

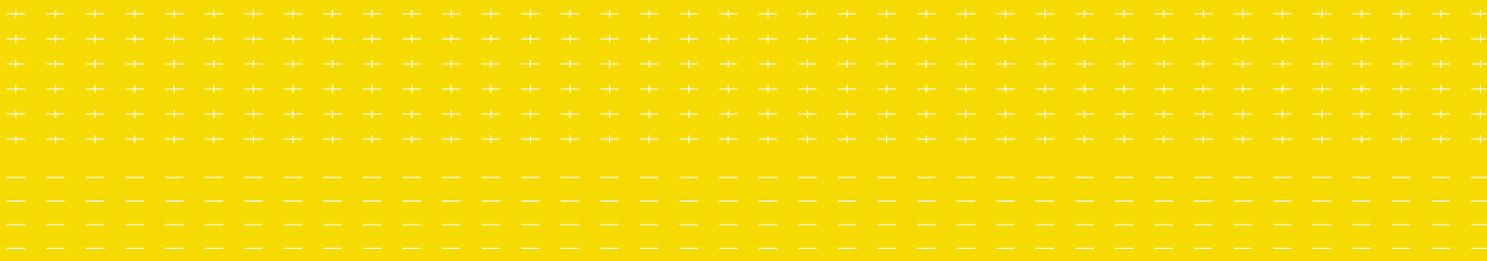
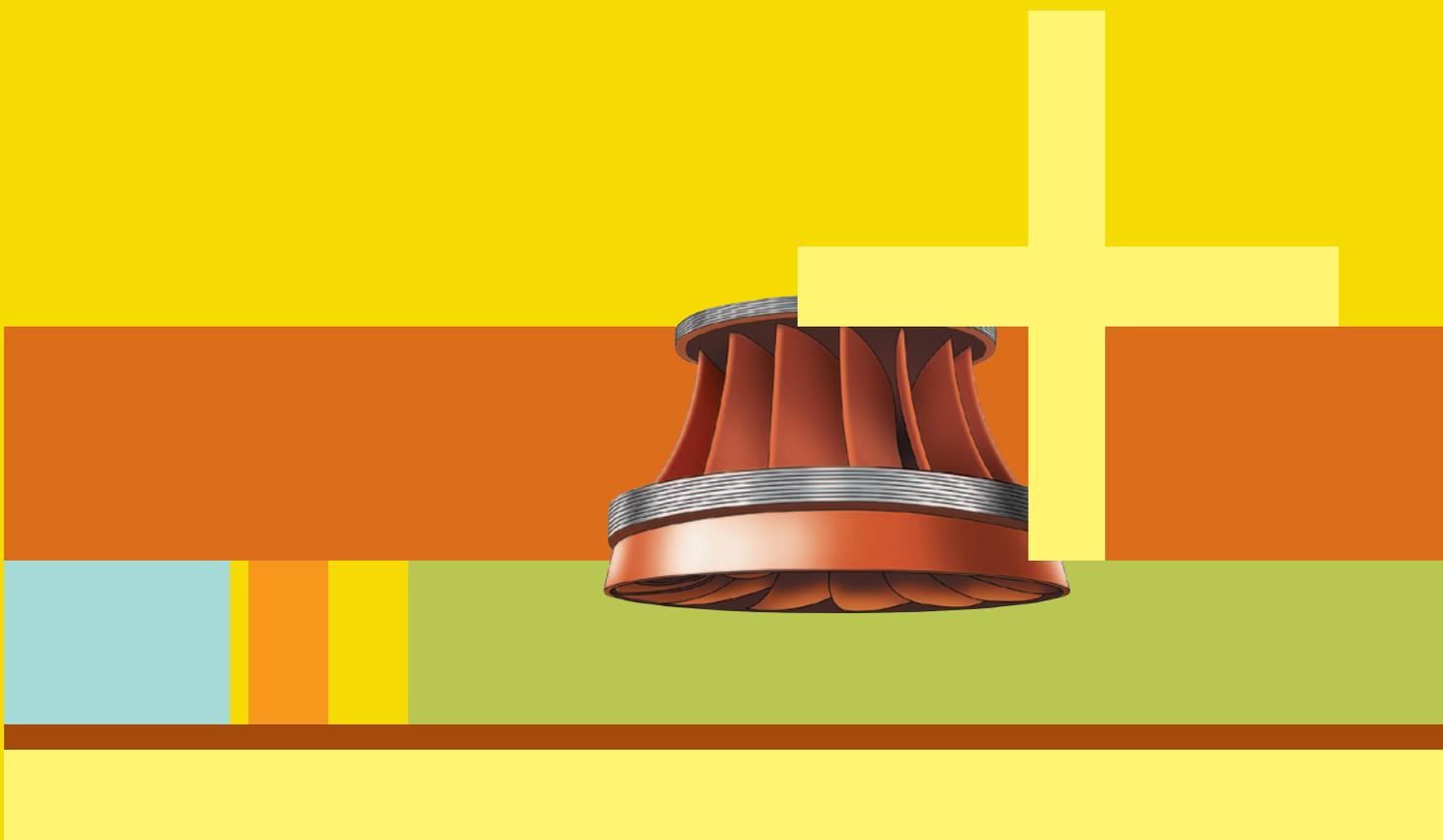
L'ÉLECTRICITÉ de la centrale à la maison



L'ÉLECTRICITÉ

de la centrale à la maison





Note : Les figures et les illustrations contenues dans ce document sont des représentations simplifiées qui ont été conçues dans le but d'aider à la compréhension du lecteur. Elles ne reflètent pas nécessairement la réalité technique du phénomène ou de l'équipement à l'étude.



H₂O

« L'eau, exploitée avec patience, adresse et respect, constitue une ressource précieuse et inépuisable. »

– Antoine de Saint-Exupéry
écrivain et aviateur français

Voyage fascinant s'il en est un, le parcours de l'électricité a tout pour éveiller notre curiosité. Par ses détours parfois inattendus et ses panoramas éloquents et enchanteurs, cet ouvrage de vulgarisation propose un aperçu des connaissances sur l'électricité, et vous invite à la découverte, entre autres, des ressources hydroélectriques du Québec. Voici donc l'électricité, de la centrale à la maison... une aventure sur toute la ligne, racontée par Hydro-Québec.



De la centrale à la maison, l'électricité

Table des matières

Qu'est-ce que l'électricité ? /4/

Un survol historique de l'électricité /6/

Depuis quand utilise-t-on de l'électricité au Québec ? /8/

L'histoire d'Hydro-Québec en bref /9/

Pourquoi utilise-t-on l'hydroélectricité au Québec ? /10/

La production de l'électricité /12/

Les ouvrages de retenue /14/

La gestion de l'eau /16/

Les centrales hydroélectriques /18/

Les groupes turbines-alternateurs /20/

La construction d'un aménagement hydroélectrique /22/

Les centrales thermiques /24/

Les énergies renouvelables /26/



parcourt des milliers de kilomètres !

Par où passe l'électricité qui se rend à la maison ? /28/

Le transport de l'électricité /30/

Les pylônes /32/

Les grandes distances /34/

La conduite du réseau /36/

Qu'arrive-t-il lorsqu'on allume un appareil électrique ? /38/

La distribution de l'électricité /40/

La consommation d'électricité /42/

L'efficacité énergétique /44/

Vous voulez en savoir davantage ? /46/

Les records d'Hydro-Québec /47/

Index /48/

QU'EST-CE QUE L'ÉLECTRICITÉ ?

réponse://

L'électricité est un phénomène invisible causé par le déplacement d'électrons dans un conducteur. À première vue, cette explication présente bon nombre de possibilités... et d'inconnues! Aussi curieux que cela puisse paraître, nous ne savons pas vraiment définir l'énergie électrique. En revanche, nous connaissons bien les propriétés de l'électricité, et comment la produire, la transporter et surtout l'utiliser.



W / Watt, unité standard pour mesurer la force de poussée de l'électricité, ou la tension. Du nom de l'inventeur de la pile, *Alessandro Volta*.

A / Ampère, unité qui sert à mesurer la quantité de courant électrique. Du nom de l'inventeur français du galvanomètre, *André-Marie Ampère*.

Ω / Ohm, unité qui sert à mesurer la résistance d'une substance au passage de l'électricité. Du nom du physicien allemand et auteur d'une loi en électricité, *Georg Simon Ohm*.

W / Watt, unité standard de puissance, du courant alternatif, entre autres. Du nom de l'inventeur écossais *James Watt*, reconnu pour ses améliorations au moteur à vapeur.

La mesure de l'électricité

Le courant électrique, c'est un peu comme l'eau qui passe dans un boyau d'arrosage. La pression dans le boyau, ou la force à laquelle l'eau y circule, correspond à la tension (V). Le débit du boyau, ou la quantité d'eau qui y circule, équivaut à l'intensité mesurée en ampères (A). Le frottement de l'eau sur les parois du boyau est semblable à la résistance (Ω). Pour calculer la puissance, on multiplie la tension par l'intensité et on obtient des watts (W). Pour exprimer la consommation, on se sert des wattheures (Wh) qui indiquent l'énergie qu'utilise un système ou un appareil pendant une période de temps.

Figure 1 – Similitudes entre l'eau dans un boyau d'arrosage et le courant électrique

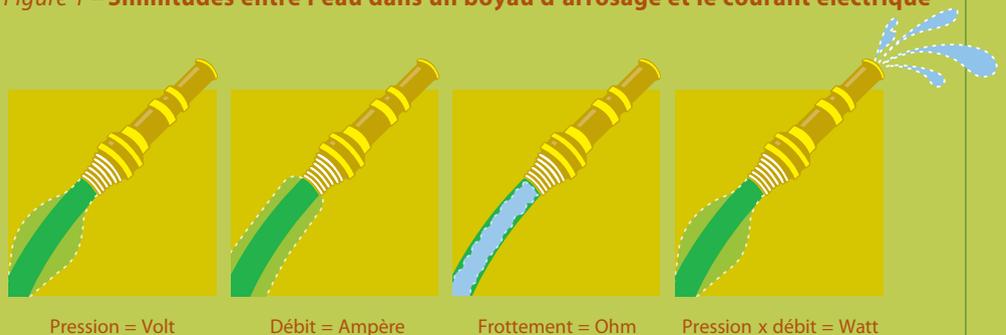
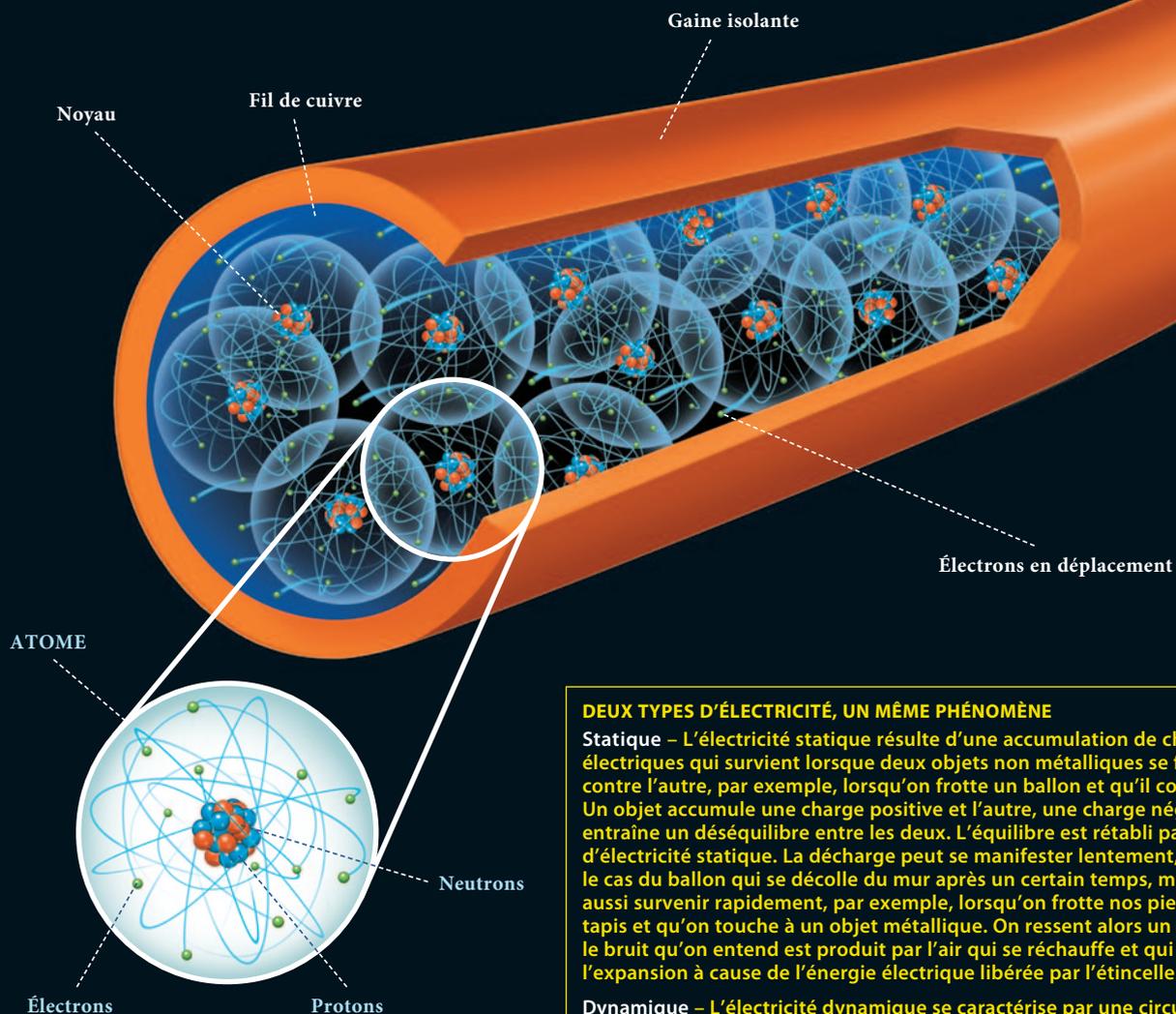


Figure 2 / Le mouvement des électrons

DES ÉLECTRONS QUI « VIBRENT » DE LA CENTRALE À LA MAISON

Lorsqu'on déplace un aimant à proximité d'un fil métallique, en cuivre par exemple, on crée un mouvement d'électrons dans ce fil. Et lorsque des électrons se déplacent, on dit qu'il y a courant électrique. C'est l'effet domino de ce mouvement d'électrons le long d'un conducteur qui permet de faire circuler l'énergie électrique jusque chez vous.



Au niveau de l'atome

Pour mieux comprendre le phénomène de l'électricité, il faut remonter à l'atome. L'air, l'eau, les êtres vivants et les matériaux sont tous formés d'atomes. Pour vous donner une idée de la grosseur d'un atome, un seul cheveu a plus d'un million d'atomes de largeur ! L'atome est constitué d'un noyau autour duquel on trouve un certain nombre d'électrons. Un électron est une particule de charge négative qui tourne autour de son noyau un peu comme des satellites autour de la Terre. Les électrons de certains métaux, tels que le cuivre et l'aluminium, peuvent facilement quitter leur orbite ; on appelle ces matières des conducteurs. Les atomes de certaines substances, comme la céramique, ne laissent pas échapper d'électrons ; on appelle ces matières des isolants.

DEUX TYPES D'ÉLECTRICITÉ, UN MÊME PHÉNOMÈNE

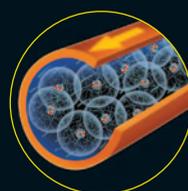
Statique – L'électricité statique résulte d'une accumulation de charges électriques qui survient lorsque deux objets non métalliques se frottent l'un contre l'autre, par exemple, lorsqu'on frotte un ballon et qu'il colle au mur. Un objet accumule une charge positive et l'autre, une charge négative, ce qui entraîne un déséquilibre entre les deux. L'équilibre est rétabli par la décharge d'électricité statique. La décharge peut se manifester lentement, comme dans le cas du ballon qui se décolle du mur après un certain temps, mais elle peut aussi survenir rapidement, par exemple, lorsqu'on frotte nos pieds sur un tapis et qu'on touche à un objet métallique. On ressent alors un léger choc ; le bruit qu'on entend est produit par l'air qui se réchauffe et qui prend de l'expansion à cause de l'énergie électrique libérée par l'étincelle.

Dynamique – L'électricité dynamique se caractérise par une circulation de charges électriques dans un conducteur, autrement dit par le passage d'un courant électrique dans un circuit.

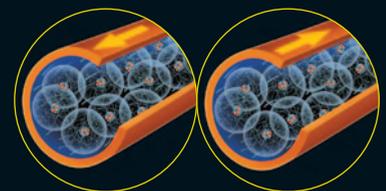
L'électricité d'origine électrochimique est produite par une réaction chimique qui engendre un mouvement d'électrons du pôle négatif vers le pôle positif d'une pile, par exemple. On appelle ce courant électrique un *courant continu*.

L'électricité d'origine électromagnétique est produite par un mouvement d'électrons dû au déplacement d'un aimant à l'intérieur d'une bobine de fils métalliques. Il s'agit cependant d'un va-et-vient entre atomes, car les électrons sont attirés et repoussés alternativement par l'aimant. On appelle ce type de courant un *courant alternatif*. Le magnétisme permet ainsi de produire plus de 99 % de l'énergie électrique consommée dans le monde.

Figure 3 – Courant continu et courant alternatif



Dans le courant continu, les électrons se déplacent toujours dans le même sens.



Dans le courant alternatif, les électrons vont dans un sens puis dans l'autre, car ils sont influencés tantôt par le pôle positif, tantôt par le pôle négatif de l'aimant. En fait, le courant alternatif change de direction 120 fois par seconde !

Un survol historique de l'électricité



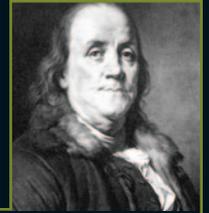
600 ANS AV. J.-C.

Le mathématicien grec Thalès de Milet découvre qu'un morceau d'ambre jaune frotté sur sa toge permet de soulever de petits objets. Il décrit les premiers effets apparents de l'électricité statique. C'est sans doute de cette observation que viennent les origines du mot électricité. En effet, ambre jaune en grec se dit *elektron*. Cette découverte va toutefois dormir pendant près de 2000 ans.



375 ANS AV. J.-C.

Le général chinois Haung Ti se rend compte qu'un morceau de magnétite, un aimant naturel, s'aligne dans la direction des pôles nord et sud lorsqu'il est suspendu par une ficelle. Il applique son invention pour mener ses troupes dans la bonne direction sur de longues distances. Cette découverte a permis de construire la première boussole.



1747

Le politicien et inventeur américain Benjamin Franklin est le premier à parler des charges positive et négative de l'électricité. Quelques années plus tard, en 1752, il entreprend sa célèbre expérience avec le cerf-volant durant un orage pour démontrer la nature électrique de la foudre. Il invente peu après le premier paratonnerre pour protéger les bâtiments des effets dévastateurs de la foudre.

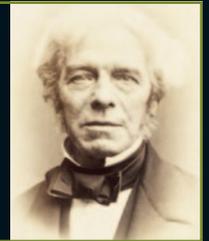


1800

Le physicien italien Alessandro Volta invente la première pile. Son engin prouve que le contact entre certains métaux et des produits chimiques produit un courant électrique. Pour la première fois, l'électricité « bouge ».

1831

Découverte du phénomène de l'induction électromagnétique par le physicien et chimiste britannique Michael Faraday ; celui-ci produit un courant électrique en déplaçant un aimant vers l'avant et vers l'arrière à l'intérieur d'un bobinage métallique. La découverte fait boule de neige : le domaine de l'électricité s'empresse alors d'appliquer les principes innovateurs de Faraday aux besoins de production de l'ère industrielle. Par exemple, le premier générateur électrique, véritable précurseur des groupes turbines-alternateurs d'aujourd'hui, découle des principes de Faraday. Les expériences de Faraday amènent d'autres chercheurs à inventer notamment le premier moteur électrique et le premier transformateur, appareil essentiel au transport de l'électricité.



EAU + ÉLECTRICITÉ =

DANGER

L'électricité cherche toujours le plus court chemin pour aller vers la terre. Quand une personne reçoit un choc électrique, elle sert de chemin à l'électricité, car le corps humain contient environ 70 % d'eau et l'eau, comme les métaux, est un excellent conducteur d'électricité. Une branche d'arbre peut aussi conduire le courant puisque du liquide (la sève) circule à l'intérieur. Chez l'humain, même un courant de faible intensité peut causer la mort ou des blessures très sérieuses. Dans la majorité des cas, les accidents d'origine électrique peuvent être évités. Il suffit de prendre des précautions, par exemple :

- faire fonctionner tous vos appareils électriques (séchoir à cheveux, radiocassette, etc.) le plus loin possible de l'eau, que vous soyez dans la salle de bains ou autour de la piscine ;
- en cas d'orage, se tenir à l'écart de l'eau et des objets de grande taille, tels que les arbres isolés et les pylônes... votre meilleure protection contre la foudre demeure l'intérieur d'une maison ;
- toujours s'informer des règles de sécurité concernant l'appareil électrique que vous utilisez ou l'environnement que vous fréquentez, et s'y conformer... lorsqu'il s'agit d'électricité, la prudence et la vigilance s'imposent afin de prévenir un accident.





L'anguille électrique, ou gymnote, qui vit dans les rivières d'Amérique du Sud, produit suffisamment d'électricité pour allumer 12 ampoules de 40 watts.

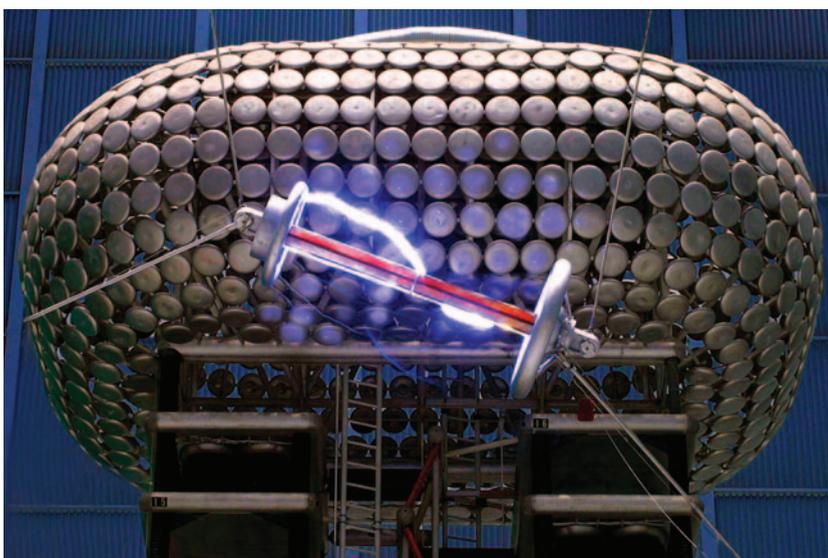
L'électricité dans la nature

La foudre

La foudre est essentiellement de l'électricité statique causée par le frottement des gouttelettes d'eau dans l'air, mais en des concentrations gigantesques. L'éclair et le tonnerre se produisent simultanément, mais comme l'éclair se propage à peu près à la vitesse de la lumière et que le tonnerre circule à la vitesse du son, soit environ 866 000 fois plus lentement, on ne perçoit pas les deux phénomènes en même temps.

