutionprobe.org/Publications/Energy.htm). On peut aussi obtenir des copies imprimées en acquittant les frais d'impression et de distribution.

K. B. Ogilvie

**Le directeur exécutif,
Ken Ogilvie**



REMERCIEMENTS

Pollution Probe remercie chaleureusement les organismes suivants pour leur soutien financier et leur révision technique de l'ABC des Technologies de L'Énergie Renouvelable.

INDUSTRIE CANADA

ENVIRONNEMENT CANADA

BIOCAP CANADA

ONTARIO WATERPOWER ASSOCIATION

GROUPE INVESTORS

Nous remercions aussi les personnes suivantes, qui nous ont communiqué des renseignements techniques et/ou des commentaires sur l'abécédaire : Patricia Anderson, Cynthia Dyson, John Jaworski, Terry McIntyre, Paul Norris et Martin Tampier.

Pollution Probe est la seule responsable du contenu de cette publication.

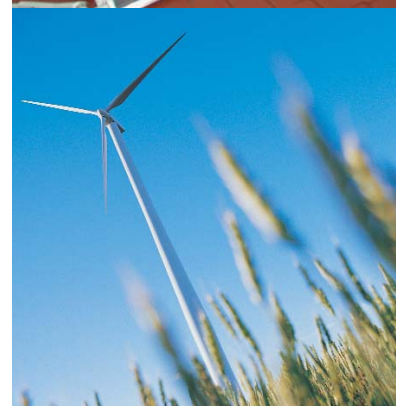
Randee Holmes et Susan Edwards ont effectué des recherches pour cette publication et l'ont rédigée; Kristen Butler et Melissa Felder ont assuré un soutien supplémentaire à la recherche. Nous tenons aussi à exprimer notre reconnaissance à notre personnel, Ken Ogilvie, Elizabeth Everhardus et Krista Friesen, pour son travail.

Un merci particulier à Shauna Rae pour la conception et la mise en page de l'abécédaire.

ISBN 0-919764-52-5

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	2
Chapitre un — Qu'est-ce que l'énergie renouvelable?	6
Pourquoi l'énergie renouvelable et pourquoi maintenant?	8
Chapitre deux — Eau	14
Comment fonctionnent les centrales hydroélectriques	15
Grosses centrales hydroélectriques	17
Petites centrales hydroélectriques	20
Marées	23
Vagues	28
Chapitre trois — Vent	34
Éolienne à axe horizontal	36
Éolienne à axe vertical	36
Chapitre quatre — Biomasse	42
De la biomasse à l'électricité et au chauffage	43
La biomasse comme combustible	48
Chapitre cinq — Soleil	52
Énergie solaire passive	53
Énergie solaire active	55
Énergie photovoltaïque	62
Chapitre six — Terre	68
Chauffage et climatisation à l'aide de thermopompes	69
Créer de l'électricité	73
Conclusion	76
Références	77





Terrain d'essais éoliens de l'Atlantique. Brian Simpson.

INTRODUCTION

Les Canadiens considèrent les technologies de l'énergie renouvelable sous un nouvel angle. Certaines de ces technologies, comme celles qui produisent de l'hydroélectricité, sont bien connues dans certaines parties du Canada. D'autres, comme les technologies utilisées pour produire de l'électricité à l'aide du vent ou du soleil, sont moins connues, mais sont plus répandues aujourd'hui qu'il y a 10 ans à peine.

Le but de L'ABC des Technologies de L'Énergie Renouvelable de Pollution Probe est de décrire certaines des principales technologies, particulièrement celles qui, au Canada, sont déjà utilisées ou font l'objet d'essais dans le cadre de projets pilotes. L'objectif est de stimuler votre intérêt pour les possibilités qu'offre l'énergie renouvelable et de vous inciter à appuyer les programmes qui en font usage.

L'ABC des Technologies de L'Énergie Renouvelable est divisé en six chapitres. Le premier explique ce qu'est l'énergie renouvelable. Par exemple, pourquoi l'appelle-t-on ainsi et pourquoi les Canadiens la considèrent-ils sous un nouvel angle, en tant que source d'électricité, de chaleur et, dans certains cas, de carburant?

Le deuxième chapitre étudie l'eau comme source d'énergie électrique. Il comprend quatre sections. La première traite des grosses centrales hydroélectriques, ce qui vient probablement à l'esprit des Canadiens lorsqu'ils pensent à l'électricité produite à l'aide de l'eau. Mais près de la moitié des 450 installations hydroélectriques estimées au Canada sont de capacité relativement petite, de l'ordre des 20 à 25 mégawatts, si on les compare à la capacité de 1 577 mégawatts de la centrale Adam Beck II, à Niagara Falls. La deuxième section de ce chapitre explique comment fonctionnent les plus petites installations hydroélectriques. La troisième section examine comment les marées sont captées de façon à produire de l'électricité et la quatrième explique comment on utilise les vagues pour produire de l'électricité.

Le troisième chapitre explique comment on utilise le vent pour produire de l'électricité et décrit quelques-uns des projets d'aérogénérateurs et de parcs d'éoliennes qui sont en place et exploités ou encore qui sont à l'essai au Canada.



Le quatrième chapitre traite de la biomasse. Il décrit les technologies utilisées au Canada pour transformer l'énergie tirée de plantes agricoles, d'arbres à croissance rapide et des résidus de sciage en électricité, et explique comment en tirer des carburants pour les automobiles et les camions.

Le cinquième chapitre explique les technologies utilisées pour capter l'énergie solaire. Ce chapitre est divisé en deux sections : l'énergie héliothermique et l'énergie photovoltaïque. La première utilise l'énergie du soleil pour chauffer l'eau et l'air dans des immeubles, de même que pour produire de l'électricité. La deuxième capte l'énergie du soleil dans des cellules et la convertit directement en électricité.

Finalement, le sixième chapitre décrit certaines des technologies associées à l'énergie géothermique utilisée pour produire de l'électricité ainsi que pour chauffer l'air et l'eau dans des maisons, des bureaux, des écoles et des immeubles.





Centrale solaire à tour. US Department of Energy.

QU'EST-CE QUE L'ÉNERGIE RENOUVELABLE? CHAPITRE UN

Dans le terme énergie renouvelable, le mot renouvelable signifie que les sources captées pour créer de l'énergie se renouvellent et se reconstituent constamment et en un temps raisonnablement court (c.-à-d. des mois ou des années et non des siècles). Ces sources d'énergie sont l'eau, le vent, le soleil, la biomasse et la chaleur de l'intérieur de la planète.

Le terme énergie renouvelable exclut l'énergie créée à partir de combustibles nucléaires, tels que l'uranium, ainsi que les combustibles fossiles (pétrole, gaz et charbon), et ce pour deux raisons. D'abord, il faut des milliers d'années pour que les combustibles fossiles se forment et lorsqu'on les retire, il faut encore des milliers d'années pour qu'ils se reforment. Deuxièmement, les approvisionnements en uranium et en combustibles fossiles du Canada, ceux du monde à vrai dire, sont limités.

Le terme énergie renouvelable n'est pas toujours synonyme de ce qu'on appelle souvent énergie « verte ». En général, l'énergie verte désigne l'énergie tirée de sources renouvelables, qui laisse une plus petite empreinte environnementale que les énergies produites à grande échelle, y compris certaines sources d'énergie renouvelables. En l'occurrence, bien qu'ils utilisent de l'énergie renouvelable et ne contribuent pas à la pollution de l'air, certains projets hydroélectriques de grande capacité nécessitent d'énormes barrages et réservoirs, qui inondent des milliers d'hectares de nature sauvage et perturbent les modes de migration des poissons et de la faune. À l'opposé, certains petits projets hydroélectriques au fil de l'eau utilisent le courant d'une rivière pour produire de l'électricité; ces projets sont moins susceptibles de perturber l'environnement ou les écosystèmes locaux.

Il y a deux autres points importants concernant l'énergie renouvelable. En premier lieu, même si elles se renouvellent rapidement, certaines de ces formes d'énergie sont intermittentes, que ce soit sur une base quotidienne ou saisonnière. Il y a des jours sans soleil ou sans vent, et il est assurément rare que le soleil et le vent soient constants tout au long de la journée. Dans certains cas, la technologie nécessite un moyen de stocker l'énergie créée. Dans la plupart des cas, l'électricité produite à l'aide de ces sources renouvelables intermittentes est complétée par de l'électricité produite à l'aide d'autres moyens, plus fiables, tels que l'énergie hydroélectrique en stockage.

Cela mène au deuxième point. Lorsqu'on utilise l'énergie renouvelable pour produire de l'électricité, celle-ci est souvent dirigée vers un réseau électrique provincial ou territorial, où elle s'ajoute à une banque d'électricité produite à l'aide de plusieurs sources, y compris de l'énergie non renouvelable. Les gouvernements, les services publics et de nombreux particuliers canadiens espèrent voir croître la quantité et la proportion globale de l'électricité produite à l'aide de sources d'énergie renouvelables ayant peu d'impact, ce qui serait une manière importante de protéger la santé humaine et l'environnement.

Pourquoi l'énergie renouvelable et pourquoi maintenant?

Les Canadiens portent un nouvel intérêt à l'énergie renouvelable, et ce pour plusieurs raisons. Tout d'abord, l'électricité tirée de sources d'énergie renouvelables produit moins d'émissions de gaz à effet de serre, associés aux changements climatiques, que l'électricité tirée des combustibles fossiles. De la même façon, l'énergie renouvelable rejette en général moins de polluants dans l'air, y compris les suivants :

- le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote, qui créent les pluies acides;
- les matières particulaires qui, avec l'ozone troposphérique, forment le smog au cours des journées chaudes et ensoleillées de l'été;
- le mercure, qui peut être transformé dans l'environnement et devenir hautement toxique pour les personnes et les animaux.

Pour obtenir davantage de renseignements sur les effets nocifs des pluies acides, du smog et du mercure, veuillez consulter *The Acid Rain Primer*, *The Smog Primer* et *Mercury in the Environment : A Primer* à www.pollutionprobe.org/Publications/Index.thm.

Ensuite, lorsque les Canadiens utilisent de l'énergie renouvelable à faible incidence, ils aident à protéger le sol et l'eau. Lorsque de vastes projets énergétiques sont mis en œuvre, ils ont le potentiel d'altérer radicalement les bassins hydrographiques, les voies migratoires et les habitats des poissons et de la faune. Et même si beaucoup d'installations ont grandement amélioré leurs pratiques et leurs technologies, leurs répercussions sur l'environnement peuvent encore être très importantes.

De plus, non seulement l'approvisionnement en énergie renouvelable est-il presque illimité (à un bon prix), celle-ci offre la possibilité de maintenir des prix relativement stables. Vers la fin des années 1990 et au cours des premières années du XXI^e siècle, les Canadiens ont vu les prix du pétrole et du gaz monter en flèche, dégringoler puis remonter, en raison en partie du temps froid et en partie de la situation politique internationale. L'accroissement de l'utilisation de l'énergie renouvelable produite localement peut aider à protéger les consommateurs des mouvements de prix considérables.

En Ontario, en Alberta et en Nouvelle-Écosse, les clients peuvent dorénavant soutenir la production d'électricité à l'aide de sources renouvelables grâce à plusieurs programmes différents. Dans la plupart des cas, les clients paient leur facture d'électricité ordinaire et soutiennent l'utilisation de l'énergie verte pour produire l'électricité en payant des frais supplémentaires ou par l'entremise d'un programme distinct (voir le Consumer Guide to Purchasing Green Power à www.pollutionprobe.org/Publications/Energy.htm).

Ontario Power Generation Inc. offre à ses clients commerciaux, industriels et individuels la possibilité d'acheter de l'électricité tirée de l'énergie verte par l'entremise d'un programme appelé Evergreen. L'énergie est produite à l'aide de sources renouvelables, telles que le vent, la biomasse et l'hydroélectricité à faible incidence. Oakville Hydro Energy Services Inc. rend disponible le programme Evergreen aux résidents de l'Ontario en vendant ses Green Light Pacts, que les clients achètent en plus de payer leur facture d'électricité. Chaque Green Light Pact complet permet la production et la distribution de 660 kilowattheures d'énergie verte par le réseau de distribution électrique de l'Ontario. Cela équivaut à l'électricité utilisée par un ménage type durant environ trois semaines (voir www.opg.com/envComm/E_greenPower.asp ou www.oakvillehydro.com).

La Grey Bruce Renewable Energy Cooperative (GBREC) a conçu un programme de vente d'étiquettes vertes afin de soutenir la production d'énergie éolienne en Ontario. La GBREC achète des étiquettes vertes de producteurs d'énergie éolienne tels que Sky Generation et la Port Albert Wind Farm, et les vend à des résidents de l'Ontario et à

d'autres Canadiens. Chaque étiquette verte soutient la production de 1 000 kilowattheures d'électricité tirée de l'énergie éolienne. On peut se procurer les étiquettes vertes directement de Green Tags Ontario et auprès de plusieurs groupes communautaires (voir www.greentagsontario.com).

Windshare, un projet conçu par la Toronto Renewable Energy Cooperative (TREC) en partenariat à parts égales avec les Toronto Hydro Energy Services, présente une autre possibilité. Windshare a érigé une aérogénératrice dans le secteur riverain de Toronto et prévoit en ériger une deuxième. Pour financer sa moitié du projet, TREC offre aux particuliers et aux sociétés la possibilité d'acheter des actions dans les éoliennes et l'électricité qu'elles produisent (voir www.windshare.ca).

En Alberta, Canadian Hydro Developers Inc. vend des certificats d'énergie renouvelable, qui sont comparables aux étiquettes vertes. De plus, l'ENMAX Energy Corporation offre à ses clients la possibilité de payer des frais additionnels, ajoutés à leur facture d'électricité, afin de soutenir l'achat d'énergie éolienne en Alberta. À compter de 2005, les deux sociétés produiront suffisamment d'énergie verte pour fournir environ 90 % de l'électricité utilisée en Alberta par les installations appartenant au gouvernement. Les contrats ont été élaborés en réponse à un appel d'offres lancé par le gouvernement de l'Alberta; lorsqu'ils entreront en vigueur, les contrats engendreront des économies annuelles d'environ quatre millions de dollars (voir www.canhydro.com ou www.enmax.com/doorway.htm).

Qu'est-ce qu'un réseau électrique?

Il s'agit d'un réseau qui comprend ce qui suit :

- la centrale électrique où l'électricité est produite;
- les transformateurs de la centrale, qui augmentent le voltage ou la tension de l'électricité afin qu'elle puisse franchir de longues distances;
- les tours et les câbles de haute tension qui transportent l'électricité à travers le pays;
- les sous-stations, près des villes et des villages, où des transformateurs réduisent le voltage de l'électricité afin qu'elle soit acheminée par le système de distribution de façon sécuritaire dans les municipalités;
- les poteaux et câbles qui transportent l'électricité à travers la ville ou le village et, en bout de ligne, dans les parcs industriels, les entreprises locales et les foyers.

Que sont les watts?

Le watt est une unité d'énergie nommée en l'honneur de l'inventeur écossais James Watt (1736-1819), utilisée pour mesurer l'électricité. Les watts sont de très petites unités. Une ampoule électrique a habituellement une puissance de 25, 40, 60 ou 100 watts.

Un kilowatt, c'est 1 000 watts.

Le kilowattheure est une unité d'énergie électrique, équivalente à un kilowatt de puissance utilisée par heure. Il est égal à 1 000 watts/heure – l'énergie nécessaire pour garder 10 ampoules de 100 watts allumées pendant une heure. Un kilowatt-heure est l'unité en fonction de laquelle sont facturés les clients sur les factures d'électricité.

Selon l'Ontario Power Generation, le ménage moyen en Ontario consomme environ 11 600 kilowattheures chaque année, bien que les nouvelles maisons n'utilisent plutôt qu'environ 7 000 kilowattheures par année.

En 1999, la consommation totale d'électricité au Canada s'élevait à 497 000 000 000 kilowattheures.

Sur la côte est, Nova Scotia Power offre à ses clients la possibilité de soutenir la production éolienne d'électricité en achetant des blocs de 125 kilowattheures d'énergie verte, en plus de payer leur utilisation d'électricité au compteur (voir www.nspower.com).



Que sont les watts? (suite)

Les services publics utilisent parfois des kilowattheures lorsqu'ils font état de la quantité d'électricité qu'une centrale est en mesure de produire chaque année. Par exemple, l'Annapolis Tidal Generating Station, en Nouvelle-Écosse, a une capacité de production de 30 millions de kilowattheures par année.

Le plus souvent, les niveaux de capacité de production des installations sont exprimés en mégawatts. Pour obtenir la quantité théorique d'énergie qu'une centrale est en mesure de produire en une année, il faut multiplier la capacité par le nombre d'heures qu'il y a dans l'année et appliquer ensuite un facteur de capacité (le temps durant lequel l'usine produirait à plein rendement).

Un mégawatt, c'est un million de watts. Les sociétés ou les services publics parlent habituellement de la quantité d'électricité qu'une centrale est en mesure de produire en termes de mégawatts. Par exemple, l'Annapolis Tidal Generation Station, en Nouvelle-Écosse, a une capacité de 20 mégawatts, ce qui veut dire qu'elle peut produire 20 mégawatts d'énergie électrique à la fois.

Un gigawatt, c'est un milliard de watts, ou 1 000 mégawatts.

Un terawatt, c'est un million de millions de watts, ou un million de mégawatts.



Centrale de Wawatay. Regional Power Inc.

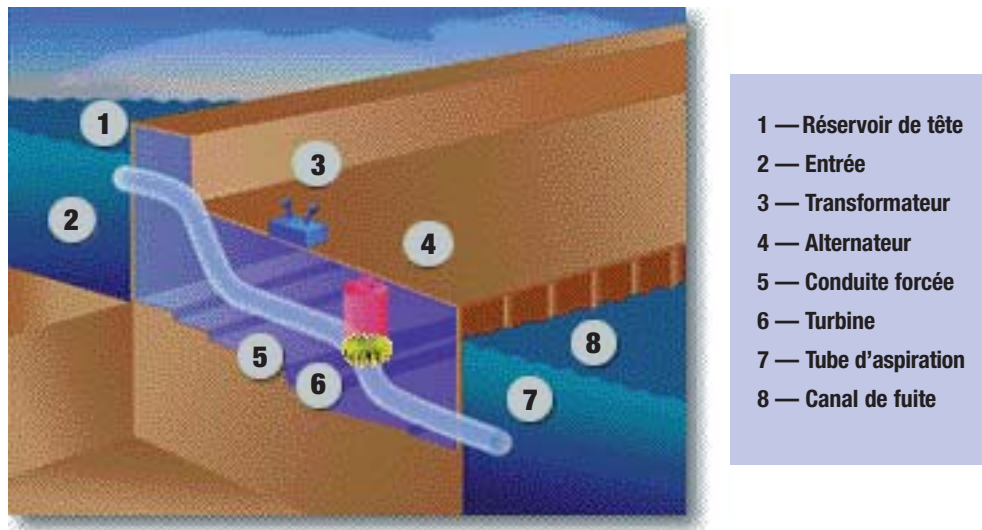
EAU CHAPITRE DEUX

Les sociétés utilisent l'eau comme source d'énergie depuis des milliers d'années. La première mention de l'énergie hydraulique fait état d'une horloge à l'eau en 250 av. J.-C. Au cours des XVIII^e et XIX^e siècles, de nombreuses collectivités se sont développées le long des rivières parce que celles-ci fournissaient l'énergie nécessaire pour faire tourner la roue à aubes du moulin local. Ce chapitre décrit quatre façons dont l'énergie de l'eau en mouvement est mise à profit pour créer de l'électricité – les grandes centrales hydroélectriques et les petites centrales hydroélectriques, les centrales marémotrices et les centrales houlomotrices.

Comment fonctionnent les centrales hydroélectriques

Qu'elles soient grandes ou petites, les centrales hydroélectriques produisent de l'électricité de la même façon. La différence est dans la taille des projets et dans la quantité d'électricité produite. Les centrales hydroélectriques convertissent le potentiel d'énergie de l'eau en énergie électrique en créant une chute du dénivelé de l'eau. Certaines centrales hydroélectriques tirent parti d'une chute naturelle du dénivelé d'une rivière (p. ex. la centrale Sir Adam Beck de l'Ontario Power Generation, à Niagara Falls). De nombreuses centrales hydroélectriques utilisent toutefois des barrages pour faire monter les niveaux d'eau en amont de la centrale et utilisent la baisse des niveaux pour produire davantage d'électricité ou pour stocker de l'eau et la libérer pour produire de l'électricité en fonction de la demande.

FIGURE 1 COMMENT FONCTIONNE LA PRODUCTION HYDROÉLECTRIQUE



Source : www.opg.com

La quantité d'électricité produite dépend de la distance verticale que l'eau franchit et du débit de l'eau. Le débit est une mesure du volume d'eau qui franchit un certain point durant un certain temps, habituellement une seconde. On ne s'étonnera pas que les grandes centrales électriques soient souvent situées là où il y a une grosse chute et/ou de grandes quantités d'eau, tandis que les petites centrales sont habituellement situées où il y a une petite chute ou une petite quantité d'eau.

- L'eau de la rivière ou du réservoir derrière le barrage passe par une ouverture, habituellement une prise d'eau, et ensuite dans un tuyau appelé conduite forcée.
- L'eau traverse la conduite forcée sous pression jusqu'à son extrémité, où se trouve une turbine.
- La force de l'eau fait tourner les aubes de la turbine, qui font tourner l'arbre à l'intérieur.
- L'arbre de la turbine est relié à un alternateur, qui produit de l'électricité.
- Une fois passée la turbine, l'eau circule dans un conduit, appelé aspirateur, sort de la centrale par un canal, appelé canal de fuite, et retourne à la rivière.

Comment une turbine produit-elle de l'électricité?

En termes très simples, l'électricité est produite par des électro-aimants qui tournent à l'intérieur d'une bobine de fil dans un alternateur pour créer un flux d'électrons. Afin de maintenir les électro-aimants en mouvement, la centrale hydroélectrique utilise une chute d'eau. L'eau entre par la prise d'eau dans une conduite qui l'achemine vers le bas jusqu'à la turbine. La turbine est reliée à un alternateur. Lorsque la turbine est mise en marche, elle fait tourner l'alternateur, ce qui produit de l'électricité.

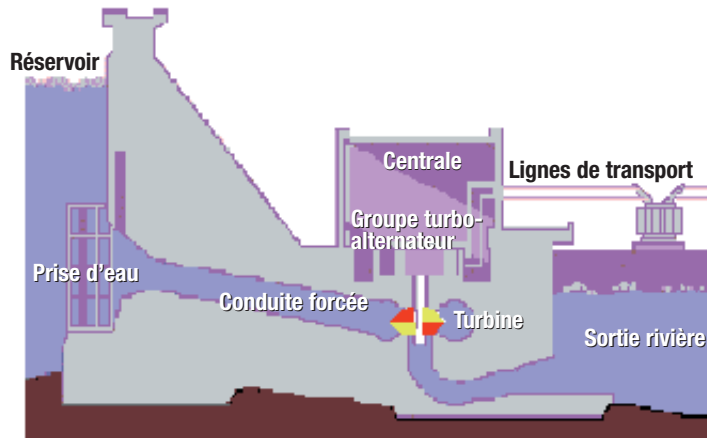
Grosses centrales hydroélectriques

Au Canada, on qualifie de grosses centrales hydroélectriques celles dont la capacité annuelle dépasse les 20 à 25 mégawatts. Il y a trois types courants de grosses centrales hydroélectriques, chacune étant assortie de variations : barrage et réservoir, au fil de l'eau et à réserve pompée.

Barrage et réservoir. Un grand nombre de grosses centrales hydroélectriques utilisent un barrage pour hausser le niveau de l'eau ainsi qu'un réservoir pour stocker l'eau derrière le barrage. Le réservoir donne aux entreprises de services publics une source fiable d'eau, leur permettant d'adapter la quantité d'électricité produite en fonction de la demande quotidienne, hebdomadaire et saisonnière, et dans certains cas, au cours des années sèches et pluvieuses. Lorsque la demande augmente, l'entreprise réagit en augmentant le débit d'eau à la turbine.

Au fil de l'eau. Certaines grosses centrales hydroélectriques utilisent à la fois un débit élevé et des chutes d'eau naturelles élevées. En règle générale, on utilise un petit barrage ou un déversoir pour détourner l'eau vers la centrale. (Un déversoir est une structure qui permet à l'excédent d'eau de retomber de l'autre côté.) Dans certains cas, on n'utilise ni barrage ni déversoir, et l'on permet à une partie de l'eau de suivre son cours naturel dans la rivière. Lorsqu'on n'utilise ni barrage ni déversoir, ou que ceux-ci sont très petits, les centrales hydroélectriques ne peuvent mettre de l'eau en réserve bien longtemps. Ces centrales, qui utilisent le débit de la rivière de façon à ne pas modifier de manière appréciable son cours et son niveau, sont appelées centrales au fil de l'eau. Étant donné que ces centrales dépendent avant tout du débit naturel de la rivière, la quantité d'électricité produite varie de jour en jour, de saison en saison et d'année en année, selon le volume d'eau dans la rivière. (Les centrales Sir Adam Beck sur la rivière Niagara sont des exemples de centrales au fil de l'eau de grande capacité.)

FIGURE 2 **GROSSE CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE TYPE
AVEC BARRAGE ET RÉSERVOIR**



Source : US Geological Survey. *Water Science for Schools.*

- **Barrage et réservoir** – Le barrage fait grimper le niveau d'eau et le réservoir met l'eau en réserve à des fins d'utilisation future.
- **Prise d'eau** – L'eau entre dans la prise d'eau par gravité.
- **Conduite forcée** — L'eau qui entre par la prise d'eau circule sous pression dans un tuyau appelé conduite forcée.
- **Turbine** — La force de l'eau coulant vers le bas dans la conduite forcée fait tourner la turbine.
- **Alternateur** — L'arbre de la turbine entre dans l'alternateur, qui produit de l'électricité.
- **Lignes de transport** – Les lignes de transport acheminent l'électricité jusqu'à destination.

Centrale à réserve pompée. Certains producteurs d'électricité utilisent un système de production hydroélectrique « à réserve pompée ». Ils utilisent la capacité de production d'électricité excédentaire des turbines, habituellement disponible la nuit, pour pomper de l'eau d'un réservoir à un autre, situé à une élévation supérieure. Durant les périodes de demande de pointe, le producteur libère l'eau stockée dans le plus élevé des réservoirs, qui passe dans la conduite forcée jusqu'aux turbines et ensuite aux réservoirs de niveau inférieur. Les centrales à réserve pompée consomment en fait plus d'électricité pour pomper l'eau du réservoir inférieur au réservoir supérieur qu'elles n'en produisent. Mais elles sont utiles parce qu'elles permettent aux producteurs de produire de l'électricité lorsque la demande est élevée, par exemple au début de la matinée ou de la soirée. La capacité d'utiliser une réserve pompée est encore plus précieuse si le producteur utilise des sources d'énergie renouvelables intermittentes, telles que le soleil ou le vent.

Système en cascade. De nombreuses installations de production d'hydroélectricité sont organisées en systèmes en cascade, de sorte que les réserves d'eau du réseau hydrographique passent « en cascade » par de multiples installations. L'eau libérée d'un réservoir en amont passera tour à tour à travers diverses stations en aval dans des délais correspondant aux distances entre les installations et au débit. Les installations en aval ne sont donc pas nécessairement exploitées indépendamment les unes des autres; les installations du réseau produisent de l'électricité à partir de la même réserve d'eau libérée au départ, plutôt qu'à partir de leurs propres réservoirs, et doivent être exploitées de façon à réagir de manière semblable et concertée à l'eau libérée à l'origine. Il existe des variations, par exemple lorsque les installations du réseau ont une capacité de stockage excédentaire dans des réservoirs de retenue individuels, ou lorsqu'ils disposent d'autres sources d'eau telles que d'importants tributaires.

Considérations. Les grosses et, à vrai dire, toutes les centrales hydroélectriques produisent de l'électricité de manière relativement efficace. En fait, elles convertissent environ 90 % de l'énergie disponible – provenant de l'eau – en électricité; cela est

plus efficace que toute autre méthode de production d'électricité. Les centrales hydroélectriques avec des barrages et des réservoirs sont aussi des producteurs d'électricité fiables parce qu'elles disposent de réserves d'eau auxquelles elles peuvent avoir un accès immédiat.

Bien que les grosses centrales hydroélectriques utilisent l'eau comme source d'énergie, elles ont souvent besoin de barrages qui peuvent engendrer l'inondation de vastes superficies de zones écologiquement vulnérables. Ces barrages et réservoirs peuvent aussi détruire ou modifier l'habitat des poissons et les routes de migration des poissons et des espèces fauniques, tout en obligeant des personnes à relocaliser leurs collectivités. En règle générale, les grosses centrales ont une plus grande empreinte environnementale que les petites.

Petites centrales hydroélectriques

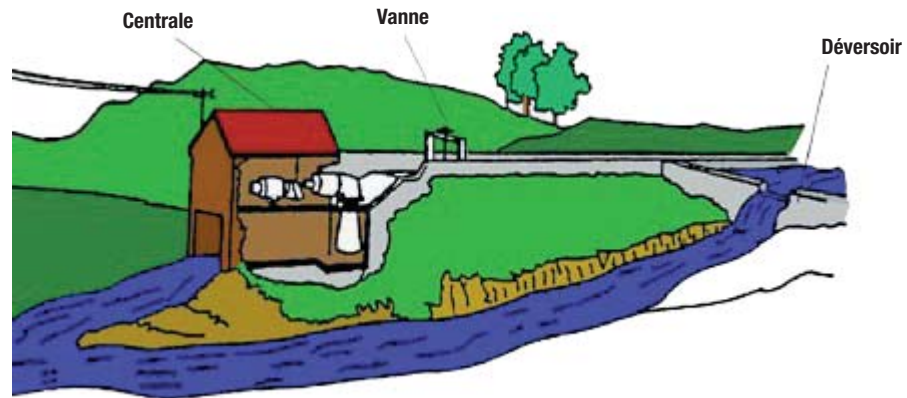
Il n'existe aucun consensus au Canada ou, à vrai dire, au monde, sur ce qui constitue une petite centrale hydroélectrique. En Ontario, par exemple, il n'y a aucune définition de « petite ». Au Québec, on entend par petite centrale celle dont la capacité est inférieure à 25 mégawatts, tandis qu'en Colombie-Britannique, il s'agit de centrales ayant une capacité de 2 à 50 mégawatts. À l'échelle internationale, les petites centrales sont souvent celles qui ont une capacité de 10 mégawatts ou moins. Les centrales hydroélectriques ayant une capacité de 100 kilowatts à 1 mégawatt sont parfois qualifiées de mini-centrales hydroélectriques, et celles dont la capacité est inférieure à 100 kilowatts sont souvent qualifiées de micro-centrales hydroélectriques. En Colombie-Britannique toutefois, les micro-centrales sont celles qui ont une capacité inférieure à 2 mégawatts.

Malgré les divergences dans les définitions, la distinction importante, sur le plan de l'environnement, n'est pas la taille du projet mais plutôt les effets locaux et cumulatifs potentiels des installations sur l'environnement.

Il existe deux types de petites centrales hydroélectriques : celles qui utilisent des déversoirs et des barrages, et les installations au fil de l'eau.

Déversoirs et barrages. La plupart des petites centrales hydroélectriques utilisent des barrages, des déversoirs ou des déviations, sans pour autant causer des inondations importantes. Si une petite centrale doit mettre de l'eau en réserve, il s'agit habituellement d'une faible quantité, qui est mise en réserve dans un lac existant en amont, durant une période relativement courte.

FIGURE 3 PETITE CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE AVEC DÉVERSOIR



Source : Fraenkel et al. 1991. Micro-hydro Power — A Guide for Development Workers.
London: Intermediate Technology Publications.

- **Barrage ou déversoir** — S'il y a un barrage ou un déversoir, celui-ci est bas, de construction simple et utilisé pour orienter l'eau vers le canal ou la conduite forcée.
- **Prise d'eau ou vanne** — L'eau passe de la rivière ou du cours d'eau à la prise d'eau, qui comprend une grille qui retient les déchets et les débris circulant dans le cours d'eau ou la rivière.
- **Turbine** — La force du courant fait tourner les aubes et l'arbre de la turbine.
- **Groupe turbo-alternateur ou centrale** — L'arbre de la turbine est relié à l'alternateur, qui produit de l'électricité.
- **Canal de fuite** — Le canal de fuite achemine l'eau à la rivière.

Au fil de l'eau. Les centrales au fil de l'eau dévient l'eau, habituellement à un petit barrage ou un déversoir, l'acheminant à la centrale par l'entremise d'un canal ou d'une conduite forcée, pour la retourner à la rivière sans modifier de manière appréciable les débits ou les niveaux existants.