Les poissons électriques

Certaines espèces de poissons, telles que les raies électriques, les anguilles électriques et les poissons-chats électriques, possèdent des organes émetteurs d'électricité. Leurs décharges électriques servent à paralyser leur proie, à se défendre ou à se diriger.



Dans les vastes installations de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec, à Varennes, il est possible de reproduire la foudre lors d'essais à haute tension.

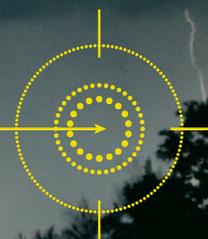


La décharge de la foudre peut dépasser 30 millions de volts – l'équivalent de 2,5 millions de batteries de voiture!

Inauguré en 1970, l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) invente, développe et teste de nouvelles technologies liées aux divers domaines d'activités d'Hydro-Québec et innove dans de nouveaux secteurs d'activités pour l'entreprise. Hydro-Québec est la seule entreprise d'électricité en Amérique du Nord à posséder un centre de recherche aussi important intégré à son organisation.

Chaque seconde comptée entre un éclair et le tonnerre représente 300 mètres. Donc, si on a le temps de compter trois secondes, c'est que la foudre est tombée à 900 mètres.

1 seconde



300 mètres

DEPUIS QUAND UTILISE-T-ON DE L'ÉLECTRICITÉ AU QUÉBEC?

réponse://

Cela fait près de 125 ans que les Québécois et les Québécoises connaissent les bienfaits de l'électricité. Voici donc quelques événements qui ont marqué le rayonnement de l'électricité sur le territoire québécois. Bien entendu, l'histoire de l'électricité au Québec, c'est aussi en grande partie l'histoire d'Hydro-Québec.

1879 – DÉMONSTRATION PUBLIQUE DE LA LAMPE À ARC À MONTRÉAL

Le 16 mai 1879 a lieu une démonstration publique de la lampe à arc au champ de Mars, à Montréal. « Plusieurs milliers de spectateurs se sont déclarés satisfaits », pourrât-on lire dans le journal *La Minerve* du lendemain. La même année, l'Américain Thomas Alva Edison améliore la lampe à incandescence, qu'il commercialisera quelque dix ans plus tard.

1889 – L'ÉLECTRICITÉ SUPPLANTE LE GAZ!

L'électricité finit par évincer totalement le gaz comme mode d'éclairage des rues à Montréal. Ainsi, à compter de 1889, l'éclairage électrique s'étend à toute la ville.

1901 – UN PUISSANT MONOPOLE ÉMERGE, LA MONTREAL LIGHT, HEAT AND POWER COMPANY

La fusion de la *Montreal Gas Company* et de la *Royal Electric Company* jette les bases de ce qui deviendra un vaste empire industriel et financier : la *Montreal Light, Heat and Power Company*. L'entreprise veut tirer profit des immenses possibilités d'expansion qu'offre le marché de l'électricité. Elle refuse systématiquement toute forme de collaboration avec les commissions d'enquête ou les organismes mis sur pied par le gouvernement pour tenter de réglementer le commerce de l'électricité.

1908 – ENFOUISSEMENT DES FILS ET ESTHÉTIQUE URBAINE

Les entreprises désireuses de se tailler une place sur le lucratif marché de l'éclairage public se multiplient. Les fils s'entrecroisent, et les rues de Montréal s'enlaidissent. Pour remédier à cette situation et pour protéger son réseau d'électricité contre les intempéries et les rigueurs de l'hiver, Montréal devient l'une des premières villes d'Amérique du Nord à se doter d'une politique d'enfouissement des fils. Rigueur du climat et esthétique urbaine obligent.

1892 – LES TRAMWAYS ÉLECTRIQUES FONT LEUR APPARITION À MONTRÉAL

Les premiers tramways électriques sillonnent les rues de Montréal. Ils remplacent les tramways tirés par des chevaux qui existaient depuis 1861. D'autres villes du Québec adoptent également ce mode de transport en commun, notamment les villes de Québec, de Trois-Rivières et de Sherbrooke.



L'histoire d'Hydro-Québec en bref

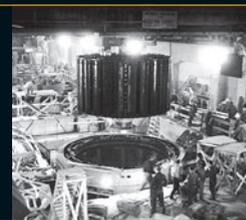
1944 – NAISSANCE D'HYDRO-QUÉBEC

Les entreprises d'électricité sont prospères, mais leur image auprès du public n'est pas très reluisante. Des chefs de file du monde politique et des milieux universitaires dénoncent avec force les abus dont elles se rendent coupables : tarifs élevés, service de piètre qualité, profits exorbitants, arrogance vis-à-vis des tentatives du gouvernement pour réglementer le commerce de l'électricité. Le 14 avril, le gouvernement du Québec adopte une loi qui exproprie les avoirs électriques et gaziers du puissant monopole que constitue la *Montreal Light, Heat and Power Company Consolidated*. Il en confie la gestion à une société d'État, la Commission hydroélectrique de Québec, qui deviendra plus tard Hydro-Québec. La société d'État commence par le fait même à exploiter quatre centrales, soit les centrales de Chambly, des Cèdres, de la Rivière-des-Prairies et de Beauharnois, représentant 696 mégawatts de puissance installée.



1953 – PREMIERS TRAVAUX D'IMPORTANCE

Hydro-Québec entreprend les travaux d'aménagement de la rivière Betsiamites, sur la Côte-Nord. Ce premier chantier éloigné vise la construction de deux centrales hydroélectriques, soit Bersimis-1 et Bersimis-2. Hydro-Québec a alors l'occasion de perfectionner et de mettre en œuvre la technologie du transport à 315 000 volts, une première mondiale à l'époque.



1959 – DÉBUT DES PROJETS D'ENVERGURE

À l'automne de 1959, Hydro-Québec annonce le début des travaux d'aménagement des rivières Manicouagan et aux Outardes, sur la Côte-Nord. Il s'agit du plus ambitieux projet hydroélectrique jamais entrepris au Canada ; aujourd'hui, le complexe Manic-Outardes comporte neuf centrales hydroélectriques, dont l'une a nécessité la construction d'un barrage unique en son genre. Une autre prouesse technique en matière de transport d'électricité voit le jour, soit la ligne à 735 000 volts, pour faciliter l'acheminement des importantes quantités d'énergie du complexe sur plusieurs centaines de kilomètres, vers les centres urbains.

1963 – DEUXIÈME PHASE DE LA NATIONALISATION DE L'ÉLECTRICITÉ

Le 1^{er} mai, Hydro-Québec fait l'acquisition des huit derniers producteurs et distributeurs privés d'électricité. Par la suite, quarante-cinq des quarante-six coopératives d'électricité ainsi que de nombreux réseaux municipaux acceptent l'offre d'achat qui leur est faite. Dès lors, la puissance installée d'Hydro-Québec passe de 3 700 à 6 200 mégawatts, et ses clients profitent de tarifs bas et uniformes sur l'ensemble du territoire québécois. Alors que l'option nucléaire bénéficie d'un engouement sans précédent dans le monde entier, Hydro-Québec continue de miser plutôt sur l'hydroélectricité.



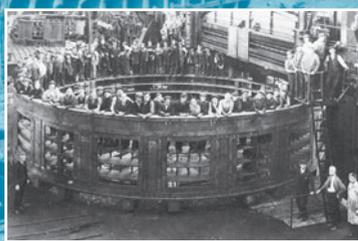
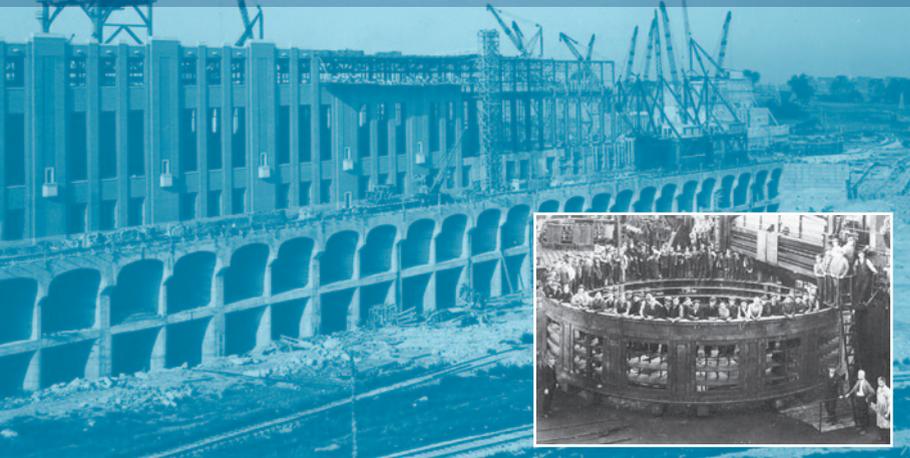
1971 – LANCEMENT DU « PROJET DU SIÈCLE »

Hydro-Québec donne le coup d'envoi à l'aménagement du complexe La Grande, à la Baie-James. Elle confie la gestion du projet à la Société d'énergie de la Baie James, qui deviendra, par la suite, une filiale à part entière de l'entreprise. Avec la mise en service de la centrale Laforge-2 en 1996, La Grande deviendra le plus imposant des complexes hydroélectriques du monde ; depuis cette année, l'ensemble de l'aménagement hydroélectrique La Grande-2 porte le nom de l'ancien premier ministre du Québec, Robert Bourassa, fervent défenseur de l'énergie du Nord québécois.

1929 – BEAUHARNOIS, UN PROJET DE CENTRALE GRANDIOSE SUR LE SAINT-LAURENT

L'ampleur de ce projet hydroélectrique frappe l'imagination ; on le compare souvent au chantier du canal de Panama. Largement publicisée dans la presse mondiale, la construction de la centrale de Beauharnois, située à seulement 40 kilomètres de Montréal, est remarquable à plusieurs égards.

La mise en service par Hydro-Québec, en 1961, du dernier des 38 groupes turbines-alternateurs de la centrale, marquera la fin de plus de 30 ans de travaux. La centrale de Beauharnois est alors considérée comme la plus puissante du Canada ; encore aujourd'hui, elle demeure l'une des plus puissantes centrales au fil de l'eau dans le monde.



1975 – SIGNATURE DE LA CONVENTION DE LA BAIE JAMES ET DU NORD QUÉBÉCOIS

Hydro-Québec signe un pacte social sans précédent, établissant les droits et les obligations des autochtones – les Cris et les Inuits – et des autres parties en cause, ainsi que les modalités qui doivent régir le développement des ressources du territoire de la Baie-James.

2002 – NOUVEL EFFORT DE DÉVELOPPEMENT

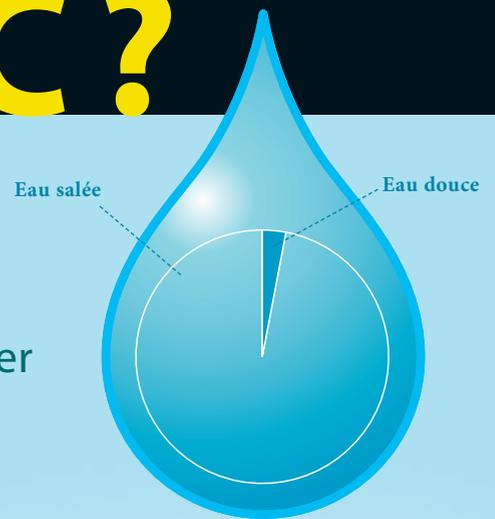
Le 7 février 2002, la signature d'une entente historique entre le gouvernement du Québec et le Grand Conseil des Cris – la Paix des Braves – ouvre la voie à de nouveaux projets hydroélectriques d'importance dans le nord-ouest du Québec, dont les centrales de l'Eastmain-1 et de l'Eastmain-1-A.

question://

POURQUOI UTILISE-T-ON L'HYDRO- ÉLECTRICITÉ AU QUÉBEC?

réponse://

Le Québec a trois bonnes raisons de vouloir tirer parti de l'hydroélectricité... Il peut compter sur des réserves d'eau abondantes sur son territoire. L'hydroélectricité est une énergie propre qui a très peu d'incidence sur le réchauffement de la planète. Autre avantage : l'efficacité. En effet, la production d'hydroélectricité occasionne moins de pertes énergétiques comparativement à la production d'électricité utilisant d'autres sources d'énergie.



L'EAU SALÉE ET L'EAU DOUCE DANS LE MONDE

L'eau est la matière la plus abondante sur Terre. Elle en recouvre les trois quarts de sa surface. L'eau salée compte pour 97,5 % du volume d'eau présent sur notre planète. Des 2,5 % restants, qui représentent les réserves en eau douce, seulement le tiers est exploitable.

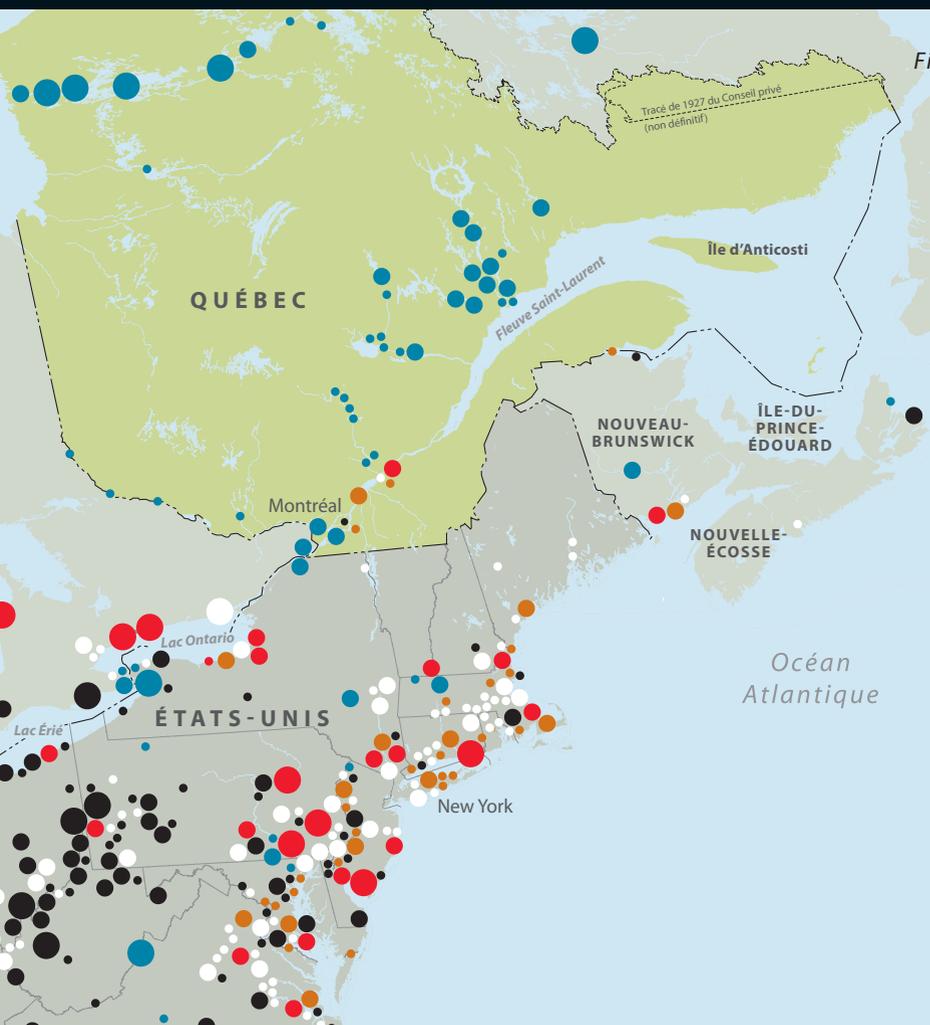


Figure 4 / La production d'électricité dans le Nord-Est américain

On distingue une nette prépondérance de centrales thermiques dans les provinces et États voisins du Québec, de même que la forte proportion de centrales hydroélectriques au Québec.

Légende des centrales

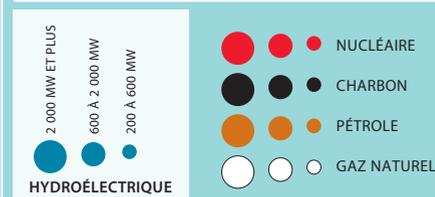
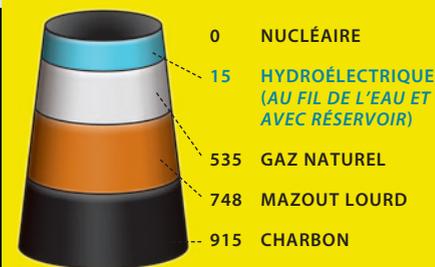


Tableau 1 – PRINCIPALES SOURCES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ EN AMÉRIQUE DU NORD EN 2007*

	ÉTATS-UNIS	CANADA	QUÉBEC
CHARBON	49 %	20 %	0 %
HYDROÉLECTRICITÉ	6 %	59 %	95 %

*Source : Carte « La production d'électricité au Canada et aux États-Unis » – Hydro-Québec, janvier 2010.

Tableau 2 – ÉMISSIONS DES DIFFÉRENTS TYPES DE CENTRALE (EN MILLIERS DE TONNES DE CO₂ PAR TWh PRODUIT)*



*Source : Carte « La production d'électricité au Canada et aux États-Unis » – Hydro-Québec, janvier 2010.

Gaz à effet de serre : Les gaz de l'atmosphère qui permettent à la Terre de rester chaude sont appelés gaz à effet de serre, ou GES. La surproduction de ces gaz intensifie l'effet de réchauffement de notre « serre » atmosphérique naturelle, ce qui peut provoquer des événements météorologiques extrêmes. Au premier rang des GES en surabondance figure le gaz carbonique (CO₂), un des principaux polluants industriels.

Développement durable : Un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs.

1 Le Québec regorge de ressources hydrauliques

Le Québec est l'une des régions les plus riches en eau du monde. On y dénombre plus de 130 000 cours d'eau et 1 000 000 de lacs. Plus de 40 % des ressources hydrauliques du Canada se trouvent au Québec. Ses nappes d'eau de surface (lacs naturels et réservoirs) couvrent environ 12 % du territoire.

3 Un rendement énergétique supérieur

La transformation du mouvement de l'eau en électricité, ou l'hydroélectricité, minimise les pertes d'énergie lors du processus de production. La transformation de combustibles fossiles, tels que le mazout, le gaz naturel ou le charbon, entraîne généralement des pertes importantes sous forme de chaleur dissipée. Lorsqu'on brûle du charbon, par exemple, les deux tiers de l'énergie sont perdus, alors que l'eau qui actionne les turbines d'une centrale hydroélectrique est utilisée entièrement puis retourne dans le cours d'eau.

2 Une faible source d'émissions

Les systèmes énergétiques génèrent de grandes quantités de polluants, dont les gaz à effet de serre (GES). Cependant, l'hydroélectricité figure parmi les formes d'énergie les moins polluantes. Comme l'indique le tableau 2 ci-dessus, une centrale hydroélectrique produit 61 fois moins de GES qu'une centrale au charbon. C'est pourquoi l'hydroélectricité permet de lutter contre les changements climatiques tout en assurant le développement durable.

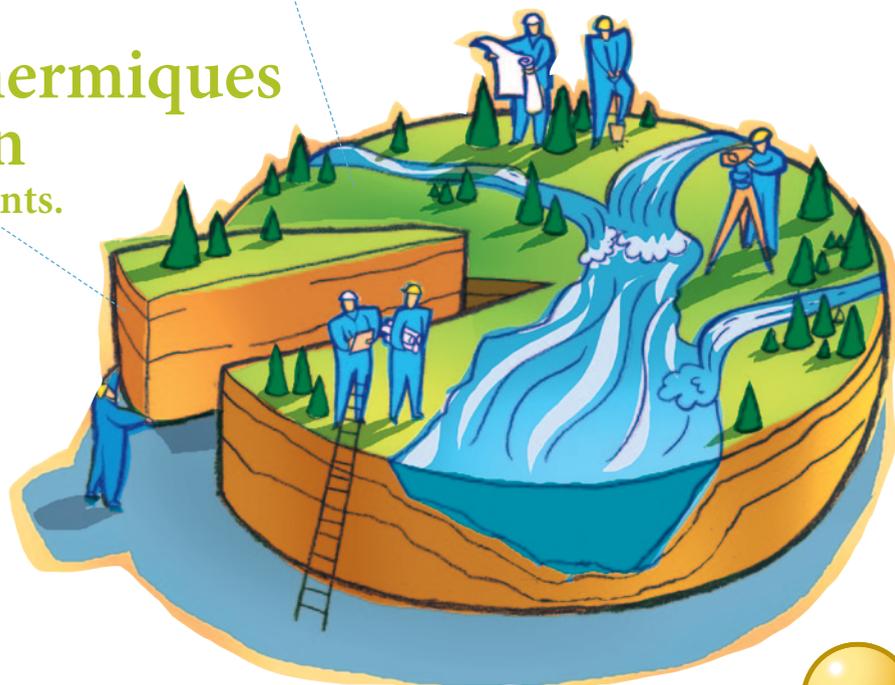
Filière hydroélectrique

60 centrales hydroélectriques
comptent pour 98 % de la production d'Hydro-Québec.

Autres modes de production

28 centrales thermiques
et 1 parc éolien
fournissent les 2 % restants.

HYDRO
VIENT DU
GREC ET
SIGNIFIE
« EAU »



La production de l'électricité

Chez vous, un frigo ronronne, un écran d'ordinateur s'éclaire... Rien de cela n'existerait sans électricité. La demande est importante, alors il faut en produire beaucoup, dans des centrales, et l'amener aux maisons. On produit de l'électricité à grande échelle de diverses façons, au moyen de l'eau entre autres. La plupart des centrales énergétiques à haut rendement produisent de l'électricité en convertissant l'énergie du mouvement, ou mécanique, en énergie électrique.



L'hydroélectricité, la puissance de l'eau

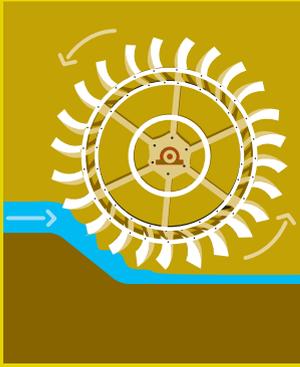
Le Québec emploie surtout *la force motrice de l'eau* pour produire de l'électricité. Abondante sur le territoire québécois, propre et efficace, l'hydroélectricité est aussi avantageuse parce qu'elle est une énergie renouvelable. Dans les centrales hydroélectriques, l'eau fait tourner d'énormes turbines accouplées à des alternateurs. On nomme ces systèmes des groupes turbines-alternateurs.