Considérations. À l'instar des grosses centrales, les petites centrales hydroélectriques produisent très efficacement de l'électricité à faible coût. Toutefois, si la centrale ne stocke pas de l'eau dans un lac ou un petit réservoir à proximité, la quantité d'énergie qui peut être produite n'est pas aussi fiable et varie de jour en jour, de saison en saison et d'année en année. Par exemple, au cours des années sèches, la centrale ne produira pas autant d'électricité qu'au cours des années pluvieuses; la centrale produira plus d'électricité durant une journée très pluvieuse que durant une journée sans pluie. Le coût de l'électricité produite par les petites centrales est habituellement plus élevé que celui de l'électricité des grosses centrales en raison des économies d'échelle.

Les incidences environnementales des petites centrales peuvent être moindres que celles des grosses. Une bonne conception et une bonne planification peuvent souvent atténuer les agressions environnementales d'une petite centrale. Par exemple, une échelle à poisson peut permettre aux poissons de contourner sans danger la centrale. Il est toutefois possible que l'effet cumulatif sur l'environnement de nombreuses petites centrales dans un réseau hydrographique puisse être important. Même les petites centrales hydroélectriques ne peuvent être examinées indépendamment les unes des autres.

Quelques faits

Le mot « hydro » vient du mot grec « hydra » qui veut dire « eau ».

La première centrale hydroélectrique du Canada a été construite en 1882 aux chutes de la Chaudière, sur la rivière des Outaouais. La centrale fournissait l'électricité pour deux lampes à arc d'une scierie, à Ottawa.

La première ligne de transport d'électricité à haut voltage et à grande distance est entrée en service en 1897. La ligne, d'une longueur de 29 kilomètres et d'une capacité de 11 000 volts, transportait l'électricité d'une centrale de 895 kilowatts sur la rivière Batiscan jusqu'à Trois-Rivières, au Québec.

Marées

Tous les jours, deux fois par jour, les marées montent et descendent : en certains endroits, elles atteignent environ un mètre seulement et dans d'autres, comme dans la baie de Fundy, sur la côte est du Canada, elles peuvent atteindre 6,3 mètres (21 pieds). Les premiers indices d'utilisation de la puissance et de la régularité des marées pour effectuer du travail nous viennent du X^e siècle. Les habitants des côtes construisaient des barrages à l'ouverture des bassins, de manière à ce que l'eau puisse entrer à la marée montante mais ne puisse en sortir à la marée descendante. Au lieu, l'eau ainsi captée passait par des roues hydrauliques ou des roues à aubes, qui faisaient tourner des meules pour transformer les céréales en farine.

Les Français ont bâti la première centrale électrique marémotrice commerciale au cours des années 1960, près de Saint-Malo, sur la côte nord de la France. D'une capacité de 240 mégawatts, la centrale La Rance est la plus grande centrale marémotrice du monde. Le Canada a emboîté le pas en 1984 avec la centrale marémotrice d'Annapolis, dans le bassin de l'Annapolis, en Nouvelle-Écosse. L'autre centrale marémotrice en exploitation aujourd'hui est située à Kislaya Guba, près de Murmansk, sur la mer Blanche, en Russie. Cette centrale a une capacité de 0,5 mégawatt.

Bien que la marée monte et descende deux fois par jour dans toutes les régions côtières, il doit exister une différence d'au moins cinq mètres entre la marée haute et la marée basse pour rentabiliser une centrale marémotrice. Aujourd'hui, on estime qu'il existe

environ 40 régions dans le monde qui soient propices à des centrales marémotrices.

Comment fonctionne la technologie — Dans certains cas, la technologie fonctionne aujourd’hui tout comme il y a 1 000 ans – en mettant à profit la puissance des changements de marées à l’aide de barrages, qu’il s’agisse de barrages proprement dits ou de barrières à marée.

Barrage. La technologie la plus simple et la plus ancienne consiste à construire un barrage dans une baie ou un estuaire où l’on observe de fortes différences d’élévations entre la marée haute et la marée basse. Lorsque la marée monte, l’eau remplit la zone derrière le barrage. Lorsque la marée commence à descendre, les vannes du barrage se referment pour retenir l’eau à sa hauteur maximum. Une fois la marée baissée, on permet à l’eau de passer par les ouvertures près de la base du barrage, où est située la turbine. L’eau, qui coule maintenant avec une grande énergie, fait tourner les aubes de la turbine qui, à son tour, produit de l’électricité. La centrale marémotrice du bassin d’Annapolis utilise cette méthode.

La centrale marémotrice d’Annapolis.

La centrale marémotrice d’Annapolis est située dans le bassin d’Annapolis, près de l’embouchure de la rivière Annapolis, entre Granville Ferry et Annapolis Royal. Le bassin d’Annapolis s’ouvre dans la baie de Fundy, qui possède les plus hautes marées au monde.

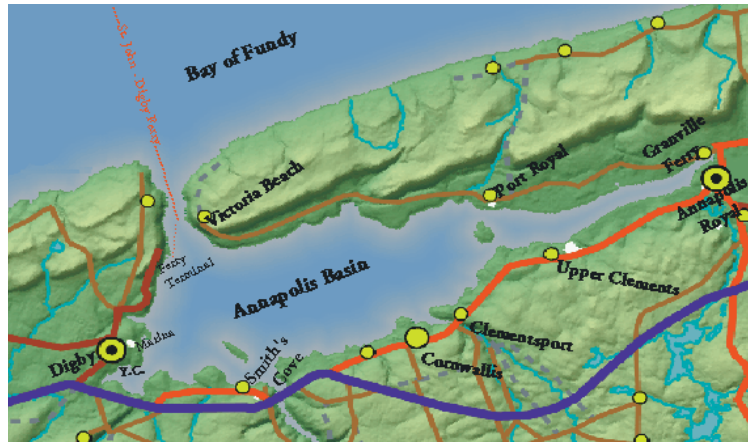
Quelques faits

Aujourd’hui, le Canada compte 450 grosses et petites centrales hydroélectriques, ayant une capacité conjuguée de 65 678 mégawatts.

L’Ontario possède environ 200 centrales hydroélectriques.

Les centrales hydroélectriques du Canada produisent environ 60 % de l’électricité du pays et représentent 13 % de la capacité de production hydroélectrique du monde.

FIGURE 4 CARTE DU BASSIN D'ANNAPOLIS

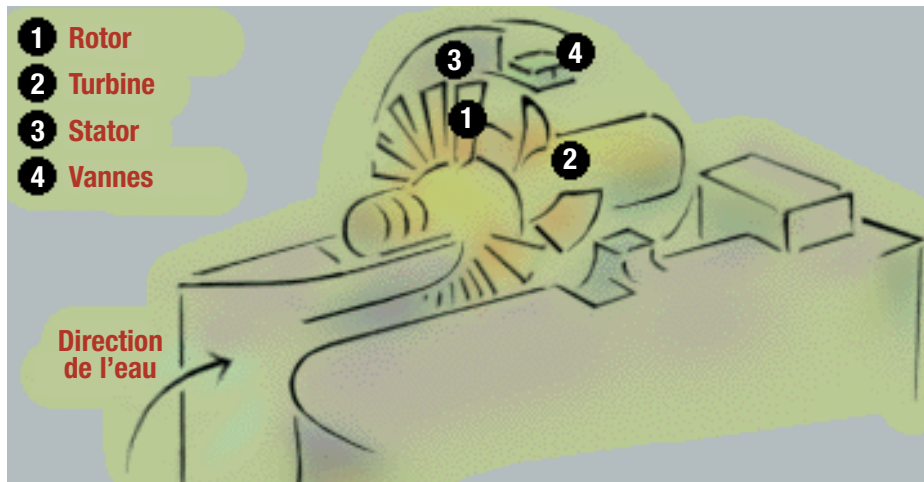


Source : www.annapolisbasin.com

La turbine de cette centrale est une turbine à simple effet, ce qui veut dire qu'elle produit de l'électricité seulement lorsque l'eau coule vers la mer ou, dans le cas présent, vers la baie de Fundy.

- Lorsque la marée monte, l'eau entre par les vannes dans la zone derrière le barrage.
- Une fois que l'eau a atteint son niveau le plus élevé, la vanne se ferme.
- Lorsque la marée commence à baisser, et que le niveau d'eau baisse, les cloisons de la centrale s'ouvrent.
- L'eau traverse la turbine à un taux d'environ 400 mètres cubes à la seconde.
- La turbine entraîne la production d'électricité par l'alternateur; l'électricité est ensuite acheminée par les lignes de transport partout en Nouvelle-Écosse.
- La centrale est capable de produire 30 millions de kilowatts/heure par année, soit assez d'électricité pour alimenter 4 500 maisons.

FIGURE 5 PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ MARÉMOTRICE



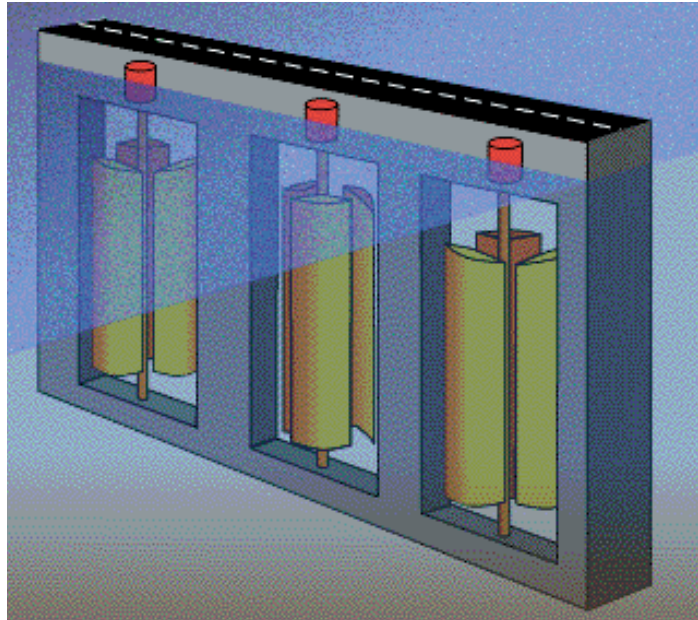
Lorsque la roue mobile tourne, les aimants des rotors passent devant les bobines de fil dans le stator, ce qui crée un courant électromagnétique, qu'on capte et qu'on convertit en électricité utilisable dans une centrale à proximité.

Source : www.nspower.ca

La barrière à marée et la turbine à marée sont deux autres façons de transformer l'énergie des marées en électricité.

Barrière à marée. Une entreprise canadienne est à construire une centrale marémotrice du côté sud du détroit de San Bernadino, dans les Philippines, qui utilisera une barrière à marée. La barrière à marée comprend une série de turbines à axe vertical montées à l'intérieur de la barrière, connue dans l'industrie sous le nom de « caisson ». Les barrières à marée ont l'avantage de pouvoir être utilisées dans des zones non confinées, telles que des canaux ou, dans le cas des barrières proposées pour le détroit de San Bernadino, entre des îles.

FIGURE 6 BARRIÈRE À MARÉE



Source : www.fujitaresearch.com

Turbine à marée. Bien qu'elles aient été proposées durant la crise du pétrole des années 1970, les premières turbines à marée ne sont pas entrées en service avant le milieu des années 1990, lorsqu'une turbine à marée de 15 kilowatts a été installée dans le Loch Linnhe, sur la côte ouest de l'Écosse, au nord de Glasgow. À l'heure actuelle, une entreprise du Royaume-Uni est à planifier une turbine à marée de 300 kilowatts pour produire de l'électricité à Lydmouth, dans le North Devon. Les turbines à marée ressemblent à des éoliennes, sauf que les pales (ou rotors) sont situées au tiers environ de la structure, et sont complètement submergées. Ces turbines utilisent le courant des marées ayant des vitesses de deux à trois mètres à la seconde

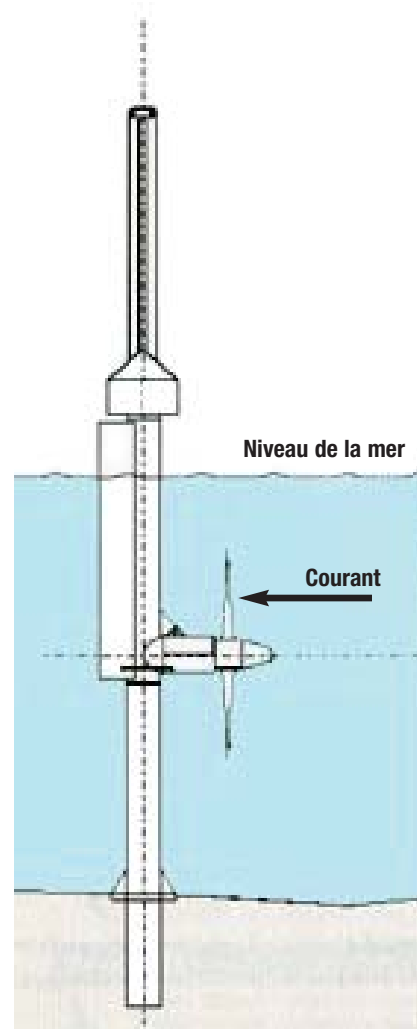
pour faire tourner les rotors ou les pales. Les courants de plus de trois mètres à la seconde imposent un trop grand stress aux pales, tout comme les gros coups de vent endommagent les éoliennes.

Considérations. Les marées sont une source d'énergie renouvelable gratuite, fiable et disponible 365 jours par année. Les technologies utilisées pour mettre à profit cette énergie et produire de l'électricité coûtent toutefois cher. En outre, certaines des technologies, comme celles qui exigent des barrages ou des digues, peuvent perturber les écosystèmes locaux et, si le barrage est assez gros, modifier la configuration locale des marées.

Vagues

Environ les deux tiers de la superficie de la terre sont couverts d'océans. Les vents qui soufflent à la surface des océans créent des vagues. Bien que l'énergie des vagues soit habituellement répartie sur des milliers de kilomètres de rivage, dans certaines régions côtières, la « densité énergétique » est suffisante pour produire de l'électricité de manière rentable. On trouve habituellement les meilleurs sites d'énergie houlomotrice le long des côtes ouest de l'Amérique du Nord et de l'Europe du Nord, qui font face à la haute mer.

FIGURE 7 TURBINE À MARÉE



Source : <http://acre.murdoch.edu.au>
(Copyright IT Power Ltd.)

Comment fonctionnent les technologies — Les technologies qui permettent de capter l'énergie des vagues ont été mises au point il n'y a que 30 à 35 années. L'Angleterre et le Japon ont été les premiers pays à mettre au point des méthodes pour capter l'énergie des vagues. Aujourd'hui, des entreprises ont construit ou sont à construire des installations qui convertissent l'énergie des vagues en électricité en Écosse, au Portugal, en Norvège, aux États-Unis, en Australie, en Inde et en Chine.

En gros, les convertisseurs d'énergie houlomotrice utilisent le mouvement ascendant et descendant des vagues pour produire de l'électricité. Il y a plusieurs types de systèmes. Certains systèmes extraient l'énergie des vagues de surface tandis que d'autres utilisent l'énergie des fluctuations de pression sous la surface de l'eau ou provenant de la vague elle-même. Certains systèmes sont fixes tandis que d'autres suivent le mouvement des vagues. Les méthodes les plus couramment utilisées pour capter l'énergie des vagues comprennent :

- le système à colonne d'eau oscillante;
- le système à piston flottant;
- le système à canal.

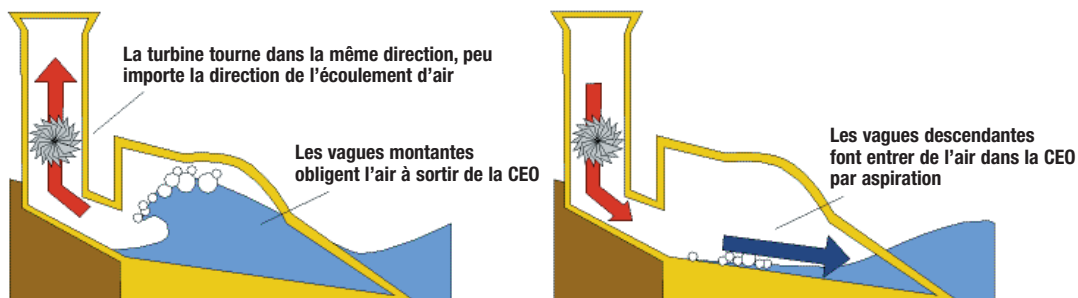
Le système à colonne d'eau oscillante. La colonne d'eau oscillante utilise une parabole, dont les deux bras sont orientés vers l'eau, et une structure partiellement submergée. La colonne est ouverte sur la mer sous la ligne d'eau et son extrémité supérieure, au-dessus de la surface de l'eau, est refermée, ce qui signifie que l'air est piégé à l'intérieur. La colonne d'eau oscillante produit de l'électricité en deux étapes. Lorsqu'une vague entre dans la colonne, elle pousse l'air qui se trouve dans la colonne fermée au travers d'une turbine, et accroît la pression dans la colonne. Lorsque la vague se retire, l'air passe à nouveau dans la turbine en raison de la réduction de la pression d'air du côté de l'océan.

Parabole — La vague entre dans la parabole, ce qui la concentre, augmentant sa hauteur et la pression exercée par l'eau sur l'air dans la colonne.

Colonne — La colonne est ouverte à la base pour permettre à la vague d’entrer et est fermée au sommet pour garder l’air à l’intérieur et sous pression.

Turbine — Lorsque la vague entre dans la colonne, elle comprime l’air et la propulse vers le haut, dans la turbine, ce qui la fait tourner. Un alternateur branché à la turbine produit de l’électricité. Lorsque la vague se retire, l’air de la colonne se décomprime et traverse à nouveau la turbine.

FIGURE 8 COLONNE D’EAU OSCILLANTE

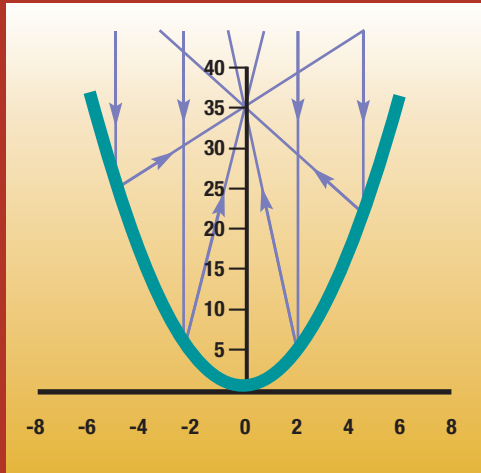


Source : <http://acre.murdoch.edu.au>

Dispositif flottant. Il existe plusieurs types de dispositifs flottants pour capter l’énergie des vagues (p. ex. le Salter Duck, le Clam et l’Archimedes Wave Swing), qui produisent de l’électricité au moyen du mouvement harmonique de la partie flottante de l’appareil, par opposition au système fixe qui utilise une turbine fixe actionnée par le mouvement de la vague. Dans ce système, les dispositifs montent et descendent en fonction du mouvement de la vague, mouvement qui produit de l’électricité.

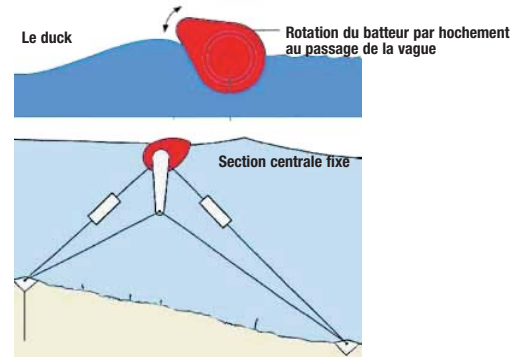
Parabole

Une parabole a une courbe qui concentre toutes les vagues en un unique point.



Source : <http://acre.murdoch.edu.au>

FIGURE 9 L'APPAREIL DE CONVERSION DE L'ÉNERGIE DES VAGUES SALTER DUCK



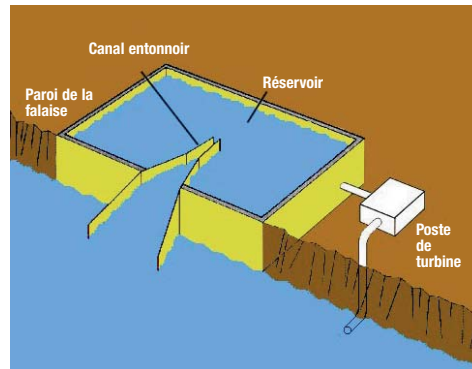
Source : www.fujitaresearch.com

Systèmes à canaux. Les systèmes à canaux entonnoirs, ou systèmes TAPCHAN, fonctionnent de manière très semblable à celle d'une centrale hydroélectrique, avec un barrage pour faire monter le niveau de l'eau et un réservoir pour la mettre en réserve. Dans ce cas, toutefois, l'eau vient de l'océan sous forme de vagues. Les vagues sont orientées vers un réservoir surélevé, sur le rivage, par un canal évasé dont l'ouverture la plus large s'ouvre sur l'océan.

- La forme du canal accroît la hauteur et l'énergie des vagues lorsque l'eau se précipite dans le réservoir.
- Le réservoir est surélevé sur la rive, parfois le long d'une falaise.
- L'énergie de la vague est captée sous forme d'énergie potentielle lorsque l'eau est stockée dans le réservoir.

- Comme dans le cas des centrales hydroélectriques, la turbine tourne lorsque le système oriente l'eau en réserve vers la turbine, qui est reliée à un alternateur qui produit de l'électricité.

FIGURE 10 **SYSTÈME À CANAL ENTONNOIR**



Source : G. Boyle. 1996. Renewable Energy: Power for a Sustainable Future.

Considérations. Le système à canaux a l'avantage d'avoir peu de pièces mobiles et de pouvoir produire de l'énergie sur demande. Mais il faut des régions côtières qui ont des vagues uniformes ainsi qu'un lieu propice pour le réservoir. Les systèmes littoraux, tels que le système à canaux et, dans certains cas, le système à colonne d'eau oscillante, peuvent fournir de l'énergie pour les besoins locaux, comme ceux d'une population insulaire.

Les systèmes qui utilisent l'énergie houlomotrice n'ont pas besoin de combustible et ne produisent pas d'émissions polluantes. Mais ils doivent être assez durables pour résister aux grosses tempêtes. Certains systèmes, tels que ceux qui concentrent les vagues, peuvent en changer la hauteur et ainsi modifier les profils de sédimentation et d'érosion dans la région touchée. D'autres, tels que ceux qui sont situés au large des côtes, utilisent des dispositifs visuels et des radars comme aides à la navigation pour les navires et les bateaux, afin d'éviter d'éventuelles collisions.



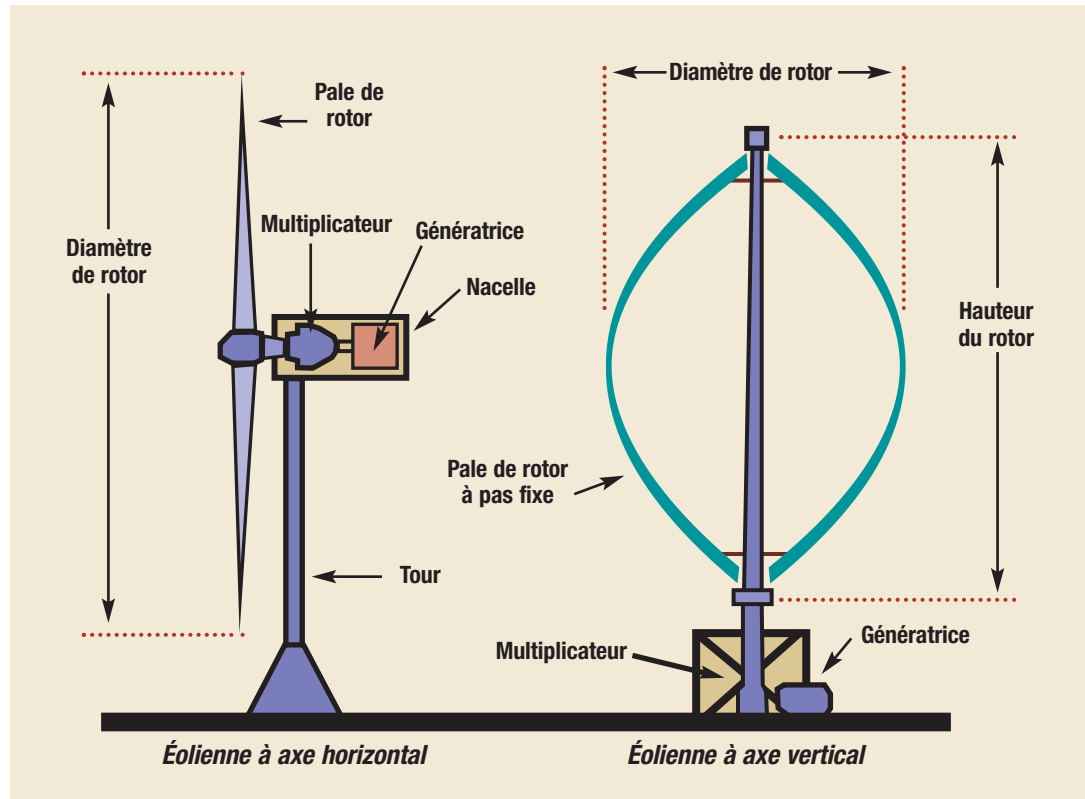
Énergie éolienne Sunbridge. Suncor Energy.

VENT CHAPITRE TROIS

Les sociétés utilisent le vent pour produire de l'énergie depuis plus de 2 000 ans. Jusqu'à la révolution industrielle, aux XVIII^e et XIX^e siècles, on utilisait les moulins à vent pour pomper l'eau et mouler le grain. En Ontario, certains cultivateurs ont utilisé des moulins à vent pour pomper l'eau jusqu'au début du XX^e siècle. Comme dans le cas des vagues, on n'a pas exploité le vent en tant que source d'énergie renouvelable pour la production commerciale d'électricité avant le début des années 1970, lorsque le coût du pétrole et du gaz a grimpé rapidement et que les gens ont commencé à chercher d'autres sources d'énergie. Les versions modernes des moulins à vent sont appelées éoliennes. Au début de 2002, les éoliennes produisaient environ 449 000 000 kilowattheures d'électricité par année au Canada, ou assez pour approvisionner environ 56 000 foyers.

Il existe deux modèles de base d'éoliennes – le modèle à axe horizontal et le modèle à axe vertical.

FIGURE 11 DEUX TYPES D'ÉOLIENNES



Source : Office of Conservation and Renewable Energy. 1990.
Renewable Energy Technology Evolution Rationales.

Éolienne à axe horizontal

L'éolienne à axe horizontal ressemble davantage à un moulin à vent avec ses deux ou, plus souvent, trois pales de rotor fixées comme une hélice sur le devant et au sommet de la tour. Sur certaines éoliennes de ce type, les pales de rotor peuvent être posées à plat et basculer vers l'avant et vers l'arrière (ou « s'incliner ») pour capter le vent. On les appelle éoliennes à pas variable.

Le multiplicateur, le frein et la génératrice sont logés dans un coffre, ou une nacelle, derrière les pales de rotor, au sommet de la tour. Au Canada, la plupart des éoliennes sont fabriquées d'après ce modèle. L'une des plus grandes éoliennes est située près de Pickering, en Ontario. La Pickering Wind Generating Station s'élève à quelque 117 mètres (30 étages) de haut, de la base au bout de la pale, et elle a une capacité de 1,8 mégawatt. Elle produit assez d'électricité pour approvisionner environ 600 foyers pendant une année.

Éolienne à axe vertical

L'éolienne à axe vertical ressemble à un batteur à œufs. Les pales de rotor sont fixées au sommet et près du bas de la tour, et sont bombées au centre. Le multiplicateur et la génératrice sont logés dans une structure de protection, à la base de la tour.

Comment fonctionne la technologie — Malgré les différences dans l'apparence des deux modèles d'éoliennes, leur mécanique est semblable. En général, la tour fait 30 mètres de haut ou plus, de façon à capter les meilleurs vents, puisque ceux-ci sont plus constants, réguliers et puissants à cette hauteur qu'ils ne le sont au niveau du sol.

- Le vent traverse les pales de rotor, les faisant tourner.
- L'arbre du rotor peut être fixé à un multiplicateur, qui peut accroître la vitesse, ou encore il peut être fixé directement dans la génératrice et produire de l'électricité.

- Plus le vent souffle fort, plus on peut capter de l'énergie et plus on peut produire de l'électricité. Si le vent est trop fort, l'éolienne s'arrêtera en se détournant du vent et en appliquant un mécanisme de frein qui empêche les pales de tourner trop rapidement et de s'endommager.

Les éoliennes d'aujourd'hui sont fabriquées dans un éventail de dimensions, de l'éolienne de 10 kilowatts, conçue pour approvisionner en électricité une simple maison, aux énormes éoliennes, telles que celle de Pickering. En général, les éoliennes produisent de l'électricité lorsque les vents soufflent à plus de 13 kilomètres-heure. La production augmente jusqu'à un maximum d'environ 55 kilomètres-heure. Lorsque les vents soufflent à 90 kilomètres-heure ou plus, la plupart des grosses éoliennes s'arrêtent pour des raisons de sécurité.

Certaines éoliennes sont autonomes. D'autres sont regroupées dans des parcs éoliens. Dans les parcs éoliens, les éoliennes doivent être espacées de cinq fois et demie le diamètre des pales de rotor afin d'empêcher que la turbulence ou le « sillage » d'une éolienne ne perturbe (ne pille) l'afflux de vent d'une autre éolienne. Il y a plusieurs parcs éoliens au Canada, dont le Nordais est l'un des plus grands. Il regroupe 133 éoliennes en deux endroits, l'un près de Cap-Chat, en Gaspésie, et l'autre près de Matane, dans le Bas-Saint-Laurent, au Québec. À ces endroits, les éoliennes ont trois pales de rotor d'environ 48 mètres de diamètre, qui sont montées sur des tours de près de 55 mètres de haut. Les deux sites produisent environ 99 750 kilowatts d'électricité chaque année. Le premier parc éolien commercial en Ontario est situé près de Kincardine; il a été réalisé conjointement par Ontario Power Generation et British Energy Canada. Il contient cinq éoliennes Vestas de 1,8 mégawatt et peut produire assez d'électricité pour approvisionner annuellement environ 3 000 foyers ontariens.

**FIGURE 12 LE PARC ÉOLIEN LE NORDAIS, À CAP-CHAT
(PROMOTEUR : AXOR)**



Source : www.axor.com/ancien

La plupart de l'électricité produite par des éoliennes au Canada est absorbée par les réseaux provinciaux ou territoriaux et acheminée aux foyers et aux entreprises. En Alberta, l'électricité produite par certaines éoliennes alimente le C-Train de Calgary, faisant de lui le premier système de transport alimenté par le vent. Le programme, appelé Ride the Wind, est une coentreprise de Calgary Transit, Vision Quest Windelectric Inc. (maintenant une filiale de TransAlta Corp.) et Enmax Corporation, l'entreprise de services publics municipaux de Calgary. Pour répondre aux besoins annuels du C-Train, qui sont de 21 000 mégawatts d'électricité, Vision Quest installera 10 autres éoliennes dans son parc éolien du sud de l'Alberta et vendra l'électricité à Enmax.

Quelques faits

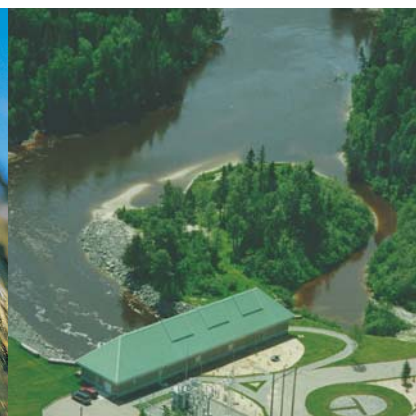
Au Canada, il y a des éoliennes d'utilité publique en Alberta, en Saskatchewan, en Ontario, au Québec, à l'Île-du-Prince-Édouard, au Yukon et en Nouvelle-Écosse.

BC Hydro prévoit élaborer un projet de démonstration éolienne de 10 mégawatts au nord de l'île de Vancouver à Rumble Ridge, au nord-est de Port Alice. Le projet proposé nécessitera entre 8 et 15 éoliennes, selon la capacité choisie.

Considérations. Le vent est une source intermittente d'énergie puisqu'il ne souffle pas toujours à la vitesse requise pour produire de l'électricité. En général, les éoliennes captent en moyenne entre 15 et 40 % du total de la capacité nominale de production d'électricité de l'éolienne. Dans la plupart des cas, l'électricité produite par les éoliennes, du moins les éoliennes d'utilité publique, est acheminée au réseau et devient une partie de l'ensemble de l'électricité prête à être mise en service.