L'électricité par d'autres moyens

On peut employer d'autres forces pour actionner une turbine et ainsi produire de l'électricité, telles que la vapeur sous pression (énergie thermique) par l'utilisation de mazout, de gaz, de charbon ou de combustible nucléaire. Des moteurs diesels peuvent également faire tourner l'alternateur. Il est même possible de propulser une turbine à partir du vent (énergie éolienne) ou des marées. Il existe aussi d'autres sources potentielles d'énergie : le soleil, la géothermie, c'est-à-dire la chaleur contenue dans la terre, et la biomasse, soit le méthane qu'on peut tirer de la décomposition de matières organiques.





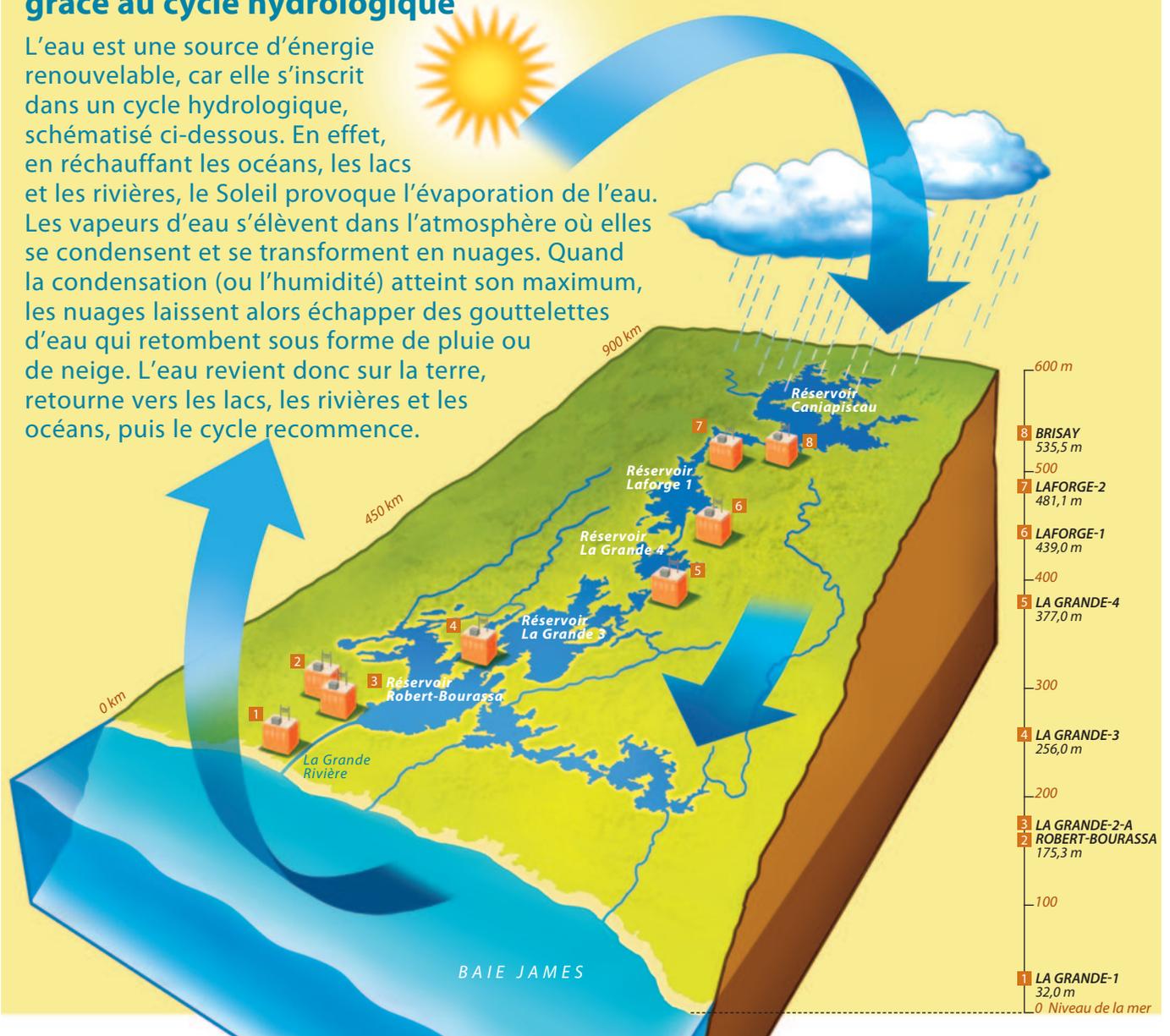
La force motrice de l'eau :

La force motrice de l'eau est sa capacité à créer de l'énergie mécanique. Les meuniers furent parmi les premiers à exploiter cette force il y a quelques milliers d'années ; leur moulin, construit au bord d'un cours d'eau, était doté d'une roue à aubes qui, entraînée par une chute d'eau, actionnait une meule pour réduire le grain en farine. Afin que l'eau devienne une force motrice suffisante pour faire tourner la turbine d'une centrale hydroélectrique, il faut que le débit de la rivière, c'est-à-dire le volume d'eau qu'elle transporte, soit assez fort et que sa hauteur de chute soit assez élevée. La hauteur de chute est la différence d'altitude entre la prise d'eau et la sortie d'eau. Plus cette hauteur est importante, plus l'eau descend rapidement et exerce de la force sur la turbine. C'est pourquoi certains cours d'eau nécessitent des ouvrages de retenue pour leur donner une hauteur de chute considérable.

Figure 6 / Le cycle hydrologique

L'eau, une source d'énergie renouvelable grâce au cycle hydrologique

L'eau est une source d'énergie renouvelable, car elle s'inscrit dans un cycle hydrologique, schématisé ci-dessous. En effet, en réchauffant les océans, les lacs et les rivières, le Soleil provoque l'évaporation de l'eau. Les vapeurs d'eau s'élèvent dans l'atmosphère où elles se condensent et se transforment en nuages. Quand la condensation (ou l'humidité) atteint son maximum, les nuages laissent alors échapper des gouttelettes d'eau qui retombent sous forme de pluie ou de neige. L'eau revient donc sur la terre, retourne vers les lacs, les rivières et les océans, puis le cycle recommence.



PROFIL HYDROGRAPHIQUE DU COMPLEXE LA GRANDE

La Grande Rivière, le plus long cours d'eau du Québec après le Saint-Laurent et la rivière des Outaouais, est le site du plus grand complexe hydroélectrique d'Hydro-Québec. Près de la moitié de toute l'électricité produite au Québec provient du complexe La Grande. Dans son axe hydrique, huit centrales turbinent l'eau sept fois, c'est-à-dire que la même eau produit de l'électricité à sept reprises avant de se jeter dans la baie James.



LA NEIGE N'A PAS DE SECRET POUR LE GMON !

Inventé à l'Institut de recherche d'Hydro-Québec avec la collaboration de partenaires externes, le capteur GMON (pour *Gamma Monitoring*) peut mesurer précisément la quantité d'eau que renferme la neige. Comme l'eau de la fonte peut représenter de 25 à 40 % des apports naturels d'eau aux centrales, cette innovation technologique constitue un outil de choix pour les prévisionnistes en hydrologie d'Hydro-Québec.

Les ouvrages de retenue

Les ouvrages de retenue servent entre autres à créer de gros plans d'eau, appelés réservoirs, qui ont divers usages comme l'irrigation des terres, la production d'électricité, l'alimentation en eau et le contrôle des crues. Les réservoirs sont créés à l'aide des ouvrages de retenue que sont les barrages et les digues. Un barrage est construit sur le lit d'une rivière pour restreindre son débit et créer un plan d'eau de niveau plus élevé. Souvent, des digues sont associées à un barrage ; elles empêchent le plan d'eau de fuir en se déversant dans une vallée secondaire, par exemple.

Les barrages québécois

Il existe au Québec près de 6 000 ouvrages de retenue de dimensions variées. Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec possède le plus grand nombre de barrages au Québec ; Hydro-Québec exploite seulement le dixième de ce parc d'équipements. Plusieurs autres propriétaires de barrages, entre autres des municipalités, des pourvoiries et des entreprises comme les alumineries, sont également engagés tant dans l'exploitation des barrages et des digues que dans la gestion des plans d'eau ainsi formés.

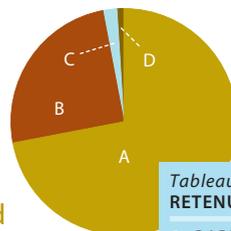


Tableau 3 / LE PARC DES OUVRAGES DE RETENUE D'HYDRO-QUÉBEC EN 2009

A BARRAGES EN REMBLAI (EN TERRE ET EN ENROCEMENT)	73 %
B BARRAGES-POIDS (EN BÉTON)	24 %
C BARRAGES EN BOIS	3 %
D BARRAGES-VOÛTES (EN BÉTON)	< 1 %

L'INSPECTION DES BARRAGES

Hydro-Québec effectue un suivi régulier de l'état de ses installations. Toutefois, l'accès limité à certaines parties submergées des barrages rend leur examen particulièrement difficile. C'est un scaphandrier ou un robot sous-marin muni d'une caméra qui effectue alors l'inspection des parois.



Des scaphandriers d'Hydro-Québec sont parfois appelés à inspecter les barrages.

Les grands barrages

Selon la définition de la Commission internationale des grands barrages, un grand barrage consiste en :

- un ouvrage de plus de 15 mètres de haut par rapport à sa fondation, ou ;
- un ouvrage d'une hauteur de 5 à 15 mètres si le volume de son réservoir est supérieur à 3 millions de mètres cubes.

Il y a dans le monde environ 53 000 grands barrages. Globalement, plus de la moitié d'entre eux servent uniquement à l'irrigation des terres agricoles, tandis que près du quart contribuent à la production d'électricité. Au Canada, 359 des grands barrages sont situés au Québec.



HYDRO-QUÉBEC EXPLOITE PLUS DE 570 DIGUES ET BARRAGES, DONT

359

SONT CLASSÉS
GRANDS BARRAGES



Mis au point à l'Institut de recherche d'Hydro-Québec, le robot sous-marin MASKI a été conçu pour effectuer l'inspection des ouvrages immergés, comme les barrages d'Hydro-Québec. Pouvant plonger jusqu'à 270 m de profondeur dans des eaux parfois troubles et agitées, il facilite le travail des scaphandriers tout en contribuant à leur sécurité.

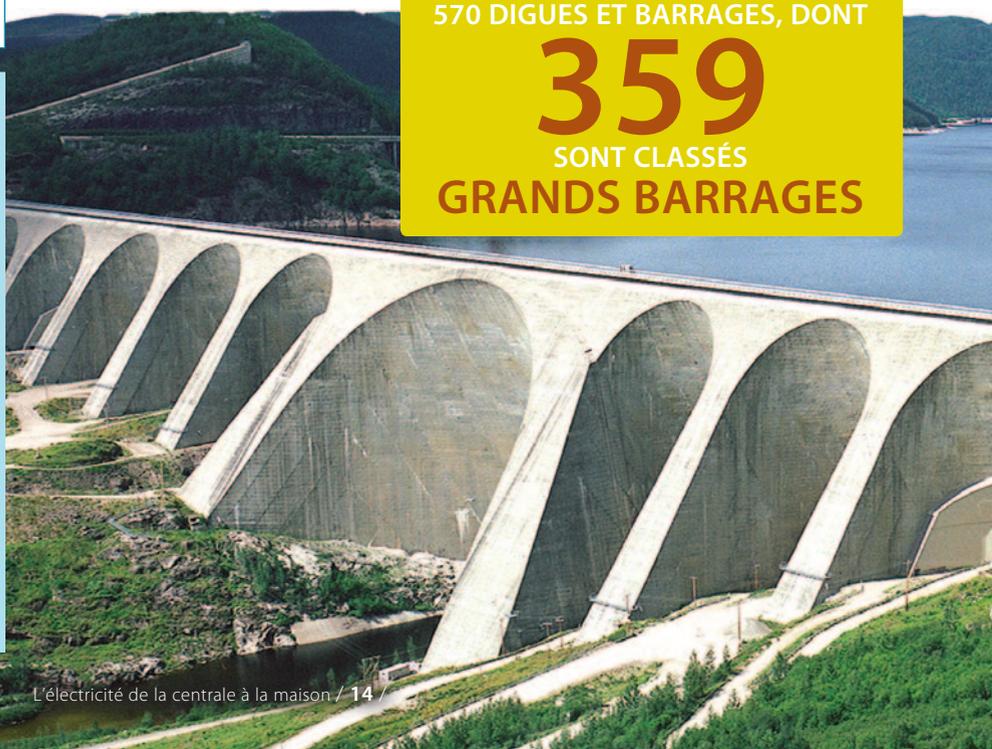


Figure 7 / Les ouvrages de retenue utilisés par Hydro-Québec

1. Digue



La digue QA-8 du réservoir La Grande 4, la plus imposante d'Hydro-Québec, s'étire sur 2 kilomètres et atteint 92 mètres de hauteur.

2. Barrage en bois



3. Barrage en remblai en terre

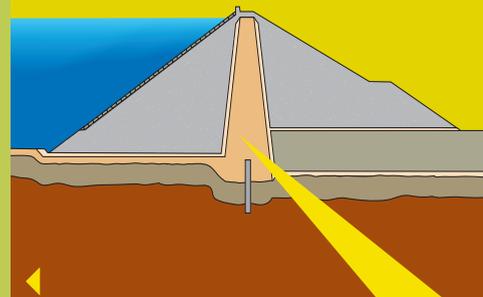


La capacité de retenue du barrage en enrochement du réservoir Robert-Bourassa, soit 61,7 milliards de mètres cubes, se classe au 11^e rang mondial.

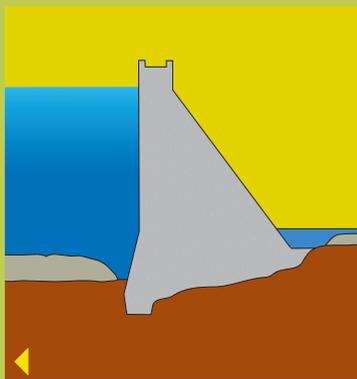
4. Barrage en remblai en enrochement



À 171 mètres de hauteur, le barrage en enrochement de la centrale de la Sainte-Marguerite-3 est le plus haut du genre au Québec.



5. Barrage-poids (en béton)



LA MORAINA AU CENTRE DE L'ACTION

La moraine est le matériau de choix pour assurer l'imperméabilité d'un barrage. Il s'agit d'un sol contenant une fine poussière qui provient des débris laissés par le passage des glaciers. La moraine forme le noyau de la plupart des barrages en enrochement d'Hydro-Québec, dont certains ouvrages de retenue du complexe La Grande.

LE BARRAGE DANIEL-JOHNSON, UN EXPLOIT D'INGÉNIERIE

Inauguré en 1969, ce barrage à voûtes multiples et à contreforts unique au monde porte le nom du premier ministre du Québec de l'époque, Daniel Johnson. Son réservoir fait plus de quatre fois la superficie de l'île de Montréal. Sa construction, échelonnée sur une période de 10 ans, a exigé 2,2 millions de mètres cubes de béton, l'équivalent d'un trottoir normal qui irait du pôle Nord jusqu'au pôle Sud. En 2000, Postes Canada a émis un timbre pour rendre hommage à cette structure, responsable de l'approvisionnement en eau des centrales Manic-5 et Manic-5-PA.



Construction d'un noyau en béton asphaltique pour le barrage de la Nemiscau-1. Bien connue en Europe, cette technique est utilisée pour assurer l'étanchéité d'un ouvrage en l'absence de moraine. Il ne manque pas de moraine dans la région de Nemiscau, mais Hydro-Québec veut s'approprier cette technique pour de futurs projets dans des régions nordiques, comme ceux de la Romaine, où la moraine est plus rare.



Tableau 4 / PROFIL DU BARRAGE DANIEL-JOHNSON, UN OUVRAGE COLOSSAL

SUPERFICIE DU RÉSERVOIR (MANICOUAGAN) :
1 973 KILOMÈTRES CARRÉS
HAUTEUR : 214 MÈTRES
LONGUEUR DE CRÊTE : 1,3 KILOMÈTRE

- FAITS SAILLANTS EN 2003* :
- PLUS HAUT BARRAGE À VOÛTES MULTIPLES ET À CONTREFORTS DU MONDE
 - 2^E BARRAGE EN HAUTEUR DU CANADA
 - 5^E RÉSERVOIR EN VOLUME DU MONDE
 - 30^E BARRAGE EN HAUTEUR DU MONDE, TOUTES CATÉGORIES CONFONDUES

*Selon le *Registre mondial des barrages*, Commission internationale des grands barrages (CIGB).

6. Barrage-voûte (en béton)



La gestion de l'eau

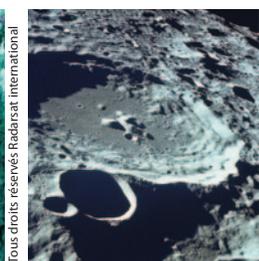
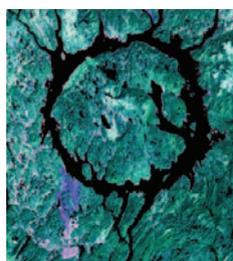
Les ouvrages de retenue assurent, entre autres, le stockage de l'eau. Pourquoi créer des réservoirs ? L'électricité étant un mouvement d'électrons, elle ne peut s'emmagasiner directement. Mais la mise en réserve de l'eau pour un usage ultérieur permet de répondre plus facilement à une demande d'électricité qui varie constamment selon les heures et les saisons. De la même façon, nous rangeons des bûches de bois au sec pour pouvoir les utiliser en temps opportun, lorsque nous avons besoin de la chaleur du feu.



La capacité d'ouvrir et de fermer le robinet

Au Québec, la demande d'électricité est très forte pendant les froides journées hivernales et elle diminue considérablement en été. Il est donc essentiel de pouvoir maîtriser la gestion des ressources hydrauliques, afin que les groupes turbines-alternateurs soient alimentés toute l'année.

D'où l'importance d'analyser l'impact des précipitations et de prévoir les besoins futurs.



Tous droits réservés Radarsat International

LE RÉSERVOIR MANICOUAGAN : À L'ORIGINE, UN MÉTÉORITE

Il y a 214 millions d'années, la chute d'un important astéroïde sur la Terre a créé cette immense forme circulaire que constitue le réservoir Manicouagan. Ce n'est qu'après le remplissage du réservoir qu'on a pu déterminer que sa forme provient de l'impact d'un météorite de six

kilomètres de diamètre. La dépression ressemble aux cratères de la Lune et la roche trouvée sur place est semblable aux échantillons rocheux ramenés par les astronautes.

L'HYDROÉLECTRICITÉ ET LA NATURE

Pour gérer efficacement de grandes quantités d'eau et apprivoiser toute l'énergie d'une rivière en harmonie avec les gens et la nature, il faut des connaissances approfondies tant en gestion des ressources hydrauliques qu'en gestion de l'environnement. Consciente des impacts environnementaux de ses projets, Hydro-Québec met tout en œuvre pour préserver les milieux naturels et elle conçoit des mesures d'atténuation efficaces, comme la passe à saumons illustrée ci-dessus.

Caniapiscou

39,0 milliards de m³

Manicouagan

35,2 milliards de m³

La Grande 3

25,2 milliards de m³

Robert-Bourassa

19,4 milliards de m³

Outardes 4

10,9 milliards de m³

D'immenses réserves d'énergie

Hydro-Québec possède 26 grands réservoirs. Véritables mers intérieures, ils offrent une capacité maximale de stockage de 175 milliards de kWh, soit assez pour combler les besoins de tout le Québec pendant un an.

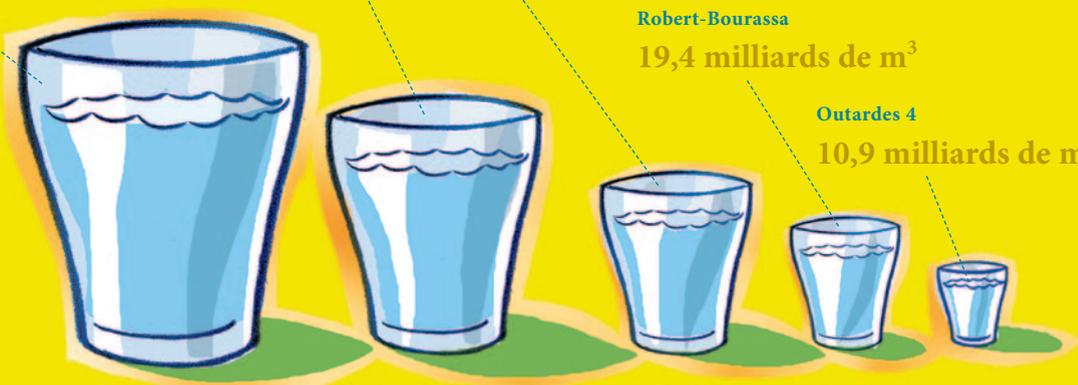


Tableau 5 / LES CINQ PRINCIPAUX RÉSERVOIRS D'HYDRO-QUÉBEC EN 2009

RÉSERVOIR	COMPLEXE HYDROÉLECTRIQUE	VOLUME SERVANT À GÉNÉRER DE L'ÉLECTRICITÉ (EN MILLIARDS DE MÈTRES CUBES - km ³)	SUPERFICIE DU RÉSERVOIR (km ²)
CANIAPISCAU	LA GRANDE	39,0	4 318
MANICOUAGAN	MANIC-OUTARDES	35,2	1 927
LA GRANDE 3	LA GRANDE	25,2	2 536
ROBERT-BOURASSA	LA GRANDE	19,4	2 815
OUTARDES 4	MANIC-OUTARDES	10,9	677

Les évacuateurs de crues

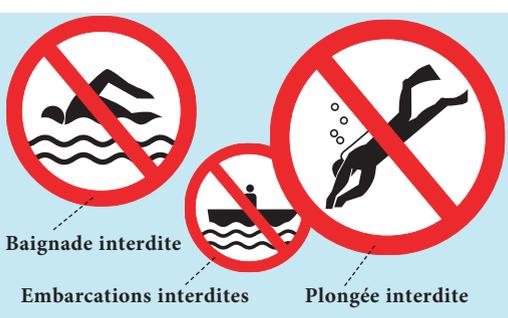
Pour empêcher, entre autres, que le niveau d'eau dépasse le sommet d'un ouvrage de retenue, un aménagement hydroélectrique comporte une soupape de sécurité : un évacuateur de crues ou un déversoir, ou parfois les deux. Ce sont des ouvrages qui laissent s'écouler les surplus d'eau au besoin.



Dans le cas du barrage Robert-Bourassa, l'évacuateur de crues est appelé « l'escalier de géant » parce qu'il est composé de 10 marches de 10 mètres de haut d'une largeur de 122 mètres chacune, ce qui lui donne l'allure d'un énorme escalier. Sa capacité d'évacuation est de 16 280 mètres cubes d'eau à la seconde, soit à peu près le double du débit moyen du Saint-Laurent à la hauteur de Montréal. Cette capacité correspond au débit d'une crue exceptionnelle, dite décennale, comme il peut en survenir une tous les 10 000 ans.



Sur les sites des centrales La Grande-3 et La Grande-4, les évacuateurs de crues ont une forme incurvée comme les tremplins pour sauts à ski. La courbe ascendante permet de projeter l'eau à des dizaines de mètres dans les airs, assez loin pour en réduire la force et éviter d'endommager le barrage.



Il est très important de respecter les consignes de sécurité affichées à proximité de tous les ouvrages de contrôle des eaux – barrages, prises d'eau, centrales, évacuateurs de crues – qu'ils soient exploités par Hydro-Québec ou non. Même si le plan d'eau semble calme, il y a un danger réel sous l'eau. De la turbulence et des forces d'aspiration peuvent entraîner les baigneurs et les plaisanciers vers le fond. De plus, le débit de l'eau peut augmenter brusquement, car, à tout moment, les groupes turbines-alternateurs peuvent être actionnés ou les portes de l'évacuateur, ouvertes, selon les manœuvres nécessaires à l'exploitation de la centrale.

Les centrales hydroélectriques

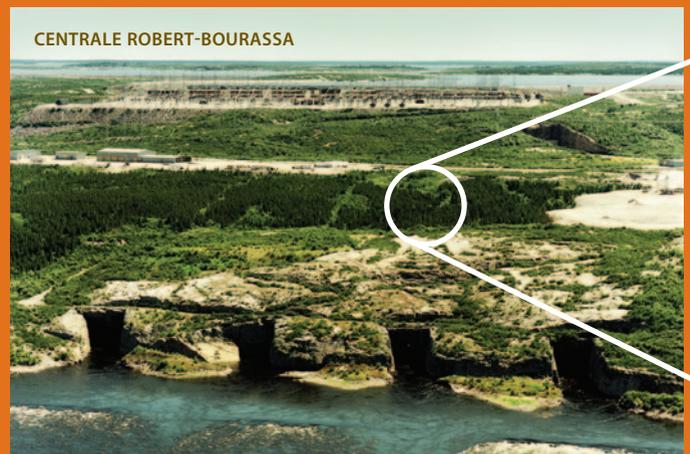
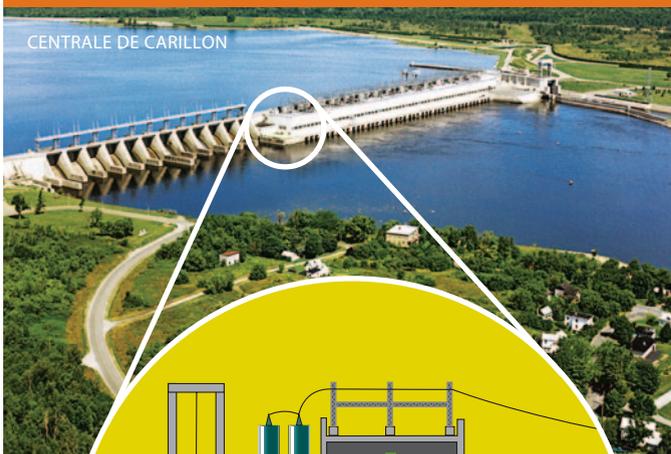
Une centrale hydroélectrique est une usine où l'on produit de l'électricité en utilisant l'eau comme force motrice pour faire tourner des turbines qui entraînent à leur tour des alternateurs. Les centrales hydroélectriques produisent environ le quart de l'électricité consommée dans le monde. Hydro-Québec, avec ses 60 centrales hydroélectriques et son accès à des réserves d'eau abondantes, produit la presque totalité de son électricité – 98 % en 2009 – à partir de l'eau, ce qui contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Centrale au fil de l'eau

Une centrale alimentée directement par un cours d'eau et ne disposant pratiquement d'aucune réserve. Sa hauteur de chute est habituellement peu élevée; sa puissance varie donc suivant le débit du cours d'eau.

Centrale à réservoir

Une centrale alimentée par l'eau accumulée dans un réservoir créé au moyen d'un barrage. Elle est soit à la surface de l'eau, soit sous terre, et présente une hauteur de chute assez importante. Comme une telle centrale peut faire varier l'apport d'eau de son réservoir, elle peut s'ajuster plus facilement aux fluctuations de la demande d'électricité.



CENTRALE DE POMPAGE

Les centrales de pompage disposent de deux réservoirs; en période de faible demande d'électricité, elles inversent le mouvement de la turbine pour retourner l'eau du réservoir d'arrivée au réservoir de départ, afin de returbiner l'eau en période de forte demande d'électricité.

CENTRALE MARÉMOTRICE

Une centrale marémotrice utilise la force des marées pour produire de l'électricité. À marée montante, l'eau de l'océan pénètre dans le bassin de retenue. Quand il est plein, les vannes de son barrage se ferment pour empêcher l'eau de fuir. Ensuite, à marée descendante, d'autres vannes s'ouvrent pour que l'eau retourne à la mer et actionne les turbines au passage.

Tableau 6 / LES 12 PRINCIPALES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES DU QUÉBEC EN 2009 (SELON LEUR PUISSANCE INSTALLÉE EN HIVER EN MW)

1 ROBERT-BOURASSA 5 616	2 LA GRANDE-4 2 779	3 LA GRANDE-3 2 417	4 LA GRANDE-2-A 2 106	5 BEAUHARNOIS 1 903	6 MANIC-5 1 596
7 LA GRANDE-1 1 436	8 RENÉ-LÉVESQUE (MANIC-3) 1 244	9 BERSIMIS-1 1 178	10 JEAN-LESAGE (MANIC-2) 1 145	11 MANIC-5-PA 1 064	12 OUTARDES-3 1 026

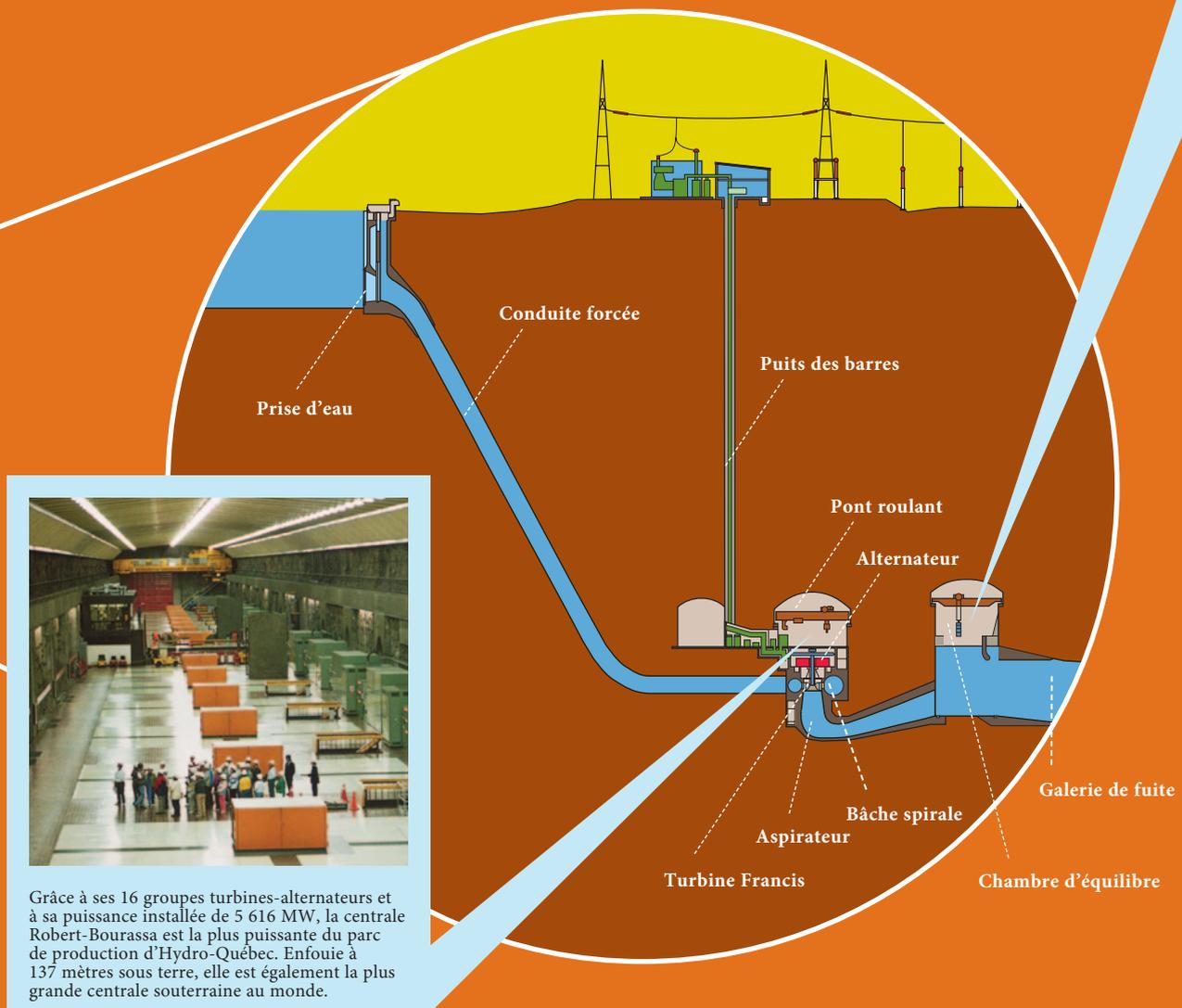
Une hauteur de chute plus élevée que la tour Eiffel!

La centrale de la Sainte-Marguerite-3 est dotée d'une hauteur de chute de 330 mètres. C'est six mètres de plus que la tour Eiffel, y compris son antenne.



LA CHAMBRE D'ÉQUILIBRE DE LA CENTRALE ROBERT-BOURASSA
La principale fonction de cette immense caverne de granit consiste à amortir les fortes surpressions et dépressions qui se produisent au moment de la mise en marche ou de l'arrêt des turbines. L'eau peut y remonter, plutôt que de refouler vers les turbines et les endommager.

Figure 8 / Vue en coupe de la centrale souterraine Robert-Bourassa



Puissance installée :

La capacité totale de production de l'ensemble des groupes turbines-alternateurs d'une centrale à un moment donné; cette valeur exprimée en watts correspond à celle des alternateurs dans des conditions d'exploitation hivernales (température de l'eau à 5 °C).

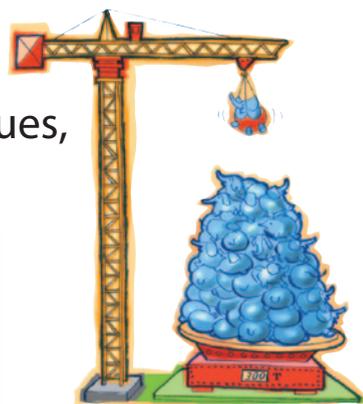
LE COURTAGE EN ÉNERGIE, UNE PROFESSION ÉLECTRISANTE

À Hydro-Québec, les courtiers en énergie achètent et vendent de l'électricité au meilleur prix possible, 24 heures sur 24. En achetant de l'électricité lorsque les prix sont bas, ils permettent aux centrales à réservoir de réduire leur production et d'emmagasiner ainsi leur eau. En réalisant des ventes lorsque le prix de l'électricité est à la hausse, par exemple aux États-Unis en été, ils rentabilisent le parc d'équipements hydroélectriques du Québec pendant une saison où la demande y est faible.



Les groupes turbines-alternateurs

Dans une centrale, le rôle de la turbine est de transformer l'énergie de l'eau, de la vapeur ou du vent en énergie mécanique, de manière à faire tourner un alternateur. L'alternateur, à son tour, transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. Ainsi, dans les installations hydroélectriques, on parle de groupes turbines-alternateurs.



Un groupe... d'éléphants

Les turbines Kaplan de la centrale Brisay pèsent 300 tonnes chacune, soit l'équivalent de 50 éléphants d'Afrique.



Mise en place d'une roue Kaplan.

À la centrale La Grande-3, les rotors sont constitués de 32 paires d'électro-aimants. Ils doivent donc faire 112,5 tours par minute pour fournir un courant alternatif de 60 Hz. Voici le calcul qu'ont fait les ingénieurs : 32 paires d'électro-aimants x 112,5 tours/minute = 3 600 tours/minute ou 60 tours/seconde (60 Hz).



En Amérique du Nord, la fréquence du courant alternatif est de 60 Hz, soit 60 cycles par seconde, tandis qu'en Europe elle correspond à 50 cycles par seconde. C'est donc dire qu'une horloge dont le moteur est conçu pour tourner à 60 Hz prendrait du retard si elle était branchée en Europe, car elle fonctionnerait plus lentement.

LA VITESSE DE ROTATION CONSTANTE DES TURBINES

Il est impératif que tous les groupes turbines-alternateurs d'un réseau soient rigoureusement synchronisés. Pourquoi ? Pour produire une énergie électrique de bonne qualité. En effet, les appareils alimentés à l'électricité sont conçus en fonction d'un courant alternatif d'une fréquence précise. Et cette fréquence dépend de la vitesse de rotation du groupe, c'est-à-dire du nombre de fois par seconde que les aimants de son rotor passent devant les barres de métal conductrices de son stator. Cette fréquence s'exprime en cycles par seconde ou hertz (Hz), du nom du physicien allemand Heinrich Hertz, qui a démontré l'existence des ondes radio.

Tableau 7 / LES DIFFÉRENTES TURBINES

IL EXISTE PLUSIEURS TYPES DE TURBINES UTILISABLES SELON LA HAUTEUR DE CHUTE D'EAU À EXPLOITER.

TYPE DE TURBINE	CHUTE D'EAU TYPIQUE
À HÉLICE	JUSQU'À 15 MÈTRES
KAPLAN	JUSQU'À 30 MÈTRES
FRANCIS	10 À 300 MÈTRES
PELTON	300 MÈTRES ET PLUS

GRUPE BULBE

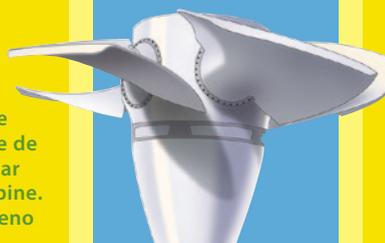
Ce groupe hydroélectrique se distingue par son axe horizontal et par l'enveloppe métallique étanche en forme de bulbe dans laquelle est placé l'alternateur sous l'eau. Il comporte des pales ajustables comme la turbine Kaplan. Il est avantageux pour les faibles hauteurs de chute associées à de grands débits.



Roue Francis

TURBINE FRANCIS

C'est la turbine la plus utilisée dans le parc de production d'Hydro-Québec. L'eau arrive sur le pourtour de la roue, pousse les aubes, puis se dirige vers l'axe de la turbine. Elle s'écoule ensuite par le canal de fuite situé sous la turbine. Elle tient son nom de James Bicheno Francis (1815-1892), ingénieur américain, qui l'inventa en 1849.



Roue Kaplan

TURBINE KAPLAN

Cette turbine inventée par l'ingénieur autrichien Viktor Kaplan (1876-1934) ressemble à la turbine à hélice, mais ses pales sont orientables. Elle convient à certaines centrales au fil de l'eau situées sur des rivières à débit particulièrement variable, car on peut régler la position de ses pales en fonction du débit.

TURBINE À HÉLICE

Lorsque la chute d'eau est faible, la turbine à hélice s'avère très avantageuse, car elle permet d'obtenir de grandes vitesses de rotation. Cette turbine est donc indiquée pour des centrales au fil de l'eau.

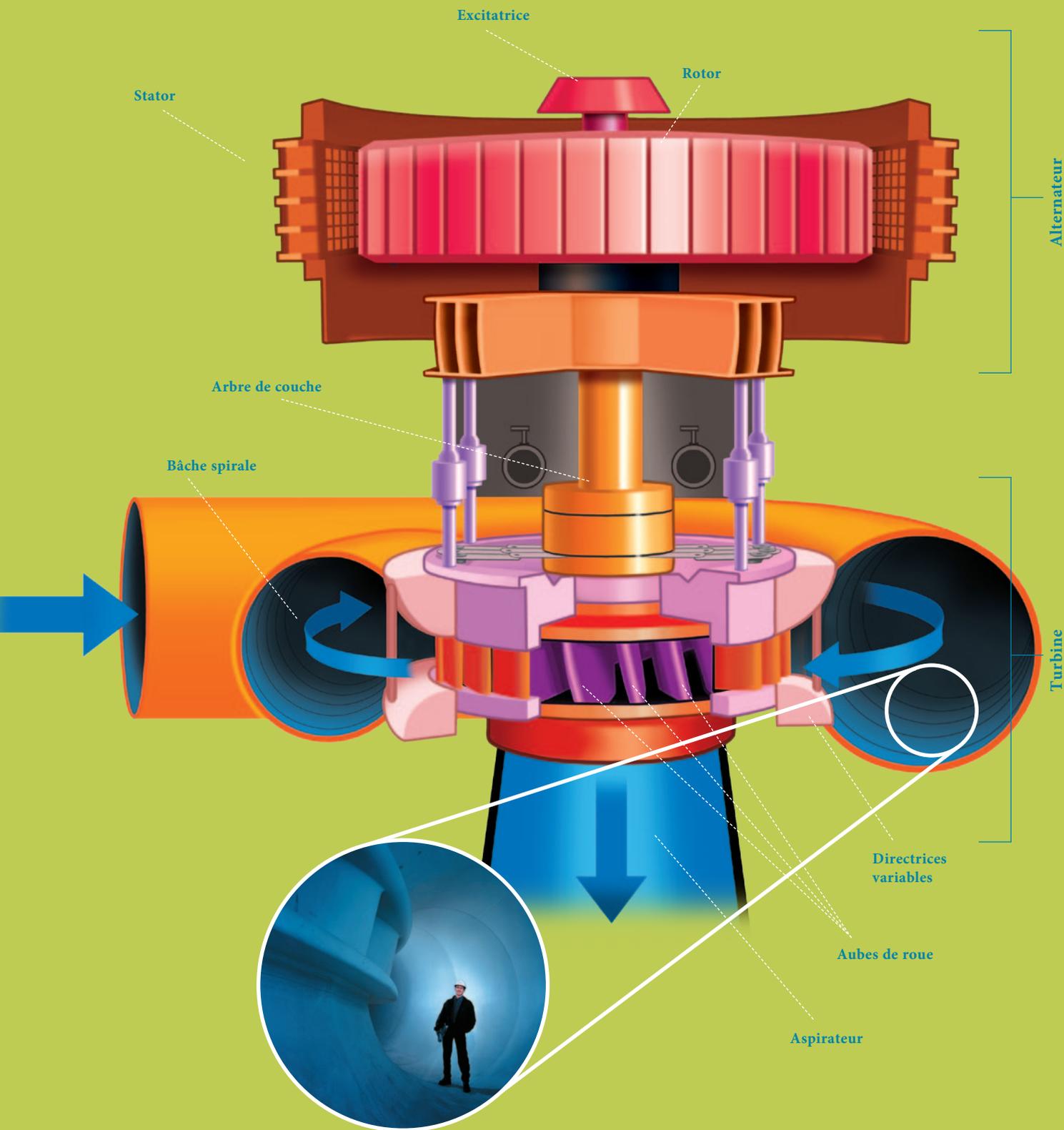
TURBINE À VAPEUR

Elle est utilisée dans les centrales thermiques classiques et nucléaires. En se dilatant, la vapeur pousse les aubes de la turbine et la fait tourner, tout comme le vent fait tourner les ailes d'un moulin.

TURBINE PELTON

Du nom de son inventeur américain, Lester Pelton (1829-1908), cette roue hydraulique récupère l'énergie du mouvement de l'eau grâce à des augets en forme de cuillère.

Figure 9 / Vue en coupe d'un groupe turbine-alternateur



La turbine tourne grâce au mouvement de l'eau

Dans ce groupe turbine-alternateur, l'eau arrive par la conduite forcée vers la bêche spirale (conduit en colimaçon) et fait le tour de la roue dont elle pousse les aubes. Ensuite, elle s'écoule dans l'aspirateur situé sous la turbine. L'énergie mécanique que produit la puissante pression exercée par l'eau sur la turbine est transmise à l'alternateur qui, à son tour, la transforme en énergie électrique.

Entraîné par la turbine, l'alternateur génère un courant alternatif

L'alternateur, relié à la turbine par l'arbre de couche, est formé de deux parties : une partie mobile, appelée rotor, et une partie fixe, appelée stator. La paroi externe du rotor est composée d'électroaimants, tandis que la paroi interne du stator est formée d'un enroulement de barres de cuivre. Lorsque le rotor tourne dans le stator, cela fait « vibrer » les électrons dans les barres de cuivre. Le mouvement des électrons crée ainsi un courant électrique. C'est un peu comme dans l'expérience de Faraday sur l'induction électromagnétique en 1831, mais à très grande échelle.

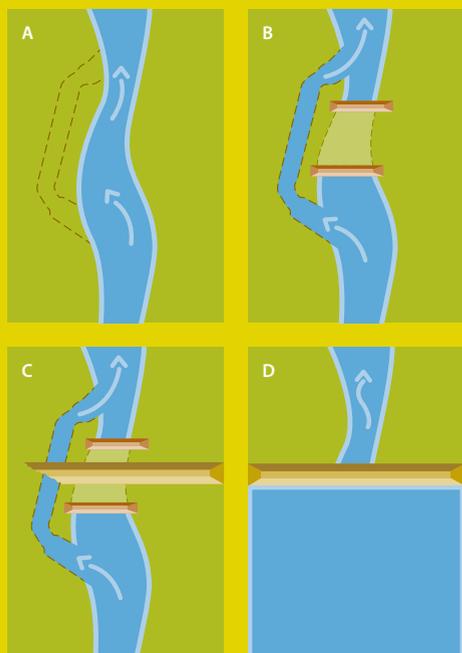
Trois grandes conditions

À Hydro-Québec, la construction d'une centrale hydroélectrique repose sur trois grandes conditions qui ont préséance dans la prise de décision :

- 1 le projet doit être rentable à la lumière des conditions du marché ;
- 2 il doit être acceptable du point de vue environnemental, conformément aux principes du développement durable ;
- 3 il doit être accueilli favorablement par les communautés locales.

Tableau 8 / LES PRINCIPALES ÉTAPES DE CONSTRUCTION

- CHOIX DU SITE.
- RÉALISATION D'UNE ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT APPROFONDIE.
- EXCAVATION DE GALERIES DE DÉRIVATION POUR LE DÉTOURNEMENT TEMPORAIRE DE LA RIVIÈRE. (A)
- CONSTRUCTION DE BATARDEAUX (PETITS BARRAGES TEMPORAIRES) POUR FERMER LA RIVIÈRE EN AMONT ET EN AVAL. (B)
- PRÉPARATION DES FONDATIONS DEVANT ACCUEILLIR LE BARRAGE.
- CONSTRUCTION DE L'ÉVACUATEUR DE CRUES.
- CONSTRUCTION DE LA CENTRALE : PRISES D'EAU, CONDUITES FORCÉES, SALLE DES MACHINES, GROUPES, CHAMBRE D'ÉQUILIBRE S'IL Y A LIEU, GALERIES DE FUITE, POSTE DE DÉPART.
- CONSTRUCTION DU BARRAGE. (C)
- MISE EN PLACE DE DIGUES POUR FERMER LES VALLÉES SECONDAIRES ET REMPLISSAGE DU RÉSERVOIR S'IL Y A LIEU. (D)
- MISE EN ROUTE GRADUELLE DES GROUPES TURBINES-ALTERNATEURS.
- ACTIVITÉS DE SUIVI ENVIRONNEMENTAL.