Comme dans le cas de l'électricité produite à l'aide des marées et des vagues, il n'y a ni pollution de l'air ni émissions de gaz à effet de serre notables qui sont associées à cette forme d'énergie renouvelable. Il y a du bruit, cependant, provoqué par les pales de rotor qui fendent l'air. Mais les vitesses de rotor réduites (de 15 à 25 tr-min) de même que les nouveaux designs et matériaux ont réduit considérablement le niveau de bruit ces dernières années. De nos jours, le niveau de bruit à 250 mètres peut être aussi bas que 42 ou 43 décibels, ce qui est moins que la moyenne de l'intensité du bruit de fond dans les secteurs résidentiels des villes. De la même façon, des résultats d'études montrent que les éoliennes ont peu d'effets sur les populations d'oiseaux, en partie parce que les services publics et les sociétés privées se donnent beaucoup de mal pour s'assurer de ne pas situer les parcs éoliens au milieu des trajectoires de vols migratoires, et en partie parce que, dans la plupart des régions, les trajectoires migratoires des oiseaux passent au-dessus des éoliennes ou de la portée des pales. Les vitesses plus lentes et constantes des pales ainsi que la conception solide des tours, qui

sont l'apanage des éoliennes d'aujourd'hui, contribuent aussi à réduire les possibilités d'impacts avec des oiseaux.





Balles de foin rondes. Bio-Products Saskatchewan Inc.

BIOMASSE CHAPITRE QUATRE

Depuis des milliers d'années, l'économie mondiale est fondée en partie sur ce qu'on appelle aujourd'hui l'énergie de biomasse. Pour voir les choses simplement, disons que de nombreuses sociétés ont brûlé du bois et de la tourbe pour chauffer leurs foyers, cuisiner leurs aliments et forger leurs ustensiles. De nos jours, nous utilisons aussi la biomasse pour produire de l'électricité et pour alimenter les véhicules. Au Canada, la biomasse comble 5,9 % de la demande d'énergie primaire. Dans le monde, la biomasse fournit environ 15 % de l'énergie globale et comble environ 35 % des besoins d'énergie dans les pays en développement.

De la biomasse à l'électricité et au chauffage

La « biomasse » est un terme général qui fait référence aux matières organiques et qui englobe les plantes, les arbres, les résidus agricoles tels que les tiges de maïs et la paille de blé, les déchets organiques des municipalités, et les résidus des opérations forestières, y compris la sciure de bois, les rémanents d'exploitation et les résidus de sciage. Il y a plusieurs façons de transformer la biomasse en chaleur et en électricité, dont la combustion directe, la digestion anaérobie, la cuisson simultanée, la pyrolyse et la gazéification.

Lorsque la biomasse est convertie en énergie, elle n'ajoute pas plus de dioxyde de carbone à l'air que ce qu'elle avait séquestré au cours de sa croissance. Autrement dit, l'énergie tirée de la biomasse est considérée neutre sur le plan des gaz à effet de serre.

Combustion directe. La façon la plus simple de produire de l'énergie à partir de la biomasse est de la brûler. C'est ce qu'on appelle la combustion directe. Toute matière organique qui est suffisamment sèche peut être brûlée. La chaleur est utilisée pour faire bouillir de l'eau et produire de la vapeur, qui fait tourner une turbine fixée à une génératrice pour produire de l'électricité. Dans certains cas, la chaleur produite sert aussi à chauffer des édifices et de l'eau. Les trois exemples ci-dessous décrivent comment des collectivités et des sociétés ont utilisé la biomasse pour produire de l'électricité et de la chaleur.

Centrale électrique de Williams Lake — À la fin des années 1980, les résidents de Williams Lake, en Colombie-Britannique, au sud de Prince George, ont décidé de s'attaquer à la fumée produite par les brûleurs de déchets ligneux de cinq scieries de la région. Des représentants des résidents de la collectivité, des services publics locaux, les propriétaires des scieries et le gouvernement provincial se sont réunis, ce qui a conduit à la création de la centrale électrique de Williams Lake. La centrale brûle annuellement 550 000 tonnes vertes de déchets ligneux, y compris de l'écorce, des copeaux et de la sciure de bois en provenance des scieries de la région, afin de produire de l'électricité. Aujourd'hui, l'usine a une capacité de 60 mégawatts, dont

BC Hydro achète 55 mégawatts en vertu d'un contrat. L'air de la ville est libéré de la fumée et des cendres qui s'y trouvaient autrefois en suspension.

Oujé-Bougoumou — Cette collectivité crie de 650 personnes a investi dans une installation de chauffage centralisé alimentée par des résidus ligneux provenant de scieries des environs. (Une installation de chauffage centralisé utilise un système unique pour fournir de la chaleur ou de l'électricité, et parfois les deux, à un certain nombre d'immeubles.) La collectivité, située à environ 850 kilomètres au nord de Montréal, au Québec, voulait réduire les coûts du chauffage de même que la dépendance des résidants à l'égard des combustibles fossiles (carburant diesel), qu'il fallait faire venir par camion à grands frais. Avec l'aide de Ressources naturelles Canada et d'Hydro-Québec, la collectivité d'Oujé-Bougoumou a construit une installation de chauffage centralisé, qui se compose de deux centrales – l'une ayant deux chaudières à biomasse qui brûlent des déchets ligneux et l'autre ayant deux chaudières à combustible liquide, en guise de dispositif de secours – et d'un réseau de tuyaux qui distribue la chaleur dans les foyers et les bureaux de la collectivité. À l'avenir, les résidants de la collectivité pourraient planter des peupliers à croissance rapide sur leurs terres de façon à ne plus avoir à dépendre des déchets ligneux des scieries. Bien qu'elle soit encore en voie de prendre une décision au sujet de l'installation de chauffage, la collectivité a envoyé une délégation de quatre personnes à Charlottetown, à l'Île-du-Prince-Édouard, pour étudier l'installation de chauffage centralisé de la ville.

Charlottetown — La ville de Charlottetown voulait réduire sa dépendance à l'égard des importations de pétrole et d'électricité. Comme la plupart des villes du Canada dans les années 1970, Charlottetown produisait une abondance de déchets urbains. Les dirigeants de la ville ont donc décidé d'utiliser la matière première qu'ils avaient à leur disposition et de construire une usine de production d'énergie à partir de déchets, qui transforme les déchets en vapeur. Trois années plus tard, la ville a ajouté une installation de distribution d'eau chaude, alimentée par des copeaux de bois provenant de terres à bois locales. Aujourd'hui, l'usine de production convertit environ 30 000 tonnes de déchets urbains en vapeur qui, avec la chaleur produite par la centrale de brûlage de déchets ligneux, chauffe plus de 80 immeubles de la

région et produit de l'électricité pour la centrale et le réseau local. Les centrales telles que celle de Charlottetown, qui produisent de la chaleur et de l'électricité en même temps, sont aussi appelées centrales de cogénération.

FIGURE 13 INSTALLATION DE CHAUDIÈRES DU PRINCE EDWARD HOME

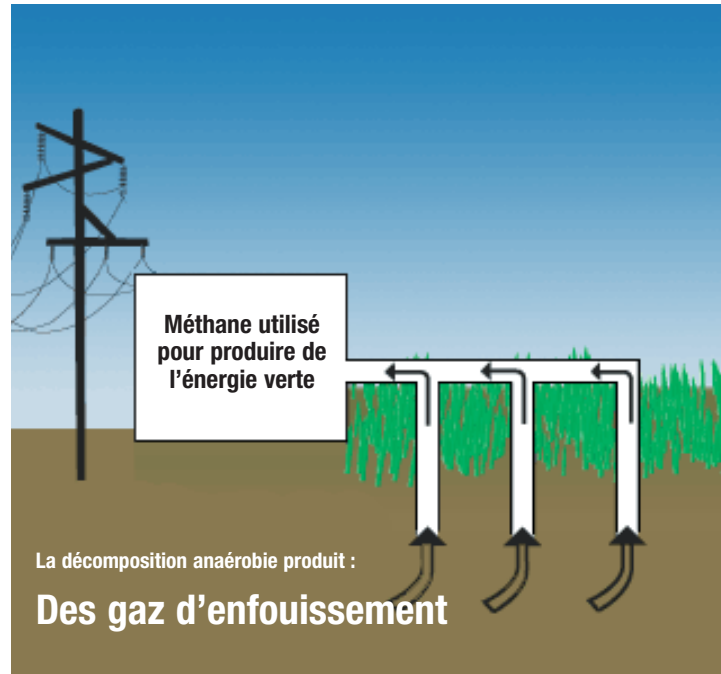


Source : www.nrcan.gc.ca

Digestion anaérobie. La digestion anaérobie est un processus qui décompose la matière organique, telle que la partie organique des déchets municipaux, dans un réservoir, un conteneur ou un bassin totalement privé d'oxygène. Les déchets comportent des microorganismes qui, lorsqu'ils digèrent la biomasse, comme le fumier, les déchets organiques ou les résidus des lieux d'enfouissement, produisent un gaz combustible. Ce gaz est composé principalement de méthane et de dioxyde de carbone, et est appelé biogaz. Ce biogaz, qui est un combustible raisonnablement peu polluant, peut être utilisé dans une centrale électrique. Le processus de digestion produit également un « digestat » que l'on peut séparer en un élément liquide, pouvant être utilisé comme fertilisant, et un élément solide, pouvant être utilisé comme amendement du sol.

Par exemple, en Ontario, CCI Newmarket Ltd. a une usine qui alimente un processus de digestion anaérobie avec des résidus organiques afin de produire du compost et du biogaz, utilisé pour produire de l'électricité. À sa capacité maximale, l'usine produira 2 500 kilowatts d'électricité et 60 000 tonnes de compost. Comme variation du processus, la Municipalité régionale de Kitchener-Waterloo et Toromont Energy ont une installation qui utilise les gaz d'enfouissement, créés par un processus naturel de digestion anaérobie qui survient lorsque les déchets se décomposent dans un lieu d'enfouissement, pour produire de l'électricité. Dans le passé, les gaz étaient tout simplement brûlés. Aujourd'hui, un réseau de tuyaux recueille les gaz d'enfouissement, composés de méthane, d'anhydride sulfureux et d'oxyde nitreux, et les utilise pour alimenter une centrale électrique. Ontario Power Generation achète de l'électricité de cette centrale et de celle de Newmarket, dans le cadre de son programme d'énergie verte.

FIGURE 14 COMMENT FONCTIONNENT LES USINES DE GAZ D'ENFOUISSEMENT



Source : www.torontohydro.com

Cuisson simultanée, pyrolyse et gazéification. La cuisson simultanée fait référence à la pratique qui consiste à introduire de la biomasse dans les chaudières des centrales thermiques alimentées au charbon. Le fait d'ajouter de la biomasse comme source de combustible aide à réduire l'utilisation du charbon.

La pyrolyse fait référence au processus thermochimique utilisé pour convertir la biomasse solide en combustible liquide. Au cours du processus, la biomasse est chauffée dans un réservoir privé d'oxygène, afin de produire un gaz riche en hydrocarbures, qui est ensuite rapidement refroidi en un liquide qui ressemble à

de l'huile et en un résidu solide, ou produit de carbonisation, habituellement appelé charbon et utilisé pour le brûlage. La pyrolyse a l'avantage de produire des combustibles liquides renouvelables, qui peuvent être entreposés, transportés et brûlés plus facilement que les déchets ligneux solides.

La gazéification est une forme de pyrolyse. Elle requiert davantage d'air que la pyrolyse lorsque la biomasse est chauffée. Le gaz qui en résulte, appelé gaz de gazogène, est un mélange de monoxyde de carbone, d'hydrogène et de méthane, ainsi que de dioxyde de carbone et d'azote. Ce gaz est brûlé pour produire de la vapeur ou utilisé dans des turbines à gaz pour produire de l'électricité.

La biomasse comme combustible

Éthanol. Lorsque Henry Ford a fabriqué le modèle T, les conducteurs faisaient le plein avec de l'éthanol. Plus tard, l'essence est devenue le carburant de choix, mais les conducteurs d'aujourd'hui recommencent à envisager l'utilisation de l'éthanol. Au Canada, on fabrique annuellement plus de 130 millions de litres de carburant à l'éthanol à base de céréales. Actuellement, l'éthanol est utilisé comme additif, habituellement mélangé à l'essence dans une proportion de 10 % d'éthanol pour 90 % d'essence. On appelle cela l'E10. Les conducteurs peuvent l'utiliser dans les modèles récents d'automobiles sans avoir à modifier le moteur, et ils peuvent l'acheter dans plus de 1 000 stations-service au Canada.

La plupart de l'éthanol fabriqué aujourd'hui résulte d'un processus de fermentation qui utilise du maïs, des céréales, des pommes de terre, des betteraves à sucre ou de la canne à sucre.

- Dans le processus, le blé ou le maïs est moulu dans un broyeur à marteaux afin d'en extraire la fécule.
- Le grain moulu est mélangé avec de l'eau et cuit brièvement.
- On ajoute des enzymes afin de transformer la fécule en sucre par une réaction chimique appelée hydrolyse.

- On ajoute de la levure pour transformer les sucres en éthanol par fermentation.
- L'éthanol est séparé du mélange par distillation.
- On retire l'eau du mélange par déshydratation.

Au Canada, la société Iogen Corporation travaille à un processus de fabrication d'éthanol à partir de constituants de la cellulose du bois, du foin et de la paille. Cette méthode est semblable au processus classique, mais elle est plus difficile parce que les opérations pour faire fermenter les sucres du bois, du foin et de la paille sont plus complexes.

Biodiesel. Le biodiesel est fabriqué à partir de sources renouvelables, telles que les huiles végétales les graines de canola, les grains de maïs, les graines de tournesols ou les graines de lin. On peut les traiter de façon à en obtenir un combustible qui brûle sans résidus, connu sous le nom de biodiesel. La manière la plus directe d'extraire l'huile des graines est l'extraction mécanique ou mécanique avec solvant. Le biodiesel est produit et utilisé en Europe; il est aussi produit aux États-Unis, mais n'y est pas largement utilisé.

Au Canada, le biodiesel n'est pas produit de manière commerciale, mais on est à faire des essais, tels que ceux qu'effectue Toronto Hydro pour son parc de véhicules. En date de juillet 2002, tout le parc de 400 véhicules – autos, fourgonnettes et camions – alimentés au diesel de Toronto Hydro était alimenté par un carburant biodiesel à base végétale. Actuellement, la société de services publics utilise un mélange de 20 % de biodiesel et de 80 % de diesel ordinaire, espérant être en mesure d'utiliser des mélanges contenant jusqu'à 50 % de biodiesel dans un proche avenir.

Considérations. L'utilisation de la biomasse pour produire de l'électricité présente beaucoup d'avantages, comme le montrent les histoires des collectivités de Williams Lake, Oujé-Bougoumou et Charlottetown. À Williams Lake, la centrale

électrique a contribué à purifier l'air. À Oujé-Bougoumou, l'installation de chauffage centralisé alimentée par des déchets ligneux a aidé à réduire la dépendance de la collectivité à l'égard de combustibles fossiles onéreux, a réduit le coût de chauffage des foyers et des immeubles, et a contribué à garder dans la collectivité l'argent autrefois consacré à l'achat de combustibles fossiles. À Charlottetown, l'usine municipale de production d'énergie à partir des déchets a prolongé la vie du lieu d'enfouissement local et a réduit la dépendance de la collectivité à l'égard des combustibles fossiles importés. De la même façon, l'utilisation de l'éthanol pour alimenter les véhicules réduit la dépendance des conducteurs à l'égard de l'essence, qui n'est pas un carburant renouvelable, et diminue les émissions de dioxyde de carbone ainsi que de certains polluants associés au smog.

Certaines préoccupations ont été soulevées quant au fait que, pour garantir un approvisionnement constant de matière première dans le but de produire de l'éthanol, une société pourrait acheter de vastes étendues de terre pour faire pousser les plantes nécessaires comme matière de base. Cela pourrait mettre en péril la biodiversité d'une région puisque ces lopins de terre seraient réservés à une seule plante. On se préoccupe aussi du fait que certaines plantes autrefois cultivées pour nourrir des personnes pourraient dorénavant servir à l'industrie et que la qualité du sol pourrait se détériorer parce que des parties de plantes ou d'arbres autrefois laissées sur place pour nourrir le sol seraient maintenant utilisées comme matière première pour la production de biomasse. Ces préoccupations et d'autres sont des éléments dont il faut tenir compte en accroissant la production d'éthanol.