La construction d'un aménagement hydroélectrique

Le besoin de construire une centrale est intimement lié à la croissance prévue des besoins en électricité. Cet exercice de prévision doit également tenir compte du fait que la construction d'une installation hydroélectrique se réalise sur une dizaine d'années.



La réfection de centrales : un autre moyen de répondre aux besoins futurs en électricité

Normalement, un aménagement hydroélectrique est conçu pour durer de 50 à 60 ans. En effectuant la maintenance régulière de l'équipement, il est possible de prolonger la vie utile d'un barrage ou d'une centrale. Mais après un certain temps, l'entretien ne suffit plus, il faut donner une nouvelle vie aux installations. Il est parfois plus économique de moderniser une centrale que d'en construire une nouvelle, comme c'est le cas avec la centrale de Beauharnois. Par contre, à certaines occasions, il peut être plus avantageux de recommencer à neuf, comme pour la centrale de Grand-Mère.



Hydro-Québec entreprend en 1994 la réhabilitation de la centrale de Beauharnois, située à environ 40 kilomètres au sud-ouest de Montréal, afin de prolonger sa vie utile d'une cinquantaine d'années. De l'ordre de 2 milliards de dollars, ces travaux s'échelonnent sur plus de 15 ans. Le projet se déroule de manière à minimiser l'arrêt des groupes turbines-alternateurs, pour que la centrale puisse produire de l'électricité en maintenant un facteur d'utilisation de près de 90 %.

L'ENVIRONNEMENT, UNE PRIORITÉ

Au tout début d'un projet, Hydro-Québec procède à une étude d'impact pour en évaluer les effets sur l'environnement et déterminer les mesures qu'elle appliquera pour les atténuer. Durant la construction et par la suite, elle fait un suivi environnemental et voit à la mise en valeur du site. Les connaissances qu'elle a acquises depuis plus de 40 ans, entre autres sur les écosystèmes en milieu nordique, lui permettent de cibler avec précision les impacts de tout nouveau projet d'aménagement sur le territoire.

Les réservoirs du complexe La Grande favorisent le déplacement du caribou l'hiver ; ces immenses plans d'eau recouverts de glace évitent au troupeau de parcourir de longues distances dans la neige.



La logistique de chantier ou l'art de la planification en région éloignée

L'expert en logistique relève un immense défi quand il s'attaque à la réalisation d'un grand chantier hydroélectrique. En plus d'assurer l'approvisionnement d'une quantité phénoménale de matériaux, il doit veiller à l'organisation de l'hébergement des travailleurs et des autres services au camp. Il faut également prévoir la construction de routes, parfois même d'un aéroport. L'aménagement du chantier exige d'énormes investissements. À titre d'exemple, la phase I du complexe La Grande, réalisation majeure des années 1970 et 1980, a nécessité un investissement de 13,7 milliards de dollars. Voici quelques chiffres qui donnent une idée de l'ampleur de ce vaste projet de construction.

262 400 000
MÈTRES
CUBES DE
DÉBLAI ET
DE REMBLAI

AMÉNAGEMENT DE TROIS
CENTRALES DONT LA PUISSANCE
INSTALLÉE EN ÉTÉ EST DE
10 282 MÉGAWATTS

18 000 TRAVAILLEURS
SUR LES CHANTIERS À LA POINTE DES TRAVAUX

5,6 MILLIARDS DE DOLLARS
VERSÉS EN SALAIRES AU QUÉBEC

**500 000
TONNES**
DE BÉTON

**4,75 MILLIARDS
DE DOLLARS
D'ACHATS AU
QUÉBEC**

**1 600 000
TONNES**
DE CARBURANT

RÉALISATION DE
215
OUVRAGES
DE RETENUE

**110 000
TONNES**
DE NOURRITURE

**75 000
TONNES**
D'EXPLOSIFS

CONSTRUCTION DE **5** AÉROPORTS, DE **5** VILLAGES ET DE **1 500** KILOMÈTRES DE ROUTES

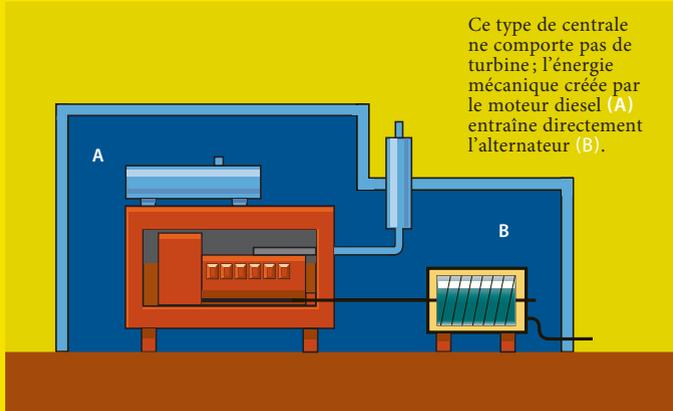




CENTRALE DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE



CENTRALE DE TRACY



Ce type de centrale ne comporte pas de turbine; l'énergie mécanique créée par le moteur diesel (A) entraîne directement l'alternateur (B).

1. Centrale diesel

Les centrales à moteurs diesels sont situées principalement en région éloignée. Elles desservent en majeure partie des communautés isolées dans le Nunavik, sur la Basse-Côte-Nord et en Haute-Mauricie. Les centrales diesels alimentent ainsi des réseaux de distribution autonomes. La centrale ci-dessus, la plus importante centrale diesel d'Hydro-Québec, est située aux Îles-de-la-Madeleine.



La centrale dite classique porte l'eau de la chaudière (A) à ébullition. En se détendant, la vapeur (B) fait tourner une turbine (C), laquelle entraîne l'alternateur (D) générateur de courant électrique. Des condenseurs (E) retournent la vapeur de sortie à l'état liquide; l'eau est ensuite pompée vers la chaudière et le cycle recommence.

2. Centrale thermique classique

La centrale thermique classique utilise le charbon ou le mazout lourd comme combustible. Celle d'Hydro-Québec, située à Tracy, à quelques kilomètres de Sorel, est alimentée au mazout lourd. Son rôle est stratégique, car elle fournit de l'énergie quand le niveau d'eau des réservoirs est bas ou lors des pointes d'hiver.

Les centrales thermiques

Alimentées par des combustibles fossiles, les centrales thermiques sont plus coûteuses à exploiter et plus polluantes que les installations hydroélectriques. Malgré leur faible contribution à la production totale d'électricité d'Hydro-Québec – environ 2 % en 2009 – elles jouent un rôle très important dans la fourniture de l'énergie de base et de l'énergie de pointe. De plus, elles peuvent desservir des régions isolées comme les Îles-de-la-Madeleine.



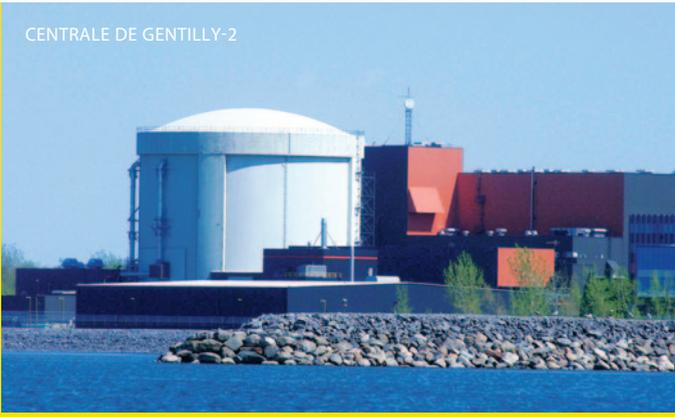
Tableau 9 / LES CENTRALES THERMIQUES AU QUÉBEC

TYPE DE CENTRALE	NOMBRE
À TURBINES À GAZ	3
NUCLÉAIRE	1
THERMIQUE CLASSIQUE	1
DIESEL	23

Le rôle du thermique à Hydro-Québec

Certaines centrales thermiques fonctionnent en permanence pour satisfaire à la demande de base (énergie de base). C'est le cas des centrales diesels et de la centrale nucléaire de Gentilly-2. D'autres centrales, soit celles à turbines à gaz et la centrale thermique classique de Tracy, ne fonctionnent qu'occasionnellement, lorsque la demande est très forte et que la production d'hydroélectricité est insuffisante.

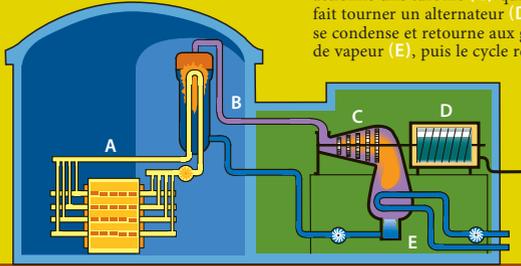
CENTRALE DE GENTILLY-2



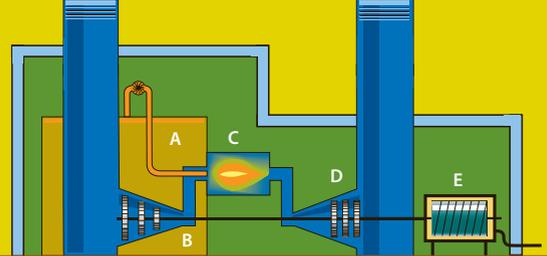
CENTRALE DE BÉCANCOUR



La fission d'atomes d'uranium 235 (A) provoque une chaleur qui transforme l'eau en vapeur. Cette vapeur sous pression (B) actionne une turbine (C) qui, à son tour, fait tourner un alternateur (D). La vapeur se condense et retourne aux générateurs de vapeur (E), puis le cycle recommence.



En faisant brûler du carburant diesel (A) combiné à l'air comprimé provenant du compresseur (B), on obtient un mélange gazeux à haute température (C) qui se détend, d'où l'appellation turbine à gaz. C'est la poussée de cette expansion de gaz qui fait tourner la turbine constituée d'ailettes (D) qui entraîne l'alternateur (E).



3. Centrale nucléaire

Les centrales nucléaires font appel à la fission d'atomes pour produire de la vapeur, laquelle alimente une turbine. Ces centrales ont l'avantage d'émettre très peu de gaz à effet de serre. Hydro-Québec en exploite une seule, Gentilly-2, depuis 1983. Située près de Trois-Rivières, sa puissance installée de 675 mégawatts peut combler les besoins d'électricité de 100 000 clients résidentiels. Très efficace au plan du rendement énergétique, cette centrale utilisée en permanence joue un rôle important dans le parc de production d'Hydro-Québec.

4. Centrale à turbines à gaz

Les centrales à turbines à gaz utilisent habituellement comme combustible le mazout léger ou le gaz naturel. Elles portent ce nom parce que c'est le gaz de la combustion qui actionne la turbine. Elles servent uniquement à la production d'énergie de pointe en raison de leurs coûts d'exploitation élevés liés à la forte consommation d'un combustible qui est relativement cher. Ces centrales ont l'avantage de pouvoir être mises en marche et arrêtées en quelques minutes seulement, comparativement aux délais plus long requis par les autres types de centrales thermiques.

DESSERVIR LES RÉGIONS ÉLOIGNÉES

Au Québec, plusieurs centrales thermiques desservent les communautés situées dans des régions éloignées, où le réseau électrique d'Hydro-Québec ne se rend pas. Ces centrales sont souvent de petite puissance et prennent moins de temps à construire que des centrales hydroélectriques. De plus, elles peuvent être aménagées à proximité des lieux de consommation.

LES CENTRALES AU GAZ NATUREL À CYCLE COMBINÉ : UNE EFFICACITÉ RECONNUE

Ces centrales combinent un cycle gaz et un cycle vapeur, d'où leur nom ; chaque cycle produit de l'électricité. Le combustible, du gaz naturel, est utilisé uniquement pour actionner la turbine à gaz et entraîner l'alternateur. Le gaz d'échappement de cette turbine permet de générer de la vapeur sans brûler de combustible ; cette vapeur fait tourner l'autre turbine, à vapeur, pour faire encore plus d'électricité. Toutes proportions gardées, le rendement d'une centrale au gaz à cycle combiné est supérieur au rendement d'une centrale à turbines à gaz. C'est aussi la moins polluante des centrales thermiques après la centrale nucléaire ; ses émissions de gaz à effet de serre sont 2,5 fois moins importantes que celles d'une centrale thermique classique au charbon.

Les énergies renouvelables

Les sources d'énergie qui se renouvellent ou se régénèrent naturellement – comme l'eau, le vent ou la lumière du soleil – sont dites renouvelables. Leur disponibilité est très abondante par rapport aux besoins des humains. Au Québec, la principale source d'énergie électrique est l'eau, mais d'autres types d'énergies renouvelables sont utilisés ou en développement.



L'énergie cinétique du vent, celle qui provient de son mouvement, sert aussi à propulser les embarcations à voiles, à actionner les moulins à vent, à faire voler les planeurs et les cerfs-volants, etc.

L'énergie éolienne

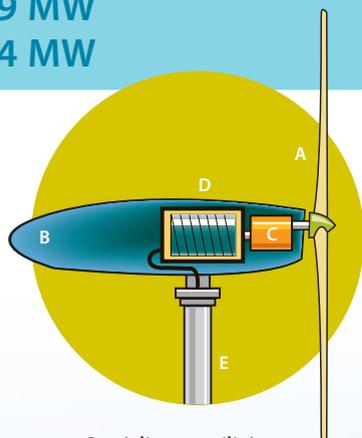
Les éoliennes exploitent l'énergie cinétique du vent pour produire de l'électricité. Le vent constitue une source d'énergie renouvelable qui doit être utilisée en combinaison avec d'autres moyens de production. En effet, à cause de leur fonctionnement intermittent, les éoliennes sont incapables de répondre à la demande tout le temps. À la fin de 2009, Hydro-Québec achetait toute la production de neuf parcs éoliens appartenant à des producteurs privés, d'une puissance installée totale de 654 MW.

PUISSANCE INSTALLÉE D'ÉNERGIE ÉOLIENNE À LA FIN DE 2009

AU CANADA 3 319 MW
AU QUÉBEC 654 MW



Comme la vitesse du vent augmente avec la hauteur, les éoliennes sont installées sur des tours, souvent aussi hautes qu'un immeuble de 26 étages.



Les éoliennes utilisées au Québec possèdent trois pales (A) en fibre de verre reliées à une nacelle (B) qui abrite la turbine (C) et l'alternateur (D). La nacelle est montée sur une tour tubulaire (E) en acier.

L'énergie solaire

Le soleil constitue une source d'énergie naturelle et renouvelable. Hydro-Québec s'y intéresse en vue de l'utiliser comme source de chaleur ou comme filière de production d'électricité. L'énergie solaire trouve d'ailleurs de plus en plus d'applications au Québec. Son usage augmente sans cesse pour le chauffage de l'eau et pour l'alimentation de bornes routières, par exemple. Pour produire de l'électricité à partir de la lumière solaire, il faut des panneaux photovoltaïques qui la captent et la transforment en électricité.

Passive ou active ?

L'énergie solaire est dite passive lorsqu'aucune transformation du rayonnement solaire n'est nécessaire. Par exemple, lorsque les fenêtres d'une résidence sont orientées de manière à tirer parti des périodes d'ensoleillement en hiver. L'énergie solaire est dite active lorsque des équipements tels des capteurs photovoltaïques sont utilisés pour recevoir et concentrer l'énergie solaire. Ces systèmes peuvent servir de source d'appoint qui complète l'énergie fournie par les équipements traditionnels.

Source : <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/innovation/innovation-solaire.jsp>

L'énergie de la biomasse

On entend par biomasse des matériaux combustibles qui résultent de la décomposition de la matière organique. Cette matière organique peut provenir des déchets forestiers, urbains et agricoles. La biomasse peut être brûlée directement ou être transformée en biogaz pour la production de chaleur. La biomasse est donc utilisée dans plusieurs domaines pour répondre à divers besoins énergétiques, dont la production d'électricité et de chaleur. Depuis plusieurs années, Hydro-Québec achète de l'électricité de producteurs privés utilisant la biomasse.



Tableau 10 / LES DIFFÉRENTES INSTALLATIONS ÉNERGÉTIQUES À BIOMASSE

CENTRALES À BIOGAZ

- GAZ PRODUITS NATURELLEMENT, NOTAMMENT DANS DES SITES D'ENFOUISSEMENT DE DÉCHETS, OU ARTIFICIELLEMENT, DANS UN MÉTHANISEUR

CENTRALES THERMIQUES À BIOMASSE

- MATIÈRES VÉGÉTALES
- DÉCHETS ORGANIQUES D'ORIGINE AGRICOLE
- RÉSIDUS ORGANIQUES DES USINES D'ÉPURATION DES EAUX
- RÉSIDUS DE BOIS

La découverte du feu représente la plus ancienne utilisation connue de la biomasse.

La géothermie

La géothermie étudie les phénomènes thermiques de notre planète ainsi que les techniques qui visent à utiliser la chaleur qui y est emmagasinée.

LA PUISSANCE INSTALLÉE MONDIALE DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ À PARTIR DE LA GÉOTHERMIE EN 2007 EST DE **10 039 MW**

Source : Survey of Energy Resources Interim Update 2009, Conseil mondial de l'Énergie, p. 59.

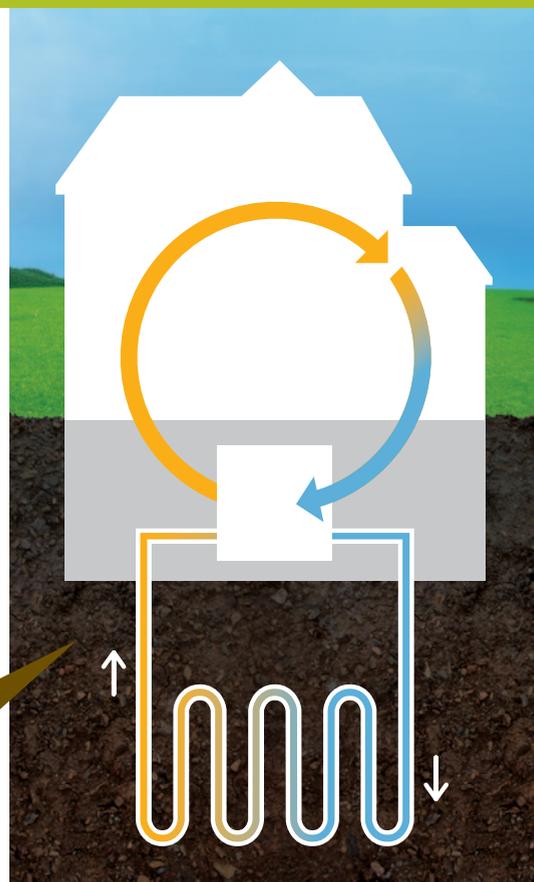
GÉO
VIENT DU GREC ET SIGNIFIE
« **TERRE** »

Profonde ou peu profonde ?

La géothermie profonde permet d'extraire de la chaleur à des températures élevées à des profondeurs de plusieurs milliers de mètres sous la surface de la Terre. Actuellement, 24 pays utilisent l'énergie géothermique profonde pour produire de l'électricité pour un total de 350 centrales géothermiques. La production annuelle mondiale d'énergie électrique d'origine géothermique atteint plus de 55 TWh, ce qui équivaut à la consommation de 25 millions de barils de pétrole!

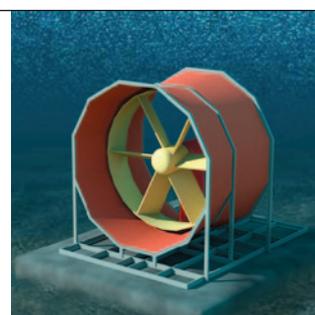
La géothermie peu profonde, quant à elle, désigne l'ensemble des technologies permettant l'utilisation de la chaleur emmagasinée dans la croûte terrestre à des profondeurs pouvant aller jusqu'à 150 mètres. La chaleur extraite du sol est transférée par des thermopompes à l'air des bâtiments pour les chauffer l'hiver. En été, les mêmes thermopompes peuvent servir de climatiseurs en rejetant dans le sol la chaleur récupérée à l'intérieur des bâtiments. Au Québec, c'est la géothermie peu profonde qui est utilisée.

Pour chauffer des immeubles, les thermopompes extraient la chaleur du sol, à une température d'entre 0 °C et 10 °C, et, grâce à un échangeur de chaleur, la transfèrent à l'air à une température d'entre 35 °C et 45 °C.



Les hydroliennes à l'étude

À l'instar des éoliennes qui captent l'énergie du vent, les hydroliennes sont des turbines hydrauliques immergées au fil de l'eau qui utilisent l'énergie cinétique des courants pour tourner. Ainsi, il est possible de convertir en électricité une partie du débit d'une rivière. Étant donné l'absence de barrage pour régulariser la production d'électricité, le site où une hydrolienne pourrait être installée doit répondre à des critères précis comme une profondeur de plusieurs mètres et un courant relativement fort tout au long de l'année. Hydro-Québec compte évaluer le fonctionnement d'hydroliennes de rivière ainsi que leur intégration à son réseau.



question://

PAR OÙ PASSE L'ÉLECTRICITÉ QUI SE REND À LA MAISON ?

réponse://

Est-ce que la production de la centrale Robert-Bourassa permet de faire cuire votre pizza et celle de la centrale aux Outardes-4 de faire jouer vos disques compacts ? Pas tout à fait. Une fois que l'énergie électrique quitte une centrale pour emprunter le réseau de transport, elle se mélange à l'énergie électrique produite ailleurs. À peu près sans exception, le Québec entier utilise de l'électricité provenant de toutes les centrales. Chose certaine, l'électricité qu'on utilise passe par des câbles suspendus à des supports, les pylônes, qui vont du poste de départ des centrales jusqu'à des carrefours, appelés postes sources, pour ensuite atteindre les postes satellites avant de prendre le chemin des poteaux pour finalement arriver à la maison. Le plus fascinant dans tout ça, c'est qu'on consomme l'électricité aussitôt qu'elle est produite. Son transport s'effectue donc à une vitesse folle... qui est très proche de celle de la lumière, soit 300 000 kilomètres par seconde !