En conclusion, si les ressources de la biomasse sont utilisées de façon avisée et si les émissions issues de la combustion qui en résultent sont contrôlées de façon efficace, la biomasse a le potentiel de fournir des quantités importantes d'énergie plus proprement et en produisant beaucoup moins de gaz à effet de serre que les combustibles fossiles non renouvelables, tels que le charbon et le pétrole. La combustion directe de biomasse, cependant, peut entraîner des émissions atmosphériques préoccupantes. Comme dans le cas de toute technologie de production d'énergie, il faut considérer tous les aspects environnementaux avant de prendre des décisions définitives.



Panneaux solaires. Association des industries solaires du Canada.

SOLEIL CHAPITRE CINQ

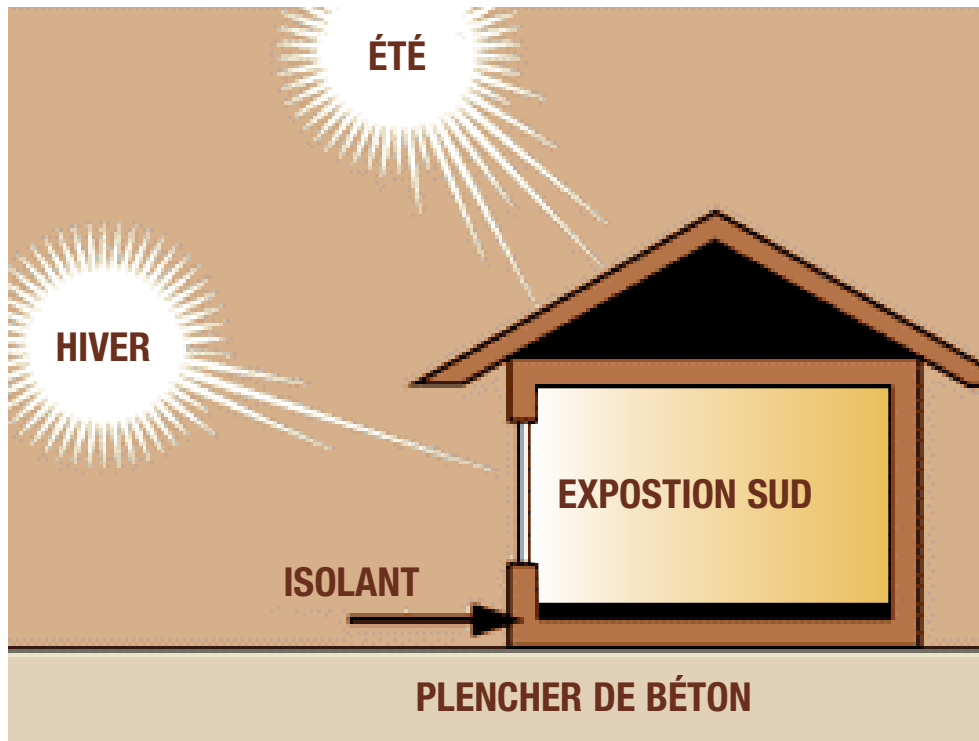
Le soleil est une source abondante et écologique d'énergie renouvelable. Aujourd'hui, nous captons l'énergie solaire pour chauffer les maisons et l'eau, et pour produire de l'électricité au moyen de trois différentes méthodes et technologies : l'énergie solaire passive, l'énergie solaire active et l'énergie photovoltaïque.

Énergie solaire passive

Le terme « passif » renvoie aux techniques utilisées pour capter l'énergie. Ces techniques misent sur la conception des immeubles et le type de matériaux utilisés pour les construire plutôt que sur de l'équipement mécanique. La conception solaire passive ne date pas d'hier. Il y a cent ans, des familles peignaient des réservoirs noirs et les plaçaient au soleil pour chauffer leur eau. Les surfaces noires absorbaient la chaleur qui était transférée du métal des réservoirs à l'eau. Cette méthode est toujours utilisée dans les pays chauds et au Canada, durant l'été, dans les chalets et les terrains de camping, souvent avec un chauffe-eau d'appoint.

Aujourd'hui, la conception solaire passive utilise les éléments fondamentaux d'un immeuble – les murs, la toiture et les fenêtres – pour contrôler la quantité d'énergie solaire absorbée ou perdue. Par exemple, au Canada, en hiver, une fenêtre orientée vers le sud ou le sud-ouest capte de manière plutôt efficace l'énergie du soleil, sous forme de chaleur. Les carreaux laissent passer l'énergie solaire. Des carreaux bien isolés conservent l'énergie à l'intérieur sous forme de chaleur. Les matériaux massifs tels que de la pierre ou des carreaux de carrière dans le plancher et une double épaisseur de plaques de plâtre sur les murs absorbent la chaleur et gardent la pièce confortable tout en empêchant la chaleur de devenir insupportable durant le jour. Les matériaux rejettent ensuite la chaleur par rayonnement après le coucher du soleil.

FIGURE 15 **CONCEPTION SOLAIRE PASSIVE**



Source : www.solarenergysociety.ca

La conception solaire passive aide aussi à conserver la fraîcheur en été. Par exemple, une maison peinte en blanc ou de couleur pâle réfléchit le soleil. De larges corniches ainsi que des volets et des auvents aident à bloquer les rayons solaires tout comme les arbres feuillus et les arbustes hauts, qui aident aussi à conserver la chaleur de la maison en hiver en agissant comme brise-vent.

Solariums

Les solariums sont des pièces aux murs de verre qui peuvent être ajoutées aux maisons ou qui peuvent y être intégrées durant la construction. Un solarium est essentiellement un capteur solaire passif que les propriétaires peuvent utiliser, à tout le moins le matin lors d'une chaude journée d'été. Le rayonnement solaire dans le solarium réchauffe l'air, qui est soit stocké et diffusé dans la maison le soir ou, en hiver, diffusé continuellement dans la maison par les courants de convection ou une ventilation forcée.

L'éclairage naturel est une façon d'utiliser la lumière du jour pour éclairer autant que possible une maison ou un immeuble de bureaux. Cette forme de conception solaire passive situe les fenêtres de manière à tirer parti de la lumière naturelle sans les exposer au soleil de l'après-midi durant l'été ou aux vents dominants durant l'hiver.

Énergie solaire active

Le système d'énergie solaire active utilise des capteurs solaires pour capter l'énergie du soleil et produire de l'électricité afin d'alimenter des pompes et des ventilateurs qui distribuent de l'eau et de l'air chaud. Au Canada, les technologies les plus répandues utilisent de l'air et de l'eau pour chauffer des maisons, des bureaux, des usines et des immeubles d'habitation.

Chauffe-eau solaire. Une méthode de chauffage de l'eau utilise des capteurs vitrés ou non vitrés.

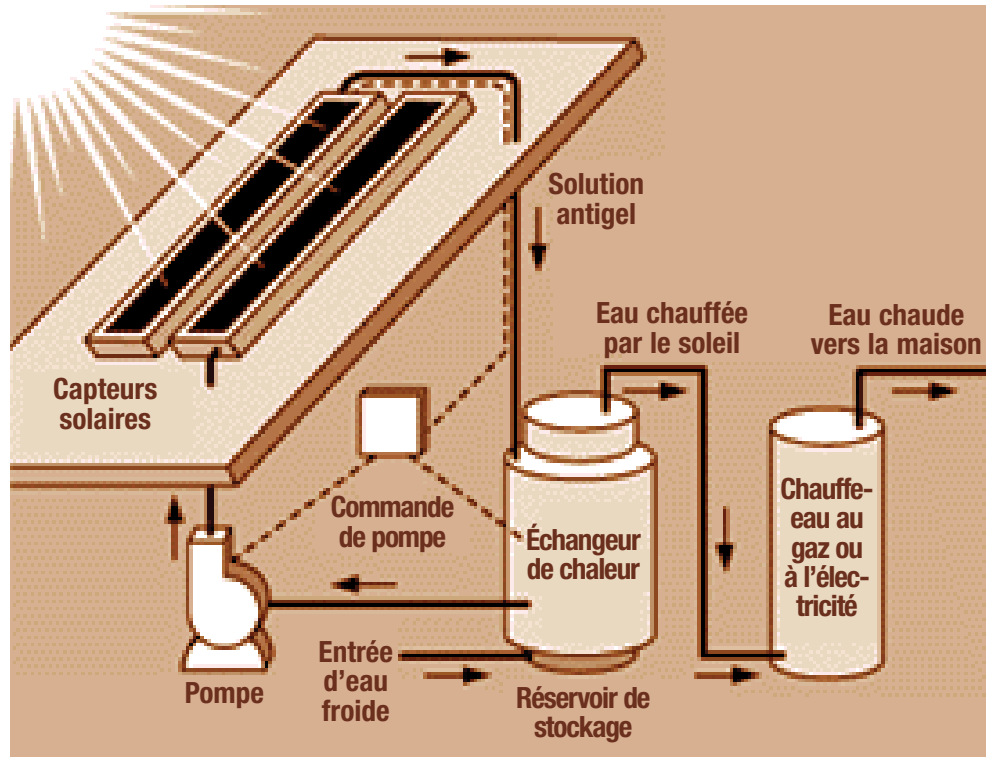
- Le capteur comprend une surface absorbante noire qui absorbe le rayonnement solaire. L'énergie solaire réchauffe un fluide caloporteur qui circule dans un ou des tubes, sur le capteur. Dans les capteurs vitrés, l'absorbeur et les tubes sont placés entre un vitrage (souvent du verre) et un panneau isolé. Ce type de capteur est utilisé pour chauffer de l'eau lorsqu'on veut obtenir une température de 30 à 70 °C. Par contre, les capteurs non vitrés

ne sont pas isolés et servent à chauffer l'eau des piscines intérieures et extérieures, lorsque la température de l'eau doit être inférieure à 30 °C.

- Le liquide de transfert de chaleur peut être de l'eau, de l'antigel ou de l'huile thermique. Il s'écoule dans le réservoir sous le capteur.
- Le réservoir contient de l'eau que réchauffe le liquide de transfert de la chaleur.
- L'eau réchauffée circule jusqu'au réservoir d'eau chaude de l'immeuble où elle est prête à être utilisée ou parfois réchauffée davantage.

Les propriétaires de maison utilisent des chauffe-eau solaires de concert avec un chauffe-eau d'appoint à l'électricité ou au gaz. Un système type de chauffage solaire de l'eau assurera de 50 à 75 % de l'alimentation en eau chaude d'une famille. Les propriétaires d'immeuble utilisent souvent des chauffe-eau solaires pour réchauffer l'eau avant qu'elle ne soit pompée dans le réservoir d'eau chaude pour y être réchauffée.

FIGURE 16 CHAUFFE-EAU SOLAIRE



Source : www.solarenergysociety.ca

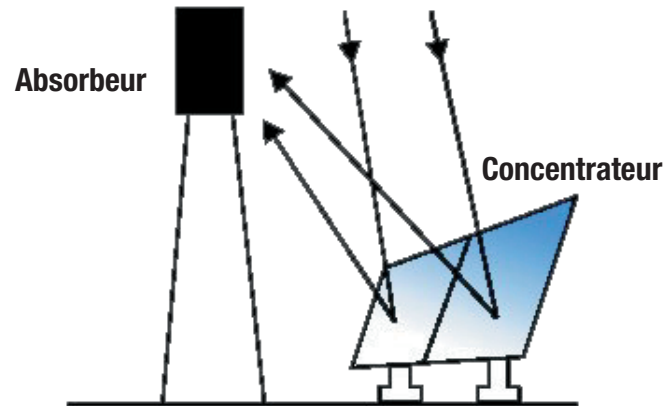
Chauffage des locaux et ventilation solaire. Une méthode pour chauffer l'air utilise aussi des capteurs vitrés tandis qu'une autre utilise un bardage perforé (un revêtement qui protège l'extérieur de l'immeuble) et des ventilateurs.

Capteurs vitrés — Comme dans le cas des systèmes de chauffage de l'eau, les capteurs vitrés réchauffent un liquide de transfert de la chaleur qui s'écoule dans un réservoir, tel que celui utilisé dans le système de chauffage de l'eau. Le liquide du réservoir est ensuite pompé dans le système de chauffage, qui peut être un système de chauffage par rayonnement à partir du plancher ou un système de radiateurs-plinthes.

Bardage perforé — Cette méthode utilise un bardage perforé peint en noir et installé sur un mur orienté vers le sud. Ford du Canada Ltée, par exemple, a installé un bardage sur le mur sud de l'une de ses usines de montage à Oakville, en Ontario. Le mur est composé de six panneaux d'aluminium perforés peints en noir. L'entreprise a ajouté le bardage à un mur sud existant, en laissant un vide d'air d'environ 30 centimètres. Seize ventilateurs aspirent l'air par les perforations dans le bardage d'aluminium. L'air frais se réchauffe dans l'espace de 30 centimètres entre le bardage et le mur de l'immeuble. L'air ainsi réchauffé est mélangé avec l'air recirculé de l'usine et est ensuite distribué partout dans l'immeuble à l'aide de conduites.

Centrales électriques solaires. En Australie et dans le sud-ouest des États-Unis, des universités, des sociétés et des laboratoires de recherche font l'essai d'un système qui concentre en un seul endroit le rayonnement solaire. Ces systèmes comprennent les centrales à tour, les systèmes à réflecteurs cylindro-paraboliques et les systèmes à réflecteurs paraboliques.

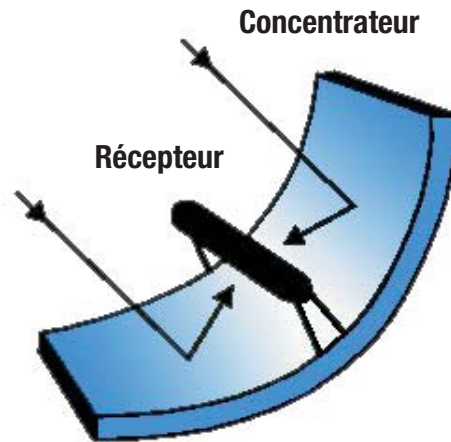
FIGURE 17 CENTRALE À TOUR



Source : <http://acre.murdoch.edu.au>

Centrale à tour — Une centrale à tour utilise un certain nombre de grands miroirs plats qui suivent le mouvement du soleil et qui concentrent la lumière sur un grand absorbeur situé au sommet d'une tour. Le système pompe un fluide, soit une huile synthétique à haute température ou du sel fondu, dans l'absorbeur où il est chauffé jusqu'à 550 °C et ensuite utilisé pour produire de l'électricité.

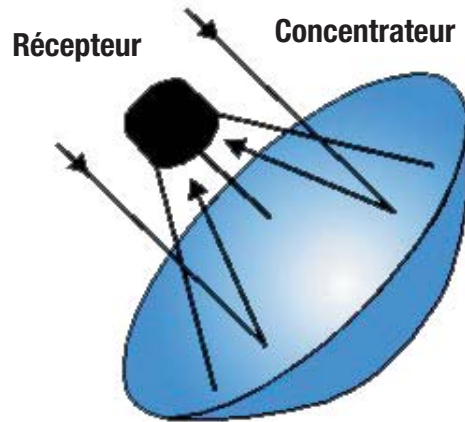
FIGURE 18 **SYSTÈME À RÉFLECTEUR CYLINDRO-PARABOLIQUE**



Source : <http://acre.murdoch.edu.au>

Système à réflecteur cylindro-parabolique — Comme son nom l'indique, ce système utilise une série de longs réflecteurs cylindriques en forme de parabole. La parabole concentre la lumière sur un tube récepteur situé le long de la ligne focale du réflecteur. Les températures du récepteur peuvent atteindre 400 °C et peuvent produire de la vapeur afin de produire de l'électricité. Habituellement, mais pas toujours, les réflecteurs suivent le soleil à mesure qu'il se détache durant la journée. En Californie, des entreprises sont à construire des centrales électriques multi-mégawatts qui utilisent des réflecteurs cylindro-paraboliques et des turbines à gaz.

FIGURE 19 SYSTÈME À RÉFLECTEUR PARABOLIQUE



Source : <http://acre.murdoch.edu.au>

Système à réflecteur parabolique — Un système à réflecteur parabolique utilise des miroirs paraboliques pour concentrer le rayonnement solaire sur un récepteur situé au foyer du réflecteur. Le récepteur contient un fluide qui, lorsque les rayons du soleil le frappent, atteint une température de 750 à 1 000 °C. Ce fluide très chaud est ensuite utilisé pour produire de l'électricité dans un petit moteur fixé au récepteur. À l'instar du réflecteur cylindro-parabolique, le réflecteur parabolique suit aussi les mouvements du soleil.

Considérations. Comme dans le cas du vent, l'énergie du soleil est gratuite et les technologies solaires, qu'elles soient passives ou actives, ne polluent pas l'air en raison des émissions nocives produites durant leur fonctionnement (quoique des émissions soient créées lors de la fabrication des technologies). Bien que le coût initial d'installation de certaines de ces technologies soit peut-être élevé, les propriétaires de maisons et d'immeubles peuvent récupérer une partie ou l'ensemble de leur investissement au fil du temps en raison de la baisse de leurs frais d'énergie.

Le soleil ne brille pas toujours, de sorte que les systèmes de chauffage solaires de l'air et de l'eau exigent habituellement un certain type de chauffage d'appoint.

Énergie photovoltaïque

Le processus photovoltaïque transforme l'énergie de rayonnement du soleil en courant électrique continu. Le physicien français Edmond Becquerel (le père d'Antoine Henri Becquerel, connu pour sa découverte de la radioactivité) a décrit l'effet en 1839, mais ce n'est que vers le milieu et la fin des années 1950 que des cellules photovoltaïques pratiques ont été commercialisées.

Au Canada aujourd'hui, les systèmes photovoltaïques sont particulièrement utiles dans les régions éloignées du pays. Certains chercheurs qui passent l'été dans l'Arctique utilisent des systèmes photovoltaïques au lieu de piles non rechargeables pour alimenter leurs ordinateurs portables. Dans le même ordre d'idées, la Garde côtière canadienne utilise des systèmes photovoltaïques pour éclairer des aides à la navigation, telles que les bouées. Dans le Parc national de l'île Ellesmere, les gardiens utilisent l'énergie photovoltaïque pour fournir la moitié de l'électricité de leurs postes – du moins en été. Le poste de garde utilise une éolienne et une génératrice diesel pour répondre à l'autre moitié des besoins en électricité au cours de l'été.

Faits au sujet de l'électricité solaire

- Les panneaux solaires sont en voie de devenir des moyens fiables de produire de l'électricité et sont conçus de manière à fonctionner dans les lieux les plus hostiles ou éloignés.
- Les panneaux solaires peuvent fournir suffisamment d'électricité pour alimenter des lumières, des pompes à eau, des ordinateurs, des télécopieurs, des outils électriques et ainsi de suite.
- L'énergie solaire atteint sa pleine efficacité lorsqu'elle est utilisée de concert avec des techniques d'économie d'énergie, des appareils éconergétiques et d'autres sources d'énergie renouvelable.
- Au départ, les panneaux solaires exigent un investissement élevé, mais ils se rentabilisent au fil du temps en raison des économies réalisées.

L'industrie solaire au Canada

- Il existe actuellement 110 systèmes solaires photovoltaïques au Canada, qui produisent 352 kilowatts d'électricité solaire.
- En 2002, la production d'énergie solaire a augmenté de 12 %.

L'industrie solaire à l'échelle mondiale

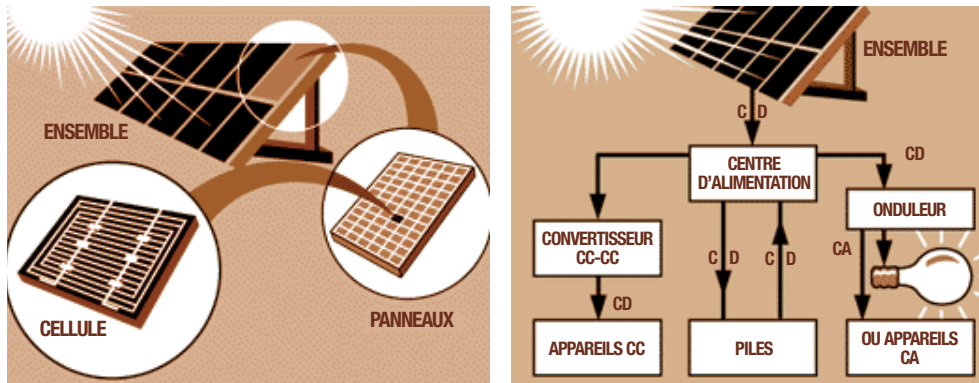
- La capacité totale installée des systèmes photovoltaïques reliés au réseau était de 669 mégawatts à la fin de 2001.
- L'industrie solaire a connu une croissance de 49 % en 2001 – avec l'ajout de 220 mégawatts.
- Chaque année, 25 000 maisons alimentées à l'électricité solaire photovoltaïque s'ajoutent au réseau d'électricité du Japon.

Cellules photovoltaïques. Les cellules voltaïques ou solaires sont de petits appareils semi-conducteurs. Leur dimension est habituellement de 10 cm sur 10 cm et elles sont souvent faites de silicium. Lorsque le soleil frappe une cellule photovoltaïque, elle produit un petit courant électrique – environ 0,5 volts. Pour produire de l'électricité en quantité utile, les cellules sont habituellement regroupées sur des panneaux. Un ensemble de panneaux comprend des panneaux individuels reliés entre eux. Sur le toit de son administration centrale, dans le centre ville de Toronto, Ontario Power Generation a installé un système de 4,8 kilowatts comprenant 48 panneaux de cellules solaires de 100 watts. Cet ensemble de panneaux produit suffisamment d'électricité pour alimenter une maison.

Il y a trois autres faits intéressants à signaler au sujet des cellules photovoltaïques. Tout d'abord, elles ne fonctionnent que lorsque le soleil brille, de sorte que certains systèmes photovoltaïques comprennent des batteries qui stockent l'électricité afin qu'elle puisse être utilisée la nuit ou par temps nuageux.

Deuxièmement, les cellules photovoltaïques produisent un courant direct. La plupart des lumières, des appareils ménagers et des ordinateurs fonctionnent avec du courant alternatif, de sorte que les systèmes photovoltaïques comprennent souvent un dispositif appelé « onduleur » qui convertit le courant continu en courant alternatif. Troisièmement, les cellules photovoltaïques ne sont pas très efficaces. Elles ne convertissent que de 12 à 15 % de la lumière du soleil en électricité.

FIGURE 20 CELLULES ET ENSEMBLES PHOTOVOLTAÏQUES



Source : www.solarenergysociety.ca

- Le rayonnement solaire frappe les cellules photovoltaïques qui sont regroupées dans un module ou un panneau.
- Les cellules produisent l'électricité.
- L'électricité est acheminée à un centre de contrôle ou d'alimentation.
- Une certaine partie de l'électricité est acheminée directement à une batterie où elle est stockée pour utilisation future.
- Une certaine partie de l'électricité est acheminée à un onduleur où le courant continu est converti en courant alternatif afin qu'il puisse être utilisé dans les bureaux et les maisons.

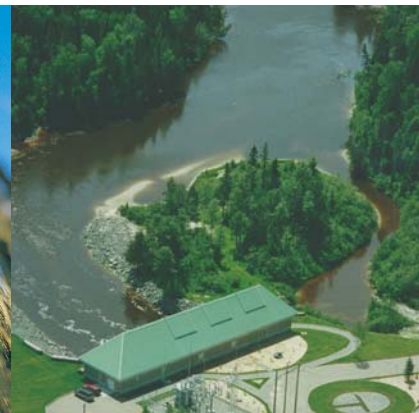
Déterminer la taille d'un système photovoltaïque pour la maison ou le chalet

Pour calculer la taille du système photovoltaïque dont vous avez besoin pour votre maison ou votre chalet, multipliez les watts consommés par vos appareils ménagers ou électriques par le nombre d'heures d'utilisation prévu. Par exemple, une ampoule de 100 watts qui est allumée 10 heures par jour consomme 1 000 kilowatts/heure d'électricité. Faites ce calcul pour chaque appareil dans la maison ou le chalet, et faites le total. Le système photovoltaïque devrait fournir tous les kilowatts/heure que vous prévoyez utiliser, et encore davantage si vous prévoyez acheter de nouveaux appareils.

Au Canada, on commence tranquillement à s'intéresser à l'intégration des modules photovoltaïques aux fenêtres, aux toits et aux murs des maisons et des immeubles à bureaux. Cette utilisation de l'énergie photovoltaïque s'appelle « photovoltaïque intégrée au bâtiment ». Ces systèmes peuvent être autonomes, n'alimentant que la maison ou l'immeuble, ou ils peuvent être reliés au réseau électrique. Bien que ces systèmes soient nouveaux au Canada, certaines entreprises les ont intégrés à la conception de leurs immeubles.

En Colombie-Britannique, BC Hydro et le British Columbia Institute of Technology collaborent pour faire la démonstration de l'utilisation de la photovoltaïque intégrée au bâtiment comme matériau de construction et source d'électricité à deux endroits sur le campus de l'Institut, à Burnaby. Le premier endroit est l'immeuble du Centre de technologie, où l'on a installé 10 panneaux photovoltaïques verticaux qui peuvent produire une puissance de crête de un kilowatt. Un autre ensemble de panneaux a été installé sur l'immeuble Technology Place. Ces panneaux sont capables de produire quatre kilowatts de puissance de crête et servent à éclairer l'immeuble.

Considérations. Les panneaux et les ensembles photovoltaïques ne produisent pas d'émissions lorsqu'ils créent de l'électricité et n'ont besoin que de l'énergie du soleil pour les alimenter. Dans les régions éloignées du pays, les panneaux photovoltaïques sont une source rentable d'énergie qui permet aux gouvernements et aux compagnies d'économiser le coût d'acheminer par avion des batteries ou du combustible diesel pour les génératrices. Bien que l'on croie à tort que le Canada ne reçoit pas suffisamment de soleil pour produire de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques, ceux-là deviennent de plus en plus populaires comme source d'électricité dans les écoles, les hôpitaux, les bureaux du gouvernement et d'autres immeubles. Les cellules photovoltaïques sont souvent utilisées de concert avec d'autres sources d'énergie. Bien que le coût d'installation des panneaux photovoltaïques ait été relativement élevé jusqu'à maintenant, le prix du matériel chute et des propriétaires de maisons et d'immeubles récupèrent souvent leur investissement au fil du temps grâce à la baisse de leur facture d'électricité.





Volcan Kilauea à Hawaii. US Department of Interior, US Geological Survey.

TERRE CHAPITRE SIX

A la fin d'octobre 2002, le mont Etna, en Sicile, a fait éruption, projetant des roches et de la lave dans l'air et vers la base de la montagne. Le volcan était un rappel dramatique des réserves d'énergie qui se trouvent sous la surface de la terre. De la surface jusqu'à une profondeur d'environ 500 mètres, la température de la terre s'échelonne de 7 à 15 °C. Les scientifiques qui ont foré profondément dans la terre ont découvert que la température augmente à un rythme d'environ 15 à 30 °C pour chaque mille mètres. À 2 000 mètres, on estime que la température atteint de 65 à 75 °C.

Les scientifiques utilisent l'expression « gradients géothermiques » pour parler de l'augmentation de la température en fonction de la profondeur dans la croûte terrestre. Le gradient géothermique n'est pas le même partout au monde. Il y a des régions, telles que la Colombie-Britannique, où les gradients géothermiques sont plus élevés. Les températures augmentent plus rapidement en fonction de la profondeur. Une entreprise étudie actuellement la possibilité de produire de l'électricité à partir du réservoir géothermique d'eau chaude dans le mont Meager, en C.-B. Beaucoup d'entreprises et de particuliers, toutefois, utilisent déjà l'énergie stockée juste sous la surface terrestre pour chauffer l'air et l'eau des maisons, des écoles et des immeubles à bureaux.

Chauffage et climatisation à l'aide de thermopompes

La chaleur de la terre, des eaux souterraines et de l'eau des lacs peut être utilisée pour chauffer l'air et l'eau des immeubles. De tels systèmes sont parfois appelés « systèmes d'énergie terrestre ». Il existe des systèmes à circuit fermé et des systèmes à circuit ouvert, qui utilisent tous deux des tuyaux et des thermopompes. Les systèmes à circuit fermé utilisent habituellement un frigorigène liquide qui circule continuellement dans des serpentins. Dans les systèmes à circuit fermé, les tuyaux sont placés soit horizontalement ou verticalement (p. ex. vers le bas sur une distance de 30 à 100 mètres). Les systèmes à circuit ouvert servent souvent à capter la chaleur de l'eau d'un lac ou d'un aquifère. Ces systèmes sont qualifiés d'ouverts parce que l'eau, une fois utilisée, quitte le système et est pompée vers un puits d'évacuation.

Système fermé utilisant des tuyaux souterrains. On qualifie le système de fermé parce que le liquide qui absorbe la chaleur de la terre demeure à l'intérieur du système.

FIGURE 21 **SYSTÈME À CIRCUIT FERMÉ**



Source : www.canren.gc.ca

Conduites — Les conduites sont les jambes du système. Elles sont habituellement faites de plastique et sont disposées dans le sol horizontalement ou disposées à la verticale dans des trous. Les conduites verticales peuvent descendre dans le sol jusqu'à une profondeur de 30 à 100 mètres. Les conduites horizontales sont disposées en longues boucles utilisant des longueurs de conduite droites, ou en boucles courtes utilisant des serpentins. Si les conduites sont disposées à l'horizontale, elles doivent être situées à au moins un mètre sous la ligne de gel. Dans les deux cas, les conduites sont (idéalement) situées à environ trois mètres de distance les unes des autres pour garantir que la chaleur de la terre puisse être transférée.

Fluide — Un fluide circule dans les conduites pour absorber la chaleur de la terre. Le fabricant de la conduite spécifie habituellement les liquides caloporteurs à utiliser. Les plus courants sont l'éthanol dénaturé et le méthanol. (L'utilisation du méthanol n'est pas approuvée en Ontario.) En circulant dans les conduites, le fluide absorbe la chaleur de la terre.

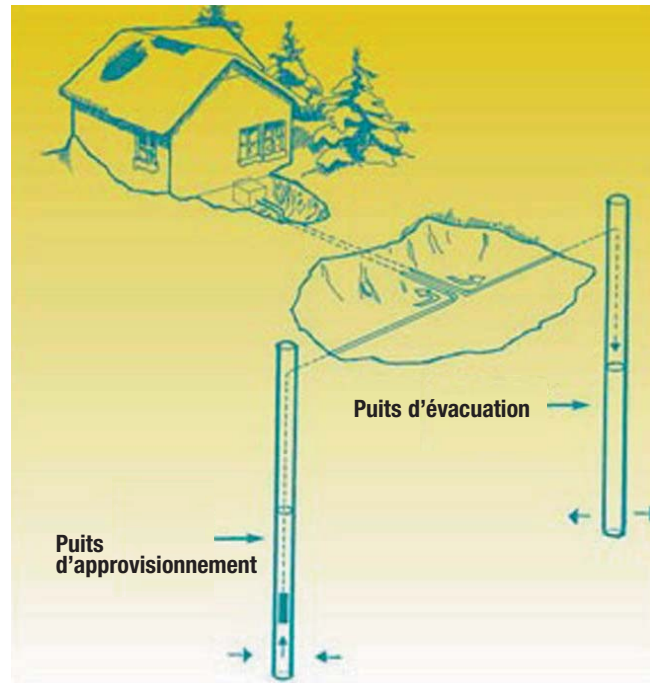
Thermopompe — Le fluide caloporteur réchauffé retourne à l'immeuble où une thermopompe transfère la chaleur du fluide à de l'air ou de l'eau.

Compresseur — Le compresseur réchauffe davantage l'air ou l'eau.

Conduites d'air chaud et radiateurs — L'air chaud est acheminé au moyen de conduites et l'eau chaude, au moyen de radiateurs.

Système à circuit ouvert utilisant des conduites souterraines ou dans l'eau. Un système à circuit ouvert fonctionne parce que l'eau d'un lac, d'un étang ou d'un puits profond change de température plus lentement que l'air en surface.

FIGURE 22 **SYSTÈME À CIRCUIT OUVERT**



Source : www.canren.gc.ca

- Le système à circuit ouvert tire l'eau d'un lac, d'un étang ou d'un puits pour l'acheminer à l'immeuble.
- Une thermopompe extrait la chaleur de l'eau et la transfère à de l'air ou de l'eau dans l'immeuble.
- L'eau fraîche est ensuite retournée à un puits d'évacuation.