Figure 10 / LES LIGNES ÉLECTRIQUES D'HYDRO-QUÉBEC EN 2009

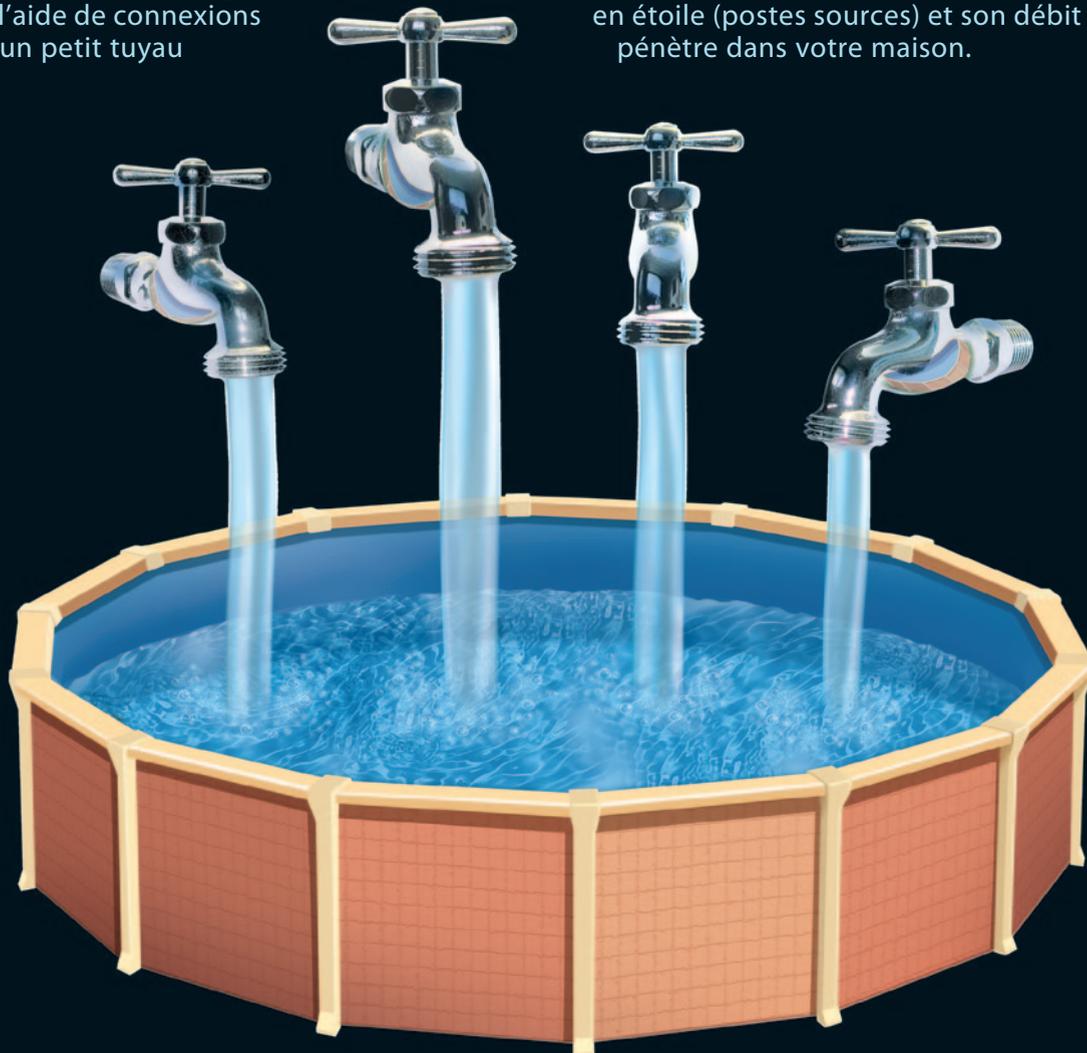
Au Québec, l'électricité emprunte des lignes électriques de la centrale à la maison qui, mises bout à bout, feraient plus de trois fois et demie le tour de la Terre.

144 449 KILOMÈTRES
DE LIGNES DE TRANSPORT ET DE DISTRIBUTION



Figure 11 / Le réseau de transport, un bassin d'énergie électrique

Le réseau de transport d'Hydro-Québec est comme une piscine qui se remplit au moyen de plusieurs robinets – les centrales de production. Si on prenait un verre d'eau de cette piscine, on pourrait difficilement dire de quel robinet elle provient. Si on poursuit l'analogie de la piscine pour expliquer comment l'électricité se rend à la maison, imaginons des tuyaux qui ont pour fonction de vider la piscine ; à la sortie de la piscine, ces tuyaux sont gros. À mesure qu'un tuyau se rapproche des maisons, en étoile (postes sources) et son débit diminue. Finalement, un petit tuyau pénètre dans votre maison.



POURQUOI Y A-T-IL AUTANT DE FILS SUR LES PYLÔNES ?

C'est que, pour stabiliser le transport et éviter les pertes d'énergie, le courant alternatif transmis sur les lignes à haute tension est triphasé, c'est-à-dire divisé en trois parties, ou phases. Chaque phase comprend entre un et quatre fils conducteurs, selon le niveau de tension. Lorsqu'il y a plus d'un fil conducteur dans une phase, on parle alors d'un faisceau de conducteurs. De plus, pour protéger le pylône de la foudre, on le surmonte d'un fil de garde.

POURQUOI LES CÂBLES ÉLECTRIQUES NE SONT-ILS PAS DROITS ?

Entre deux immenses pylônes, on voit bien que les fils qui transportent le courant s'inclinent vers le sol. Les fils sont courbés pour réduire la force nécessaire à les maintenir en place. Autrement, les pylônes devraient être encore plus robustes...



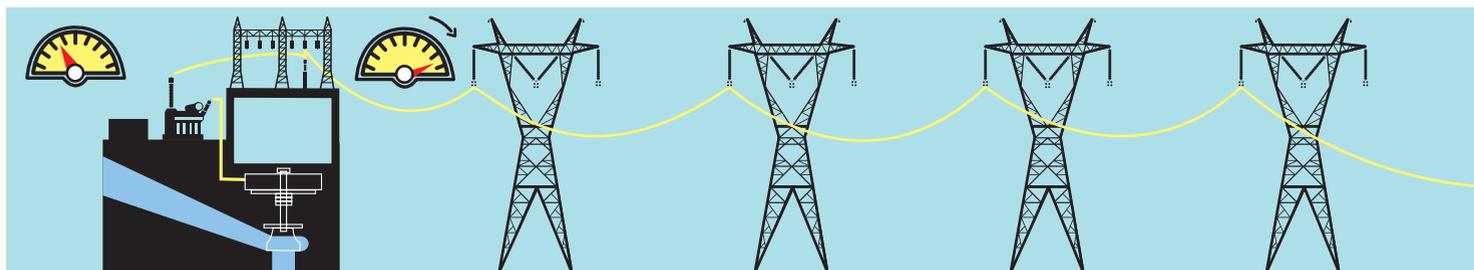
donc plus coûteux. C'est facile de soulever un dictionnaire en le prenant dans ses mains, car toute la force qu'on exerce est concentrée à la verticale. Si on tente de le soulever à deux avec une corde, c'est une autre histoire. À mesure que l'objet monte, la force horizontale augmente... si on tire trop fort, on risque d'attirer son partenaire vers soi.

COMMENT EXPLIQUER LE CRÉPITEMENT DES CÂBLES DE TRANSPORT ?

Il s'agit d'un phénomène appelé effet couronne causé par les électrons qui se déplacent entre le câble et l'air ambiant. Ce mouvement d'électrons provoque à quelques centimètres du câble une multitude de petites décharges électriques, qu'on perçoit comme un crépitement. Plus la tension de la ligne est élevée, plus ce phénomène est fréquent, et il est amplifié par l'air humide et les impuretés qui se déposent sur les câbles. Aussi, le crépitement est plus fort lorsqu'il neige ou qu'il pleut.

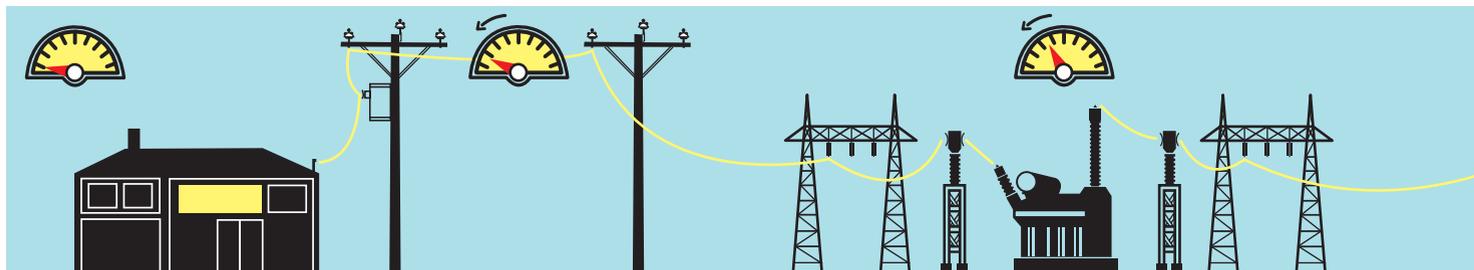


Hydro-Québec mesure l'impact acoustique associé à l'exploitation des lignes et des autres équipements de transport.



CENTRALE 13 800 VOLTS

POSTE DE DÉPART 735 000 VOLTS



MAISON 120/240 VOLTS

POTEAU EN BOIS 25 000 VOLTS

POSTE SATELLITE 25 000/49 000 VOLTS

Le transport de l'électricité

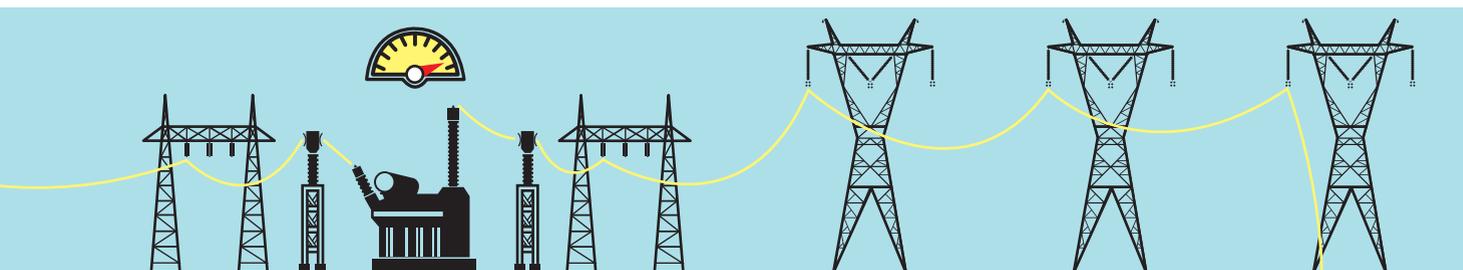
Nous avons réussi à faire bouger des électrons grâce à la force motrice de l'eau, et à produire un courant électrique alternatif. Mais cette électricité doit souvent parcourir un long trajet pour se rendre jusque chez vous. En réalité, ce mouvement d'énergie fait plusieurs détours avant d'arriver à destination. Le transport de l'électricité présente une succession de transformations, de contrôles et de répartitions de l'énergie électrique; ces trois grandes fonctions ont lieu tout au long du chemin de la centrale à la maison.

Pourquoi « transformer » l'électricité ?

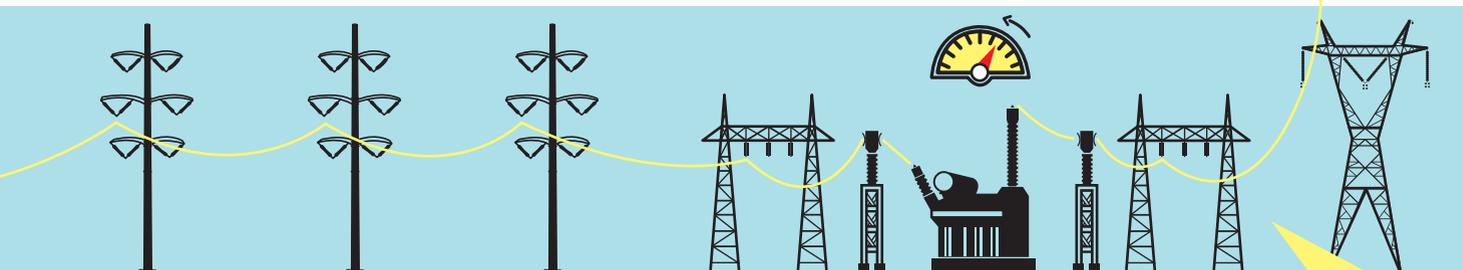
Le transformateur est l'équipement qui permet d'augmenter ou d'abaisser la tension d'un courant alternatif. En effet, l'énergie électrique voyage mieux à des tensions plus élevées : le transport de quantités massives d'électricité s'en trouve facilité, il y a moins de pertes électriques et le coût total du transport est moindre (on peut éviter la construction de lignes additionnelles, par exemple). Au fur et à mesure qu'on s'approche des centres de consommation, la tension est abaissée progressivement, de manière à fournir à l'utilisateur une électricité à basse tension de 120/240 volts.



L'Institut de recherche d'Hydro-Québec, à Varennes, abrite le plus gros transformateur du réseau : il pèse 507 tonnes métriques et contient 212 000 litres d'huile minérale, une matière isolante.



POSTE STRATÉGIQUE 735 000 VOLTS



POSTE SOURCE 120 000 VOLTS

Tableau 11 / LE RÉSEAU DE TRANSPORT D'HYDRO-QUÉBEC EN 2009

TENSION (KILOVOLTS)	POSTES	LIGNES (KILOMÈTRES)
735 ET 765	38	11 422
450 (courant continu)	2	1 218
315	63	5 127
230	52	3 120
161	41	2 013
120	216	6 738
69 ET MOINS	103	3 606
TOTAL	515	33 244

Figure 12 / Le transport de l'électricité : un parcours typique

Une centrale peut produire des tensions pouvant atteindre 13 800 volts, comme c'est le cas à la centrale Robert-Bourassa. Le transport de l'électricité se fait toutefois à des tensions beaucoup plus élevées. Le transformateur élévateur de tension situé dans le poste de départ de la centrale fait passer la tension à des paliers variant entre 44 000 et 765 000 volts. Cette tension devra ensuite être abaissée à plusieurs reprises. À la maison, la tension nécessaire pour alimenter le téléviseur, la radio et d'autres appareils électriques courants est de seulement 120 volts et, de 240 volts pour faire fonctionner des appareils qui demandent un courant de forte intensité, tels que la sècheuse ou la cuisinière.

L'ÉMERGENCE DU COURANT ALTERNATIF COMME TECHNOLOGIE DOMINANTE

En matière de transport d'électricité, le courant alternatif l'emporte sur le courant continu. Mais il n'en a pas toujours été ainsi. Il y a un peu plus de 100 ans, une grande rivalité existait entre les promoteurs du courant alternatif, dont George Westinghouse, et ceux du courant continu, comme Thomas Alva Edison. On était à l'aube de l'ère de l'électricité et les industriels américains cherchaient un moyen efficace d'acheminer cette nouvelle énergie de la centrale à l'usine. En 1887, Nikola Tesla a opté pour le courant alternatif; il a mis au point le premier système pratique pour la production et le transport du courant alternatif.

Nikola Tesla (1856-1943) – Né en Croatie, il s'établit à New York en 1884 avec quelques sous dans ses poches. Quelque trois ans plus tard, il est déjà considéré comme l'une des plus importantes figures de l'histoire de l'électricité. Une des unités de mesure du champ magnétique porte son nom (le tesla).



Le transport du courant continu : des applications spécifiques

La technologie qui permet de transporter le courant continu n'est pas utilisée couramment. Toutefois, elle peut être avantageuse pour atteindre des objectifs particuliers, par exemple isoler des réseaux à courant alternatif ou contrôler la quantité d'électricité transportée. Hydro-Québec dispose d'une ligne à courant continu qui relie la Baie-James à Sandy Pond, près de Boston, ainsi que de nombreuses interconnexions à courant continu avec les réseaux voisins.



Convertisseur pour transformer le courant alternatif en courant continu, au poste de Radisson.



Salle de convertisseurs du poste de l'Outaouais.

Figure 13 / Le pylône à haute tension en treillis d'acier

Tableau 12 / RECORDS DES PYLÔNES D'HYDRO-QUÉBEC

LA PLUS LONGUE PORTÉE	2 026 MÈTRES
LE PLUS LOURD PYLÔNE	640 TONNES MÉTRIQUES
LE PLUS HAUT PYLÔNE	175 MÈTRES



1. Pylône nappe

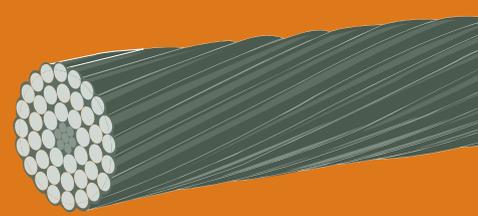
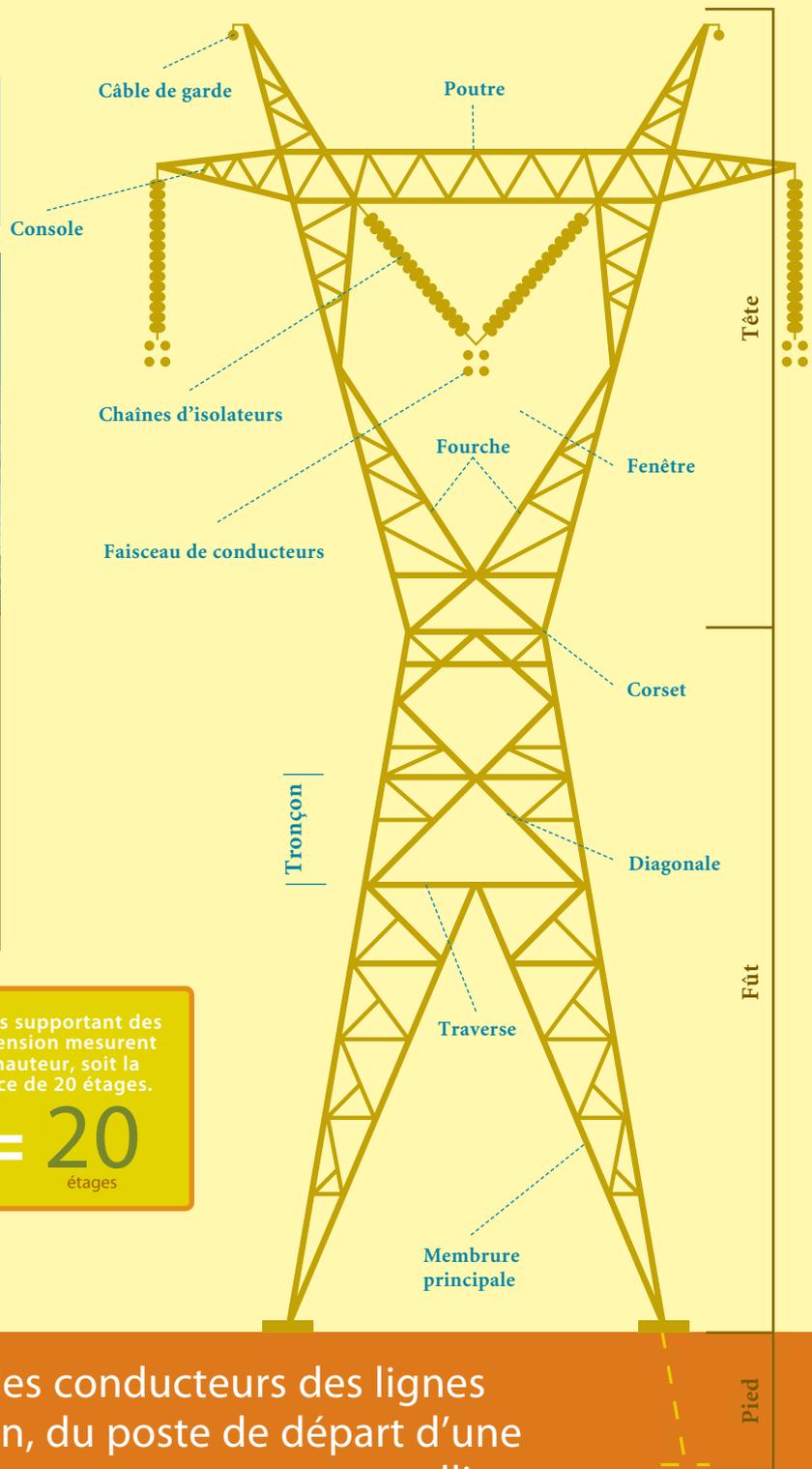
C'est le pylône le plus utilisé pour les lignes de transport. Il sert aux paliers de tension allant de 110 000 à 735 000 volts. Les conducteurs y sont disposés sur un même plan horizontal. Ce pylône rigide, tétrapode (quatre pieds), convient aux lignes qui traversent des terrains très accidentés, car il s'assemble facilement.

Plusieurs pylônes supportant des lignes à haute tension mesurent 60 mètres de hauteur, soit la taille d'un édifice de 20 étages.

$$60 \text{ mètres} = 20 \text{ étages}$$

Les pylônes

Les pylônes supportent les conducteurs des lignes aériennes à haute tension, du poste de départ d'une centrale jusqu'aux postes sources et postes satellites, plus près des endroits habités. Leur forme, leur hauteur et leur robustesse, ou résistance mécanique, dépendent des contraintes auxquelles ils sont soumis. L'électricité ne passe pas dans les pylônes, à moins que la foudre ne frappe le câble de garde, juché au sommet du support; ce câble vise à protéger les conducteurs en donnant à la décharge de la foudre un chemin vers le sol par l'entremise du pylône.





2. Pylône classique

Ce pylône rigide à quatre pieds est utilisé pour des paliers de tension allant de 110 000 à 315 000 volts. Sa hauteur varie entre 25 et 60 mètres. Les faisceaux de conducteurs y sont situés l'un sous l'autre.



TRAVERSÉES DE COURS D'EAU

Les plus imposants pylônes aériens de grands cours d'eau, comme la rivière Saguenay ou le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de l'île d'Orléans. Cependant, il existe un autre moyen de traverser un cours d'eau : le tunnel sous-fluvial. Hydro-Québec possède un tel tunnel : il quitte la rive nord du Saint-Laurent près de Grondines et ressort du côté sud, à proximité du poste de Lotbinière. Il s'agit d'une réalisation inédite. En effet, en 1990, Hydro-Québec a été la première entreprise du monde à procéder à la traversée sous-fluviale de câbles électriques à 450 000 volts à courant continu.

3. Pylône en V

Ce pylône haubané est utilisé pour les paliers de tension allant de 230 000 à 735 000 volts, principalement pour les lignes en provenance des complexes La Grande et Manic-Outardes. Il a l'avantage d'être plus économique que les pylônes classiques et les pylônes nappes. Il est retenu au sol par des haubans fixés à des ancrages. Les haubans sont des tiges ou câbles métalliques qui assurent la stabilité du pylône.



4. Pylône tubulaire

Ce pylône à un pied porte également le nom poétique de pylône muguet. Il est moins massif que les autres et s'intègre plus facilement au milieu. On l'utilise de plus en plus dans les centres urbains. Il mesure entre 27 et 45 mètres et sert aux paliers de tension allant de 110 000 à 315 000 volts.



5. Pylône à chaînette

Facile à monter et de fabrication simple, ce pylône haubané est utilisé sur certaines sections des lignes en provenance du complexe La Grande. Il supporte des conducteurs à 735 000 volts. Ce type de pylône nécessite moins d'acier galvanisé que le pylône en V ; il est donc comparativement moins lourd et moins cher.