On ne s'étonnera pas que ce type de système dépende des règlements locaux en matière d'environnement, qui régissent la façon dont l'eau peut être retournée au sol. Remarquez que l'eau pour ce système doit être libre de contaminants, tels que des chlorures ou des métaux, qui peuvent endommager la thermopompe. Ce système peut fonctionner en sens inverse durant l'été pour climatiser les immeubles.

Créer de l'électricité

Le mont Meager est situé à 150 kilomètres au nord de Vancouver, en Colombie-Britannique, et constitue un complexe volcanique comptant huit cheminées. La dernière éruption du volcan remonte à 2 400 ans. Durant la crise du pétrole des années 1970, BC Hydro ainsi que la Commission géologique du Canada et Énergie, Mines et Ressources Canada ont lancé une enquête géothermique dans la province et déterminé que le mont Meager était un lieu possible de production d'énergie géothermique.

À la fin des années 1990, la North Pacific GeoPower Corporation a commencé à explorer la possibilité d'utiliser l'énergie géothermique dans la région au nord de Vancouver pour produire de l'électricité. Plus précisément, l'entreprise voulait confirmer la présence de réservoirs d'eau circulant dans des fractures de roches qui étaient encore chaudes à la suite d'une activité volcanique. North Pacific prévoit amener l'eau à la surface pour alimenter des turbines à vapeur et produire de l'électricité. L'eau sera retournée par l'entremise de puits d'injection. Au cours des premiers mois de 2002, la société a enregistré une température de 212 °C à une profondeur de seulement 550 mètres.

Bien que le mont Meager soit le seul site géothermique qui fasse l'objet d'une étude active au Canada, d'autres pays, tels que les États-Unis et l'Islande, utilisent depuis de nombreuses années l'énergie géothermique pour faire tourner des turbines et chauffer des maisons et des immeubles.

Considérations. Les systèmes qui utilisent l'énergie terrestre et qui transfèrent la chaleur de zones situées à proximité de la surface de la terre pour chauffer de l'air et de l'eau ne produisent pas d'émissions nocives et leur exploitation est relativement bon marché, tout dépendant de la façon dont l'électricité pour les alimenter est produite. En outre, l'énergie géothermique est une forme d'énergie constante plutôt qu'intermittente. À l'heure actuelle, les frais d'immobilisation d'un système d'énergie terrestre peuvent être plus élevés que ceux de l'installation d'un système de chauffage et de climatisation central utilisant des sources d'énergie traditionnelles. Il existe toutefois plus de 30 000 systèmes d'énergie terrestre au Canada aujourd'hui, et plus on en installera, plus les coûts diminueront.

Bien que la plupart des systèmes qui tirent de l'eau des puits, des étangs et des lacs soient conformes aux règlements environnementaux de la province ou du territoire, il est arrivé qu'on ne retourne pas les eaux souterraines aux aquifères mais qu'on les rejette plutôt dans les égouts. Par conséquent, dans certaines régions, le niveau de la nappe phréatique a diminué. L'eau chaude tirée de profondes fissures rocheuses pour produire de l'électricité suscite aussi des préoccupations. Si elle est rejetée, la silice, les sulfates, les sulfures, les carbonates, les silicates et les halogénures naturellement présents dans cette eau pourraient corroder ce matériel et porter atteinte à l'environnement. Les entreprises qui utilisent cette source d'énergie essaient de contenir l'eau dans des systèmes fermés.

Refroidissement à partir de l'eau profonde des lacs

Toronto est située sur la rive du lac Ontario (270 kilomètres de long, 74,2 kilomètres de large et 81,5 mètres de profond, en moyenne). Enwave District Energy Limited a proposé d'installer une nouvelle conduite de prise d'eau d'une longueur de 5 kilomètres dans le lac Ontario. La conduite sera située dans le fond du lac et tirera de l'eau à une température d'environ 4 °C. Ce système utilisera l'eau naturellement froide du lac Ontario comme point de départ pour climatiser les immeubles à bureaux, les complexes de sport et de divertissement, et les aménagements riverains projetés de Toronto.



Vagues déferlantes. Getty Images.

CONCLUSION

Cet abécédaire sur les technologies d'énergie renouvelable a été produit afin de permettre au grand public de mieux comprendre les possibilités d'adopter au Canada des sources de production d'énergie fondées sur des technologies plus propres et à moindre intensité de gaz à effet de serre. L'abécédaire peut aussi être lu de concert avec nos abécédaires gratuits sur le smog, les pluies acides, les changements climatiques et le mercure, ainsi qu'avec nos rapports de recherche sur l'énergie verte (y compris notre guide à l'intention des consommateurs sur l'achat d'énergie verte).

Pollution Probe a pour but de veiller à ce que les gouvernements et l'industrie adoptent des politiques et des programmes qui engendrent un environnement plus propre et plus sûr. Pour accomplir cette mission, nous comptons sur l'appui d'une population bien informée et engagée. La série d'abécédaires est un volet important du programme d'éducation et de sensibilisation du public de Pollution Probe et nous prions tous les lecteurs d'appuyer un recours accru à l'énergie renouvelable au Canada.

RÉFÉRENCES (tous les sites web ont été visités à des fins de vérification le 16 juillet 2003)

Chapitre un — Qu'est-ce que l'énergie renouvelable?

Association canadienne de l'énergie éolienne — www.canwea.ca/QuickFacts.html

Conseil International pour les Initiatives Écologiques Communales —

www.foecanada.org/greenenergy/ge_buyersguide_home.htm

Les ami(e)s de la Terre : The Green Electricity Buyers' Guide — www.iclei.org/efacts

Nova Scotia Power — www.nspower.ca/AboutUs/OurBusiness/PowerProduction

Ontario Power Generation — www.opgdirect.com; www.opgdirect.com/content/knowledge/glossary.asp; www.opg.com/healeyfalls/e_greenpower_renewable.asp

Pembina Institute for Appropriate Development — www.pembina.org

Pollution Probe — www.pollutionprobe.org/Publications/Index.htm

Re-energy.ca: A Renewable Energy Project Kit — www.re-energy.ca

Toronto Hydro Corporation — www.torontohydro.com/energyservices/index.cfm

Chapitre deux — Eau

HYDROÉLECTRICITÉ

Australian Co-operative Research Centre for Renewable Energy Ltd. — <http://acre.murdoch.edu.au/acre/refiles/hydro/index.html>

Australian Greenhouse Office — www.greenhouse.gov.au/renewable/technologies/hydro/index.html

BC Hydro — www.bchydro.com/environment/greenpower/greenpower1751.html

Conseil International pour les Initiatives Écologiques Communales — www.iclei.org/efacts/hydroele.htm

Niagara Falls: History of Power —
www.iaw.com/-falls/power.html

Ontario Power Generation —
www.opg.com/ops/H_how.asp

Ontario Waterpower Association —
www.owa.ca

Ressources naturelles Canada : Le Réseau canadien des énergies renouvelables —
www.canren.gc.ca/hydro/index.asp

US Department of Energy: Energy Efficiency and Renewable Energy Network —
<http://hydropower.inel.gov>

US Geological Service: Water Science for Schools —
www.ga.usgs.gov/edu/hyhowworks.html

ÉNERGIE MARÉMOTRICE

Annapolis Basin — www.annapolisbasin.com

Australian Co-operative Research Centre for Renewable Energy Ltd. — <http://acre.murdoch.edu.au/acre/refiles/tidal/index.html>

Australian Greenhouse Office — www.greenhouse.gov.au/renewable/technologies/ocean/tidal.html

Conseil International pour les Initiatives Écologiques Communales —
www.iclei.org/efacts/tidal.htm

Fujita Research — www.fujitaresearch.com

Nova Scotia Power — www.nspower.ca/AboutUs/OurBusiness/PowerProduction

The SMEC Group — www.smec.com.au/development/quantum/power_generation.htm

Tidal Electric Ltd. — www.tidalelectric.com

University of Wisconsin-Madison: Department of Geology and Geophysics —
www.geology.wisc.edu/~pbrown/g410/tidal/tidal.html

West Nova Eco Site —
<http://collections.ic.gc.ca/western/tidal.html>

ÉNERGIE HOULOMOTRICE

Atlas Project: European Network of Energy Agencies: European Commission —
http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/htmlu/wavint2.html

Australian Co-operative Research Centre for Renewable Energy Ltd. — <http://acre.murdoch.edu.au/acre/refiles/wave/index.html>

Australian Greenhouse Office —
www.greenhouse.gov.au/renewable/technologies/hydro/index.html

BC Hydro — www.bchydro.com/environment/greenpower/greenpower1767.html

Boyle, G. 1996. *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future*. Toronto: Open University.

Conseil International pour les Initiatives Écologiques Communales —
www.iclei.org/efacts/ocean.htm

Fujita Research — www.fujitaresearch.com

Chapitre trois — Vent

Association canadienne de l'énergie éolienne —
www.awts.pe.ca/index.htm

Axor Group Inc. — www.axor.com/ancien/SITE-ANG/PAGE5C.HTM

BC Hydro —
www.bchydro.com/environment

Canadian Renewable Energy Network —
www.canren.gc.ca/wind/index.asp

Canadian Wind Energy Association —
www.canwea.ca

Conseil International pour les Initiatives Écologiques Communales —
www.iclei.org/efacts/wind.htm

Nova Scotia Power —
www.nspower.ca/GreenPower/index.shtml

Office of Conservation and Renewable Energy. 1990. *Renewable Energy Technology Evolution Rationales*. Washington: US Department of Energy.

Ontario Power Generation —
www.opg.com/envComm/E_greenPower.asp

Toronto Hydro Corporation — www.torontohydro.com/energyservices/index.cfm

Toronto Renewable Energy Co-op —
www.windshare.ca

Vision Quest Windelectric Inc. —
www.greenenergy.com

Chapitre quatre — Biomasse

BIOMASSE — GÉNÉRALITÉS

Alternative Energy Institute, Inc. — www.altenergy.org/2/renewables/biomass/biomass.html

American Biomass Association —
www.biomass.org

Australian Greenhouse Office — www.greenhouse.gov.au/renewable/technologies/biomass/index.html

Biomass Energy Research Association — www.bera1.org

Conseil International pour les Initiatives Écologiques Communales — www.iclei.org/efacts/biomass.htm

Le Réseau canadien des énergies renouvelables — www.canren.gc.ca/bio/index.asp

BIOMASSE — COMBUSTION POUR L'ÉLECTRICITÉ ET LE CHAUFFAGE

Centre de la technologie de l'énergie de CANMET — www.nrcan.gc.ca/es/etb/index_e.html; www.nrcan.gc.ca/es/etb/cetc/pdfs/charlottetown_district_heating_system_e.pdf

Fédération canadienne des municipalités — www.fcm.ca/scep/case_studies/energy/energy_index.htm

Independent Power Producers' Society of Ontario — www.newenergy.org/biomass_info.html; www.newenergy.org/co-generation.html

Oujé-Bougoumou — www.ouje.ca/innov/innov2.htm

Western Regional Biomass Energy Program — www.westbioenergy.org/lessons/les12.htm

BIOMASSE — DIGESTION ANAÉROBIE POUR L'ÉLECTRICITÉ

Atlas Project: European Network of Energy Agencies: European Commission — http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/htmlu/ad.html

CCI Newmarket Plant — www.canadacomposting.com/newmarketplant.htm

Michigan Biomass Energy Program — <http://michiganbioenergy.org/areas/ad.htm>

Ontario Power Generation — www.opgdirect.com/content/secure/serving_needs/greenpower/greenmap.asp

Toronto Hydro Corporation — www.torontohydro.com/energyservices/index.cfm

BIOMASSE — CARBURANT (ÉTHANOL ET BIODIESEL)

Canada News Wire (Toronto Hydro Corporation) — www.canadanewswire.com/releases/October2001/25/c0331.html

Canadian Renewable Fuels Association —
www.greenfuels.org

Commercial Alcohols Inc. — www.comalc.com

Le Réseau canadien des énergies renouvelables
— www.canren.gc.ca/bio/index.asp

Chapitre cinq — Soleil

ÉNERGIE SOLAIRE PASSIVE

Association des industries solaires du Canada
— www.cansia.ca

**Conseil International pour les Initiatives
Écologiques Communales** —
www.iclei.org/efacts/passive.htm

Le Réseau canadien des énergies renouvelables
— www.canren.gc.ca/solar/index.asp

Solar Energy Society of Canada Inc. —
www.solarenergysociety.ca/passive.htm

ÉNERGIE SOLAIRE ACTIVE

Australian Greenhouse Office —
[www.greenhouse.gov.au/renewable/technologies/
solar/lowtemp.html](http://www.greenhouse.gov.au/renewable/technologies/solar/lowtemp.html);
[www.greenhouse.gov.au/renewable/technologies/
solar/hitemp.html](http://www.greenhouse.gov.au/renewable/technologies/solar/hitemp.html)

Gouvernement de l'Alberta —
www3.gov.ab.ca/env

Le Réseau canadien des énergies renouvelables
— www.canren.gc.ca/solar/index.asp

Solar Energy Society of Canada —
www.solarenergysociety.ca/active.htm

ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

Australian Greenhouse Office —
[www.greenhouse.gov.au/renewable/technologies/
hydro/index.html](http://www.greenhouse.gov.au/renewable/technologies/hydro/index.html)

BC Hydro — [www.bchydro.com/business/
investigate/investigate977.html](http://www.bchydro.com/business/investigate/investigate977.html)

**Centre de la technologie de l'énergie
de CANMET** — [http://cedrl.mets.nrcan.gc.ca/e/
411_pvworks_e.html](http://cedrl.mets.nrcan.gc.ca/e/411_pvworks_e.html)

**Conseil International pour les Initiatives
Écologiques Communales** —
www.iclei.org/efacts/photovol.htm

Le Réseau canadien des énergies renouvelables
— www.canren.gc.ca/solar/index.asp

Solar Energy Society of Canada —
www.solarenergysociety.ca/photovoltaic.htm

Chapitre six — Terre

Canadian Geothermal Energy Association —
www.geothermal.ca

**Conseil International pour les Initiatives
Écologiques Communales —**
www.iclei.org/efacts/geotherm.htm

Earth Energy Society of Canada —
www.earthenergy.ca/tech.html

Enwave District Energy Limited —
www.enwave.com/enwave/technology.asp

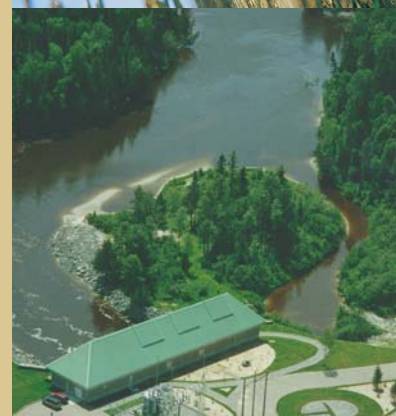
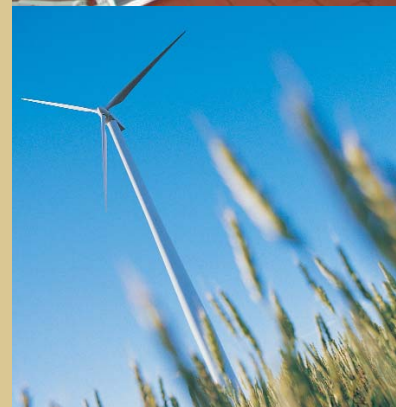
International Geothermal Association —
<http://iga.igg.cnr.it/index.php>

North Pacific GeoPower Corp. —
www.npgeopower.com

Le Réseau canadien des énergies renouvelables
— www.canren.gc.ca/earth/index.asp

**Ressources naturelles Canada : Catalogue des
volcans du Canada —** [www.nrcan.gc.ca/gsc/
pacific/vancouver/volcanoes/index_e.html](http://www.nrcan.gc.ca/gsc/pacific/vancouver/volcanoes/index_e.html)

Ressources naturelles Canada : Mont Meager
— [www.nrcan.gc.ca/gsc/pacific/vancouver/
volcanoes/catalogue/16_2_cata_e.php](http://www.nrcan.gc.ca/gsc/pacific/vancouver/volcanoes/catalogue/16_2_cata_e.php)





POLLUTION PROBE
CLEAN AIR. CLEAN WATER.

BUREAU DE TORONTO :

**625, rue Church
Bureau 402
Toronto (Ontario)
Canada M4Y 2G1**

**Tél. : 416-926-1907
Télééc : 416-926-1601**

www.pollutionprobe.org

BUREAU D'OTTAWA :

**63, rue Sparks
Bureau 101
Ottawa (Ontario)
Canada K1P 5A6**

**Tél. : 613-237-8666
Télééc : 613-237-6111**