L'entretoise-amortisseur sépare les conducteurs d'un faisceau tout en contrôlant les vibrations causées par le vent et l'accumulation de glace. Celle conçue par Hydro-Québec est particulièrement robuste.

LIGNES, CÂBLES ET FAISCEAUX DE CONDUCTEURS

On appelle généralement *ligne* le tracé qu'empruntent les câbles et les pylônes. Les pylônes soutiennent différents types de *câbles* : les conducteurs, qui transmettent l'énergie électrique ; le câble de garde qui protège la ligne contre la foudre, et les haubans qui sont les câbles d'ancrage assurant la résistance mécanique du support. Un *faisceau de conducteurs* est un groupe de deux, trois ou quatre conducteurs ; leur écartement constant est assuré par une entretoise. Les faisceaux permettent de réduire les pertes par effet couronne, le bruit audible et les interférences radio sur les lignes à haute tension. Ils optimisent ainsi le transport de l'électricité : par exemple, quatre petits conducteurs de 3 cm de diamètre sont aussi efficaces qu'un seul conducteur de 46 cm de diamètre, qui serait en outre beaucoup plus lourd. Les pylônes à haute tension comportent trois faisceaux de conducteurs, un par phase de courant.

La plupart des conducteurs à haute tension d'Hydro-Québec sont en aluminium avec un centre en acier, lequel assure la résistance mécanique du câble. Par ailleurs, ils sont nus : c'est l'air qui leur sert d'isolant. Chaque conducteur est toronné, c'est-à-dire formé de plusieurs brins enroulés ensemble. Cela lui confère une plus grande souplesse et une plus grande surface exposée à l'air, caractéristique qui refroidit le conducteur et qui augmente par conséquent sa conductivité. En effet, le métal chaud, plus résistant au passage de l'électricité, transforme une partie plus ou moins grande de l'énergie électrique en énergie thermique, une forme de perte électrique.

DANGER : HAUTE TENSION !



Interdit d'escalader les pylônes

Ne pas franchir la clôture des postes de transport



Les grandes distances

Pour atteindre les zones de grande consommation, l'électricité parcourt souvent des distances énormes. Par exemple, de la baie James, où se jette l'eau turbinée par les huit centrales de La Grande Rivière, jusqu'à Montréal, il y a près de 1 000 kilomètres à vol d'oiseau. Or, plus la distance à franchir est importante, plus le risque est élevé de perdre en route une partie de l'énergie initiale. Il faut prendre des mesures particulières pour limiter ces pertes, d'autant plus que le transit de quantités considérables de puissance sur d'aussi longs parcours représente de lourds investissements.

Le transport à haute tension, une solution perfectionnée par Hydro-Québec

Pour transporter de grandes quantités d'électricité, il est préférable d'augmenter la tension : on réduit ainsi les pertes électriques et le coût total du transport. Une grande partie de l'électricité que produit Hydro-Québec circule dans des lignes à haute tension à 735 000 volts. C'est bien ainsi, sinon le territoire serait encombré de pylônes. En effet, une ligne à 735 000 volts équivaut à quatre lignes à 315 000 volts, le palier de tension inférieur. En réalité, Hydro-Québec est une pionnière dans le domaine du transport à haute tension ; elle a mis au point la première ligne commerciale à 735 000 volts (voir photo ci-contre), de même que les premiers appareils connexes fonctionnant à cette tension.



PREMIÈRE MONDIALE EN TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ SIGNÉE HYDRO-QUÉBEC

En 1965, la toute première ligne à 735 000 volts est mise en service pour relier les centrales de la Manicouagan et aux Outardes aux régions urbaines de Québec et de Montréal. Véritable percée dans le monde de l'énergie, cette technologie inventée par l'ingénieur québécois Jean-Jacques Archambault rend alors possible la mise en valeur des ressources hydroélectriques du Nord-Ouest et du Nord-Est québécois.



UN VÉRITABLE ACROBATE, LE ROBOT LINESCOUT !

Développé à l'Institut de recherche d'Hydro-Québec, le robot LineScout permet d'effectuer des inspections et des interventions sur les lignes de transport sous tension. Capable de franchir les obstacles, il peut inspecter les endroits difficilement accessibles par les monteurs de lignes. Cette innovation technologique permet à Hydro-Québec de connaître avec précision l'état de ses lignes de transport et de corriger les anomalies au besoin.



Les postes

Les postes ont une multitude de fonctions qui visent à mieux contrôler le mouvement de l'énergie. Par exemple, ils sont indispensables pour sectionner les longues lignes en des tronçons plus courts dont la perte, lors de défauts ou de périodes d'entretien, occasionne moins d'impacts sur la continuité du service. Outre leurs appareils de mesure du courant et de la tension, ils sont dotés d'équipements de protection, comme les disjoncteurs, qui permettent de couper le courant d'une ligne. On retrouve également des dispositifs de commande, comme des sectionneurs, pour effectuer des manœuvres, c'est-à-dire faire passer l'énergie électrique d'une ligne à une autre de manière presque instantanée, à cause de tronçons hors service par exemple. Des appareils tels que des inductances, des condensateurs et des compensateurs servent aussi à contrôler la tension dans les postes. La plupart des postes sont automatisés et commandés à distance; seuls les postes importants ont un personnel technique en permanence, l'entretien de la plupart des autres postes étant confié à des équipes mobiles.



POSTE LA VÉRENDRYE

LE TRAVAIL SOUS TENSION : UN MÉTIER PUISSANT !

La technique des travaux sous tension consiste à effectuer en toute sécurité de la maintenance ou des réparations sur des lignes à haute tension, mais sans interrompre le courant dans les conducteurs. Cela évite les périodes d'indisponibilité des lignes et les pertes de revenus subséquentes; l'énergie électrique continue ainsi à se rendre à destination.

Travailler à 735 kV ?

Oui, c'est possible. Un monteur peut travailler dans un milieu à 735 000 volts, pourvu qu'il adopte les bonnes pratiques de sécurité. Il doit également utiliser un matériel de protection spécialisé. Une nacelle isolante, une perche isolante et des gants isolants empêcheront l'électricité de traverser son corps pour aller vers la terre.



Figure 14 / Les postes, des relais utiles dans le transport d'électricité

À la manière d'une course à relais, les lignes à haute tension, par exemple entre Radisson et Montréal, transitent par plusieurs postes de transport afin d'assurer la qualité, la fiabilité et la stabilité du courant électrique.

À vos marques... Le poste de départ à la centrale élève la tension du courant alternatif en vue de son transport. En chemin vers l'utilisateur... Le courant est mesuré et réglé, et sa tension est progressivement abaissée, avant qu'il ne reprenne sa course en direction des zones de consommation.



LES CHAMPS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES

Il y a des champs électriques et magnétiques (CÉM) partout où on utilise l'électricité, notamment autour des appareils électriques de même que près des lignes à haute tension. Depuis les années 1970, les effets des CÉM sur la santé humaine, animale et végétale soulèvent de nombreuses inquiétudes. À cet égard, des études techniques, des recherches en laboratoire et des études épidémiologiques ont été menées un peu partout dans le monde, mais aucune preuve à ce jour n'est venue établir l'existence des effets nocifs de ces champs. Toutefois, l'analyse de ce phénomène se poursuit et Hydro-Québec y participe activement.

La conduite du réseau

La plupart des tâches rattachées au mouvement d'énergie de la centrale à la maison s'effectuent à distance au moyen d'automatismes, c'est-à-dire de systèmes évolués de surveillance et de contrôle à distance. Ce sont les « réflexes » du réseau. Cependant, il faut à tout moment prendre des décisions visant le contrôle et la sécurité du réseau, à partir des données les plus pertinentes et les plus récentes. Ce centre décisionnel, au cœur du processus d'acheminement de l'électricité, est le « cerveau » du réseau. À Hydro-Québec, il s'appelle le centre de conduite du réseau, ou CCR.

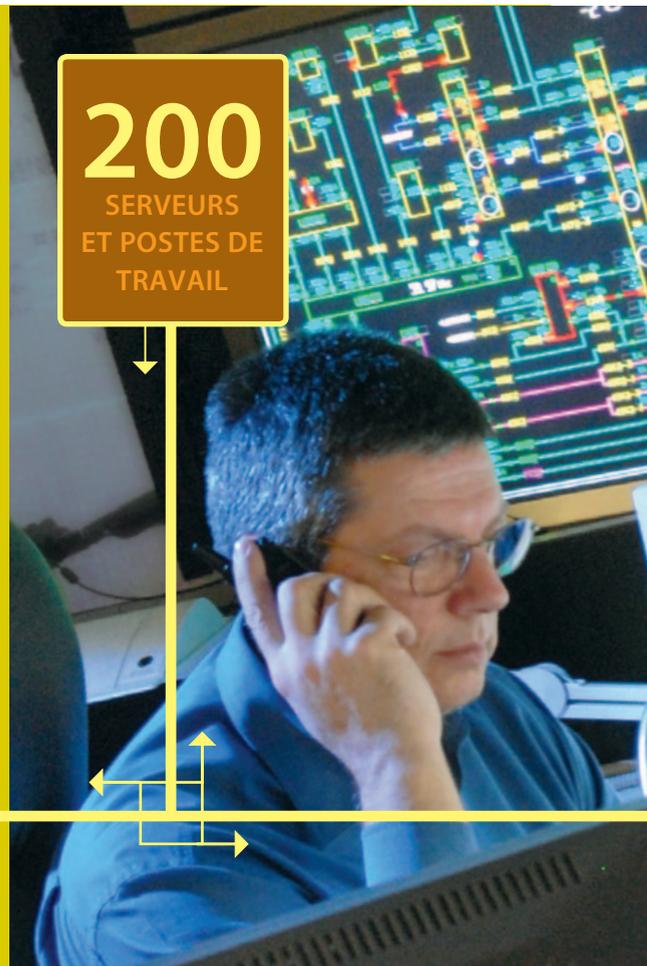
Le rôle stratégique du CCR

En fonction 24 heures sur 24, le CCR répond sans délai aux besoins en électricité du Québec et ensuite à la demande hors Québec. Le CCR commande la production et le transport d'électricité, de même que les échanges avec les réseaux voisins à l'aide des interconnexions, ces postes frontaliers au nombre de 16 qui constituent le lien physique avec les réseaux à l'extérieur du Québec. Pour optimiser la prise de décisions, le CCR centralise tous les renseignements pouvant avoir un impact sur l'exploitation du réseau. Sept centres de téléconduite en région exécutent les décisions du CCR en matière de production, de transport et d'échanges via les interconnexions. Le CCR est soutenu par une équipe multidisciplinaire composée d'environ 150 experts, effectuant des tâches variées allant de la planification à l'informatique, en passant par des équipes volantes d'entretien et de dépannage technique.

200
SERVEURS
ET POSTES DE
TRAVAIL

**LE RÉSEAU
D'HYDRO-QUÉBEC
EST UN DES PLUS
AUTOMATISÉS
AU MONDE**

160
STATIONS DE
TÉLÉMESURE ET DE
TÉLÉSIGNALISATION



Un vaste réseau de télécommunications en appui au réseau d'électricité

Hydro-Québec exploite son propre réseau de télécommunications en vue de transmettre des données dites stratégiques, par exemple celles qui commandent ses automatismes, et de faciliter la communication verbale entre ses quelque 20 000 employés, en ville comme en région éloignée. En effet, le réseau de télécommunications couvre plus de la moitié du territoire québécois, grâce à des moyens techniques qui comprennent la fibre optique, les ondes radios et les câbles téléphoniques. Les signaux qu'il transmet empruntent au-delà de 16 000 circuits. C'est en quelque sorte le « système nerveux » du réseau de transport de l'électricité.



QUELQUES DEGRÉS FONT UNE GROSSE DIFFÉRENCE

Au CCR, on base également des décisions sur les dernières données météorologiques. En effet, le climat peut jouer tant sur la capacité de production énergétique, par exemple les réserves d'eau, que sur les habitudes de consommation, par exemple les périodes de grand froid. Les intempéries (orages, verglas, etc.) ont également un effet direct sur les activités de transport d'électricité.



L'accumulation de glace sur les lignes électriques accompagnée de forts vents peut causer des pannes. La population québécoise en sait quelque chose... En janvier 1998, le Québec traverse la pire tempête de verglas de son histoire : cinq jours d'accumulation de verglas sans précédent mettent le réseau électrique à rude épreuve et des centaines de supports s'effondrent. Jusqu'à trois millions de personnes sont privées d'électricité en hiver, certaines pendant plusieurs jours, voire des semaines. Alors que les équipes travaillent à reconstruire des lignes, Hydro-Québec étudie divers moyens d'éviter qu'une telle situation ne se reproduise. Parmi ces moyens figure la mise au point de nouvelles techniques de déglacage à distance et l'installation de pylônes antichute en cascade. Ceux-ci, plus résistants, sont érigés entre les pylônes ordinaires, afin d'empêcher qu'ils ne s'effondrent lors d'événements météorologiques extrêmes comme le verglas de 1998.

5 500
DONNÉES
MISES À JOUR
TOUTES LES
3
SECONDES



LES RÉPARTITEURS AUX COMMANDES

Avec leur vue d'ensemble du réseau et leur accès aux données les plus fraîches, trois répartiteurs dirigent l'exploitation quotidienne du réseau. Le répartiteur de la production peut demander d'augmenter ou de diminuer la production d'une centrale. Le répartiteur du transport peut demander d'ouvrir ou de fermer une ligne de transport. Quant au répartiteur des interconnexions, il veille aux livraisons d'électricité hors Québec et aux réceptions d'électricité provenant des réseaux voisins ; il peut décider de réduire ou de suspendre des exportations lorsque la demande québécoise est trop forte. Les répartiteurs prennent des décisions en temps réel, c'est-à-dire qui ont des répercussions immédiates sur la performance et la sécurité du réseau.

Situé à Montréal, le CCR est doté d'un tableau synoptique qui permet de connaître l'état du réseau en un coup d'œil.

22 500
POINTS D'ACQUISITION
DE DONNÉES

BALBUZARDS PÊCHEURS ET HAUTE VOLTIGE...

Communément appelé l'aigle pêcheur, ce grand rapace peut provoquer des pannes quand il érige son nid sur les supports d'Hydro-Québec. Son nid, qui atteint facilement un mètre de diamètre, est construit avec une grande quantité de branches sèches. Il suffit qu'une seule branche du nid touche aux fils pour causer un choc électrique qui non seulement détruit les oiseaux et leur progéniture, mais entraîne de nombreuses pannes et des incendies sur le réseau. Hydro-Québec s'est associée à l'Université McGill pour élaborer une solution : on érige un poteau avec une plateforme à proximité du pylône et on déplace le nid par hélicoptère ! Ce programme existe surtout dans la région de Malartic, dans l'ouest du Québec, où l'oiseau est abondant.



question://

QU'ARRIVE-T-IL LORSQU'ON ALLUME UN APPAREIL ÉLECTRIQUE ?

réponse://

Quand on appuie sur un interrupteur – et que l'électricité est d'origine hydraulique, comme au Québec –, on commande un supplément d'eau en vue d'un turbinage plus intense, d'une production d'hydroélectricité accrue et d'un mouvement d'énergie plus important, de la centrale à la maison. Ce n'est pas la mise en marche d'un seul appareil comme le téléviseur qui fera une grosse différence. Mais imaginez que tout le monde au Québec allume le sien en même temps ! L'appel d'énergie électrique devient alors considérable. Et pourtant, c'est ce qui se produit tous les jours, par exemple lorsque nous allumons notre cuisinière pour préparer le souper vers les 18 heures.

**Attention
aux chocs
électriques!**



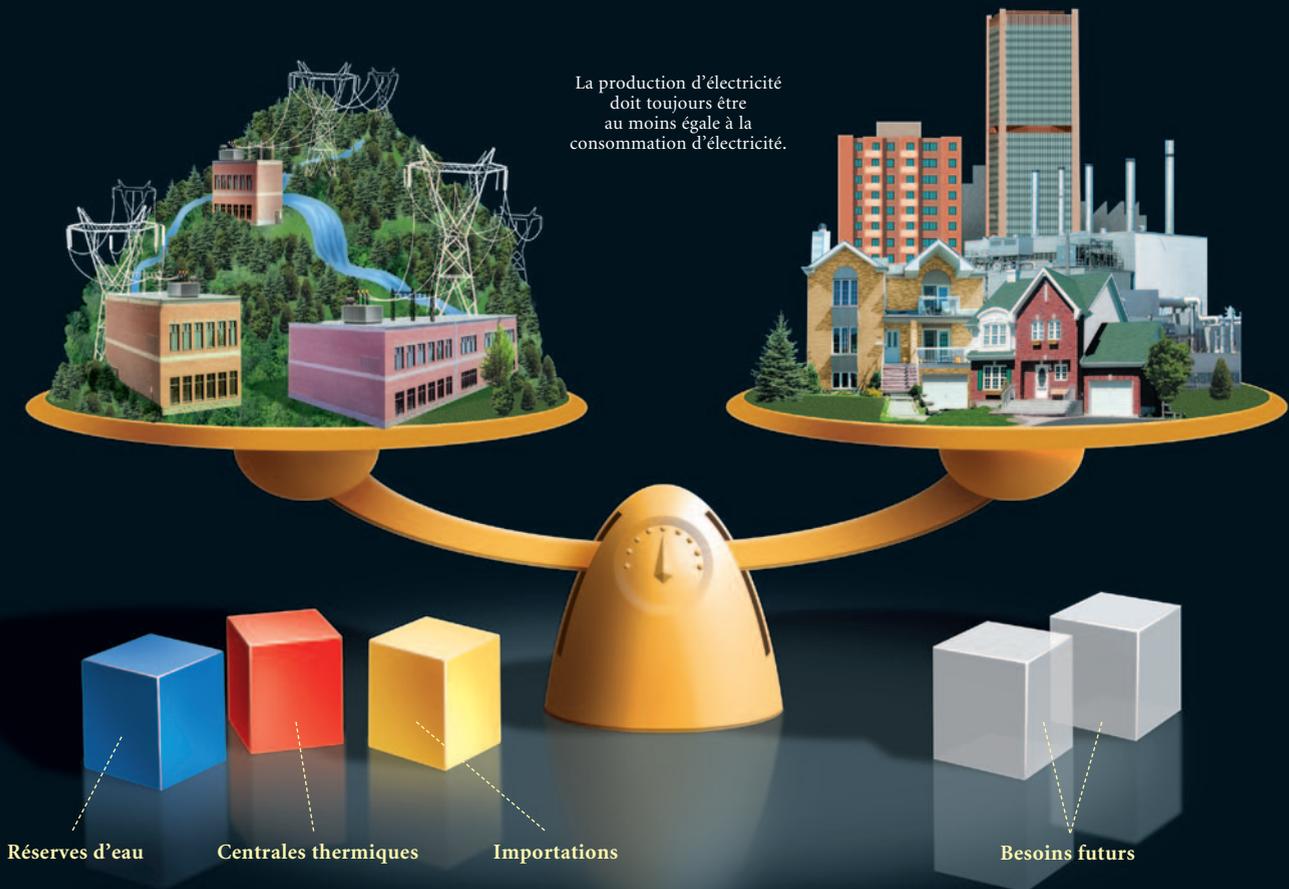
N'oublions pas que l'électricité est parfois dangereuse. En effet, l'usage inapproprié d'un appareil électrique ou l'usage d'un appareil endommagé peut produire un choc électrique; la personne sert alors de chemin au courant électrique. Le corps humain est un bon conducteur et le passage d'un courant électrique peut avoir des conséquences graves : brûlures et même mort.

En cas de choc électrique, le courant qui parcourt le corps provoque une grande chaleur, surtout au point d'entrée dans le corps et au point de sortie. Nous pouvons cependant prévenir les chocs électriques en prenant des mesures sûres et efficaces, dont quelques-unes sont présentées plus loin dans cette section.

Production d'énergie électrique

Consommation d'énergie électrique

La production d'électricité doit toujours être au moins égale à la consommation d'électricité.



L'équilibre de l'offre et de la demande

En distribution d'électricité, comme en alimentation d'eau, il vaut mieux « en avoir trop pour en avoir assez » que le contraire. Dès qu'on produit de l'énergie, il faut l'utiliser. Et la proposition inverse est tout aussi vraie : dès qu'on allume un appareil, l'électricité doit être là. Peu importe l'ampleur de la demande, le fournisseur d'électricité doit y répondre instantanément ! C'est grâce à la souplesse de ses moyens de production qu'il pourra réagir rapidement et de manière efficace aux variations de la demande. Si la demande croît substantiellement, à cause des rigueurs de l'hiver québécois, par exemple, le fournisseur d'électricité doit en distribuer davantage. Quand la demande chute, durant l'été québécois, un producteur comme Hydro-Québec peut turbiner moins intensément et ainsi emmagasiner de l'eau dans ses réservoirs.

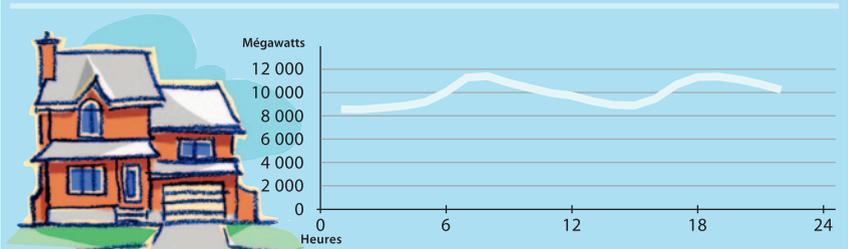
Tableau 13 / LA CONVERSION DES UNITÉS DE MESURE DE L'ÉLECTRICITÉ

LES PRÉFIXES CI-APRÈS SERVENT À FORMER LES MULTIPLES DÉCIMAUX LES PLUS COURAMMENT UTILISÉS TANT POUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ QUE POUR D'AUTRES ASPECTS DE LA CHAÎNE ÉNERGÉTIQUE : KILOWATTHEURES (kWh), MÉGAWATTS (MW), KILOVOLTS (kV), ETC.

	PRÉFIXE	SYMBOLE
1 000 = 10 ³	KILO	k
1 000 000 = 10 ⁶	MÉGA	M
1 000 000 000 = 10 ⁹	GIGA	G
1 000 000 000 000 = 10 ¹²	TÉRA	T

Tableau 14 / LES FLUCTUATIONS QUOTIDIENNES DE LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ EN 2008

CLIENTÈLE RÉSIDENIELLE – CONSOMMATION MOYENNE EN HIVER



La distribution de l'électricité

Enfin, nous voici à quelques pas de la maison! La tension du courant a été abaissée à un poste source, puis un poste satellite l'a abaissée de nouveau. Il ne reste plus que deux étapes avant qu'on puisse utiliser l'électricité : la distribution à moyenne tension et la distribution à basse tension.

De l'électricité dans l'air

Règle générale, le courant alternatif triphasé à moyenne tension quitte le poste satellite à 25 000 volts au moyen de lignes souterraines. À une certaine distance du poste, le réseau devient aérien. Le réseau aérien est composé de trois conducteurs de phase nus soutenus par les isolateurs dans le haut des poteaux. Quelques mètres sous ces trois conducteurs (câbles) se trouve un conducteur de neutre nu; celui-ci est raccordé à un réseau de mise à la terre et contribue à la sécurité du personnel et du public. Le réseau aérien comporte également des transformateurs qui sont fixés aux poteaux; ils abaissent la tension de 25 000 volts à 120/240 volts, soit la tension propre à l'usage domestique qui va du poteau jusqu'à la maison par des conducteurs isolés, aériens ou souterrains.



Au fil des... chocs électriques

Les oiseaux et les écureuils ne prennent pas de choc sur un fil nu parce qu'ils ne touchent pas le sol ou n'entrent pas en contact avec un objet reposant par terre. Si un animal ou une personne touche un fil électrique alors qu'il est sur le sol, dans une échelle ou sur un toit, il risque de prendre un choc électrique; l'électricité traverserait alors son corps pour rejoindre la terre. Même un conducteur isolé peut représenter un danger, car les oiseaux et les écureuils peuvent picoter ou grignoter la gaine, ce qui permettrait à l'électricité d'atteindre le sol... à travers la personne ou l'animal.

De l'électricité sous terre

Il n'y a pas que les lignes aériennes qui nous permettent de raccorder les maisons. Quand il n'y a pas de poteaux, c'est parce que les lignes sont enfouies. Si seules les lignes à basse tension sont enfouies et que les transformateurs et les lignes à moyenne tension demeurent en aérien, on parle d'un réseau aérosouterrain. Lorsque le réseau est entièrement souterrain, les lignes à moyenne tension sont également enfouies, et les transformateurs sont installés sur socle (hors terre) ou dans des chambres souterraines. Ce dernier type de réseau se retrouve en milieu très urbanisé ou dans certains quartiers résidentiels.



Transformateur sur socle.



▲ Montréal dans les années 1920... des poteaux à perte de vue. Aujourd'hui, plus de la moitié du réseau montréalais est souterrain, soit près de 4 000 kilomètres de lignes de distribution.



En plus d'améliorer l'environnement visuel, l'enfouissement du réseau protège les installations électriques des intempéries et de la végétation, sans oublier qu'on gagne de l'espace. Au Québec, 10 % des lignes de distribution sont souterraines; ces données sont comparables aux taux d'enfouissement ailleurs au Canada. Plus coûteux qu'un réseau aérien, l'enfouissement est une décision qui appartient aux autorités municipales ou gouvernementales, et non pas au fournisseur d'électricité.

Tableau 15 / L'ÉQUIPEMENT DU RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'HYDRO-QUÉBEC EN 2009

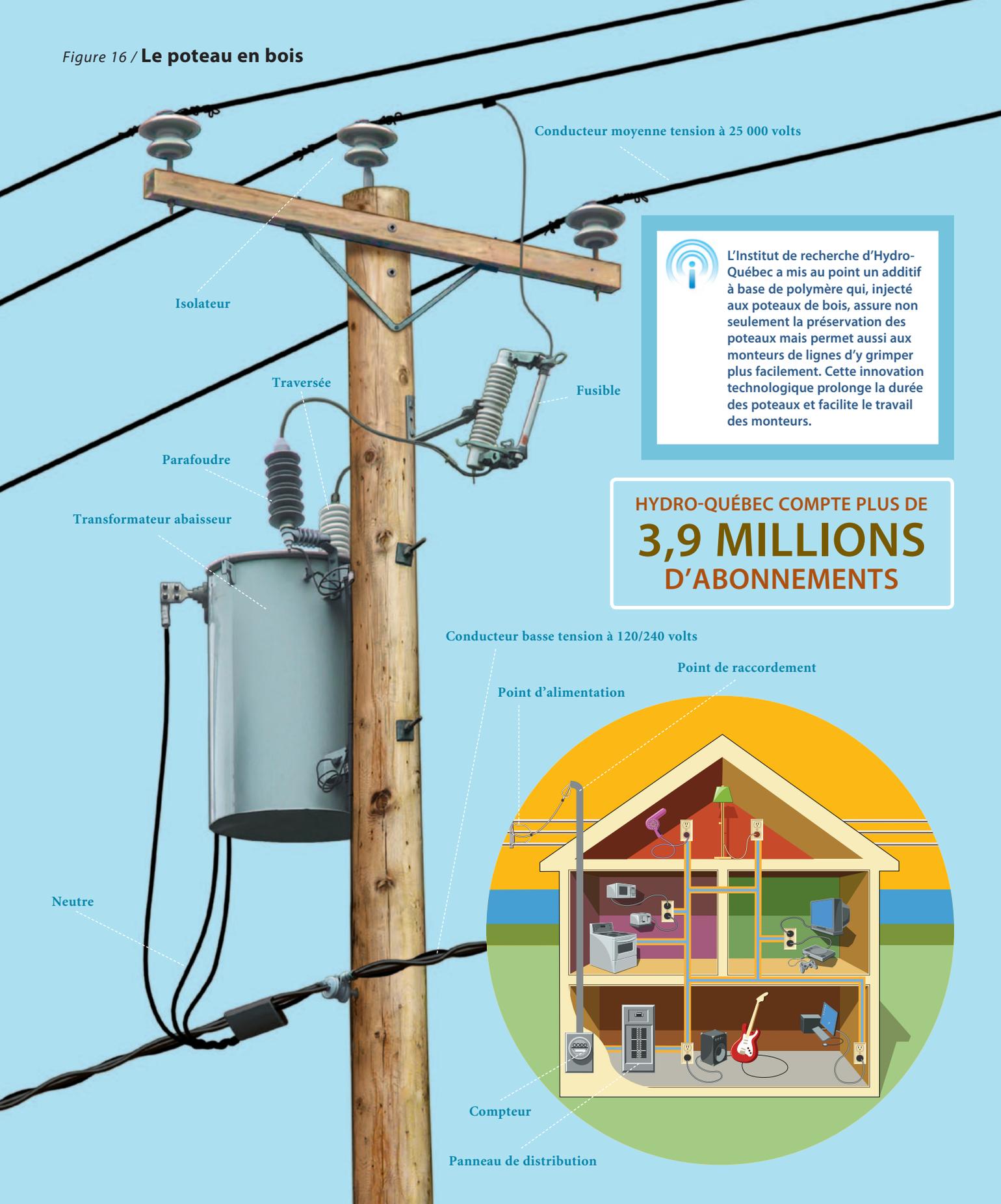
MATÉRIEL	NOMBRE
POTEAUX (À 99 % EN BOIS)	2 500 000
LIGNES AÉRIENNES	100 000 KILOMÈTRES
LIGNES SOUTERRAINES	11 200 KILOMÈTRES

LA MAÎTRISE DE LA VÉGÉTATION : POUR COUPER COURT AUX PANNES

Les fournisseurs d'électricité doivent constamment tailler les arbres poussant à proximité des lignes, afin de minimiser le contact entre les conducteurs et la végétation, lequel peut occasionner des interruptions de service. Au Québec, plus de 40 % des pannes électriques sont causées par la chute de branches ou d'arbres sur les lignes de distribution; dans certains secteurs, cette proportion peut être beaucoup plus élevée.



Figure 16 / Le poteau en bois



LA SÉCURITÉ DANS LA COUR ARRIÈRE

Qu'il s'agisse de jouer ou de bricoler à l'extérieur, il faut toujours se rappeler l'emplacement des lignes électriques, et le danger qu'elles représentent. Ces règles de sécurité élémentaires peuvent vous éviter un accident et vous sauver la vie... Prudence!

- Ne jamais couper les branches d'un arbre près des fils électriques; plusieurs personnes ont été blessées ou sont mortes en travaillant près des fils électriques.
- Ne jamais grimper dans les arbres près des fils électriques; jouer loin des fils électriques, avec un cerf-volant par exemple.
- S'assurer que le fil de la tondeuse est en bon état; utiliser la tondeuse électrique seulement quand le gazon est bien sec.
- Faire attention aux fils électriques si vous devez exécuter des travaux autour de la maison, entre autres sur le toit, ou nettoyer la piscine avec une perche; s'assurer de ne pas arroser les fils ni de les accrocher avec votre main ou un outil.
- Ne jamais tenter de grimper à un poteau en bois servant à la distribution de l'électricité ou d'y installer une corde à linge; c'est dangereux et interdit.

La consommation d'électricité

Chaque fois qu'on fait fonctionner un appareil électrique, on consomme du courant. Il s'agit d'un appel de puissance, d'une demande auprès du fournisseur d'électricité. L'énergie quitte alors le grand réseau pour être utilisée dans la maison. La quantité d'électricité ainsi consommée est calculée avec précision à l'aide d'un compteur, car il y a un prix rattaché à cette utilisation. Un certain nombre de dispositifs et de pratiques permettent de consommer de l'électricité en toute sécurité.

Du compteur au disjoncteur

Le réseau d'Hydro-Québec se termine au compteur d'électricité de la maison. Très précis, celui-ci enregistre la quantité d'électricité que consomme le client. Le compteur est relié directement à un panneau de distribution, communément appelé panneau à disjoncteurs. Celui-ci comporte d'abord un disjoncteur principal, qui peut couper tout le courant de la maison, et autant de disjoncteurs secondaires qu'il y a de circuits dans la maison.

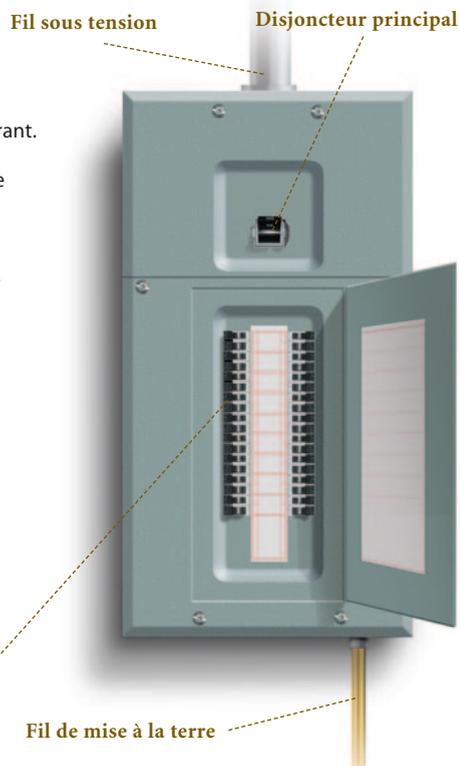
Du disjoncteur à l'utilisateur

Les disjoncteurs sont des interrupteurs qui coupent automatiquement le courant lors d'une surcharge ou d'une anomalie quelconque. Ils empêchent les circuits de surchauffer, par exemple à cause d'un problème de câblage ou d'un appareil électrique défectueux. Pour former un circuit, chaque disjoncteur est relié par trois fils à une série de prises de courant ou de boîtiers de raccordement. Certains circuits spécialisés ne comportent qu'une seule prise ou un seul boîtier, par exemple le réfrigérateur ou le chauffe-eau. D'autres circuits sont associés à des prises à disjoncteur différentiel pour assurer une protection additionnelle à l'utilisateur, la prise de la salle de bains par exemple.



Figure 17 / Le panneau de distribution

Le fil sous tension achemine le courant. Le fil neutre, aussi appelé « retour », et le fil de mise à la terre jouent un rôle de protection. Les fils neutre et de mise à la terre aboutissent à la même borne du disjoncteur, laquelle est raccordée au câble de mise à la terre du panneau de distribution.



POURQUOI LES DEUX BROCHES PLATES DE LA FICHE DE PLUSIEURS APPAREILS ÉLECTRIQUES SONT-ELLES PERCÉES D'UN TROU ?

Ce trou sert à empêcher la fiche de ressortir facilement d'une prise de courant, car il s'ajuste sur une petite bosse dans les pattes de contact de la prise. Cela permet aussi d'insérer dans le trou des broches une attache en plastique pour éviter qu'un appareil électrique soit branché.



LA SÉCURITÉ DANS LA MAISON

Il ne suffit pas que les disjoncteurs coupent le courant quand il y a un problème. En effet, les occupants d'une maison ont également un rôle à jouer pour assurer la sécurité des personnes.

- Débrancher le grille-pain avant d'en retirer une tranche de pain coincée et ne jamais y introduire un ustensile.
- Ne pas brancher un appareil électrique dans la salle de bains, si la prise de courant n'est pas protégée par un disjoncteur différentiel.

Un compteur de kilowattheures

Un compteur d'électricité est muni d'un disque et de quatre cadrans à aiguilles indiquant des chiffres de 0 à 9. Quand le courant passe, le disque tourne en actionnant une roue dentée qui entraîne l'aiguille du cadran des unités. Dès que l'aiguille des unités a fait un tour complet de son cadran, elle entraîne celle du cadran des dizaines, laquelle entraîne à son tour celle des centaines qui entraîne enfin celle des milliers. Pour établir la consommation, le releveur de compteur d'Hydro-Québec enregistre la position des aiguilles de chaque cadran au moment où il prend le relevé. Le calcul de la facture est basé sur la différence entre le relevé précédent et la lecture du releveur.

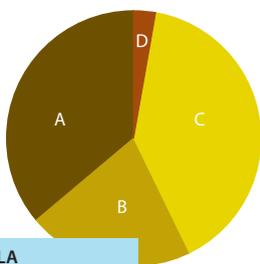
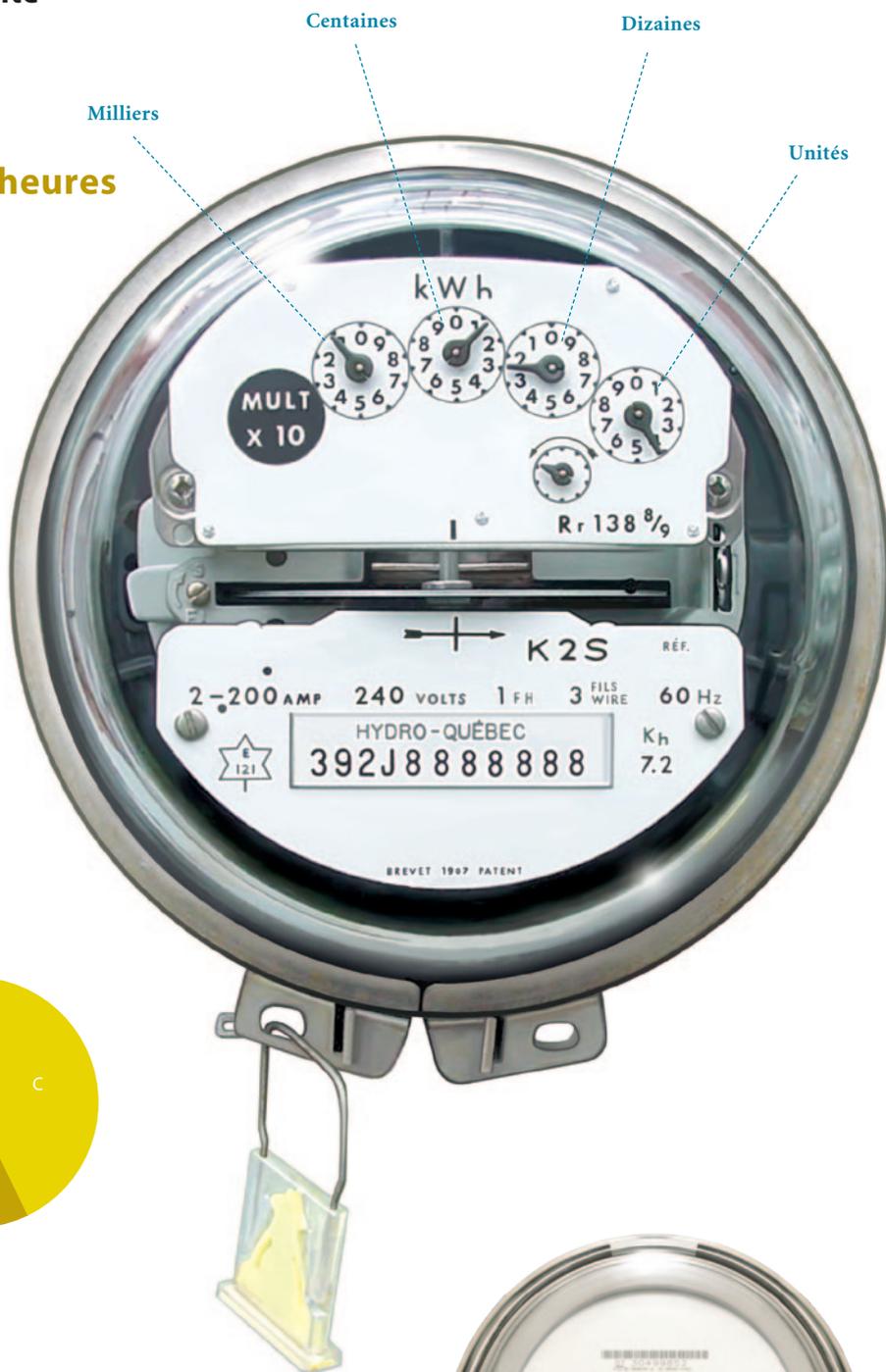


Tableau 16 / LA RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ AU QUÉBEC EN 2008

A	DOMESTIQUE ET AGRICOLE	36 %
B	COMMERCIALE ET INSTITUTIONNELLE	21 %
C	INDUSTRIELLE	40 %
D	AUTRES SECTEURS	3 %

À RADIOFRÉQUENCE

Depuis 1997, les compteurs à radiofréquence font progressivement leur entrée dans les propriétés québécoises. Actuellement, le parc de compteurs d'Hydro-Québec comprend plus de 650 000 de ces appareils.

D'ici quelques années, Hydro-Québec envisage de remplacer 3,7 millions des modèles actuels par des compteurs intelligents. Ces derniers communiqueront à distance les données de consommation des clients grâce à un réseau intelligent.



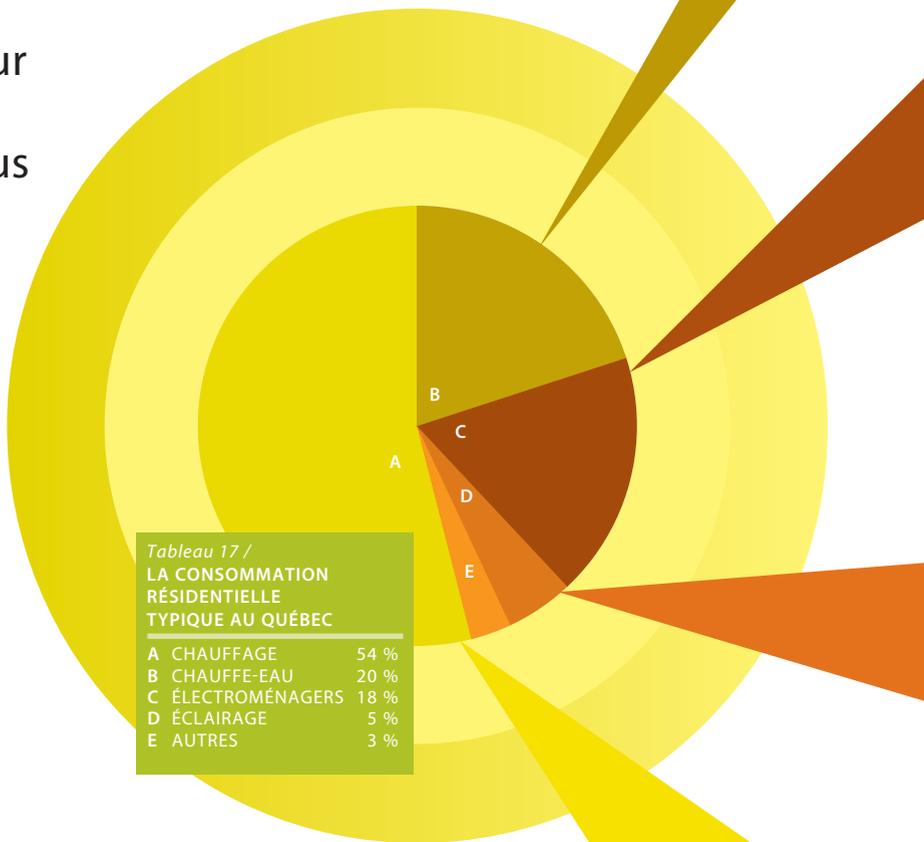
- Toujours tirer sur la fiche pour débrancher un appareil électrique, pas sur le fil.
- Débrancher la bouilloire, le fer à repasser et la cafetière avant d'y mettre de l'eau.
- Éviter les surcharges, donc le risque de feu, en utilisant différentes prises de courant, en débranchant les appareils non utilisés, en employant une barre de surtension.
- Ne jamais arracher ou replier la broche ronde d'une fiche à trois broches ou tricher avec un adaptateur à prise trois trous et fiche deux broches.
- Protéger les enfants en posant des cache-prise dans les prises de courant.
- Disposer les fils électriques hors de la portée des enfants.
- Débrancher l'appareil électrique que vous voulez réparer, la lampe dont vous voulez remplacer l'ampoule.
- Couper le courant en fermant l'interrupteur principal du panneau de distribution avant d'enfoncer un clou ou de percer un trou dans un mur et avant de découper du papier peint autour d'une prise de courant ou d'un interrupteur.

L'efficacité énergétique

L'efficacité énergétique, ou économie d'énergie, est le fruit de petits gestes que nous pouvons facilement faire tous les jours. À l'échelle de la société, ces petits gestes peuvent avoir un gros impact. En diminuant notre consommation d'électricité, nous économisons et nous y gagnons collectivement sur le plan environnemental. En effet, l'électricité que nous économisons ainsi peut servir à d'autres usages, par exemple l'électrification des transports, qui contribue à diminuer les émissions de gaz à effet de serre.

Énergivore ou éconergétique ?

On peut gaspiller de l'énergie de plusieurs façons. Quand un appareil consomme beaucoup, on dit qu'il est énergivore. Une personne peut également être énergivore si elle adopte un comportement qui conduit à une forte consommation d'électricité. Avec un peu de vigilance, on peut freiner notre consommation superflue. Il suffit parfois d'adopter de nouvelles habitudes qui évitent ou limitent la consommation d'énergie, ou encore de choisir des appareils pour leur faible consommation d'électricité. Voici donc quelques faits et conseils éconergétiques...



Le chauffage

C'est le chauffage de la maison qui représente la plus grande dépense d'électricité : plus de 50 % de la facture. Il suffit de modifier un peu ses habitudes pour réaliser des économies appréciables.

- Calfeutrer toutes les ouvertures de la maison (tuyaux, conduits, portes, fenêtres) pour éliminer les pertes de chaleur et ainsi diminuer efficacement le coût du chauffage et augmenter le confort.
- Régler la température des pièces habitées à 17 °C la nuit et pendant ses absences, et à 20 °C le reste du temps ; celle du vestibule à 15 °C et celle des pièces inoccupées à 10 °C en prenant soin d'en fermer les portes.
- Remplacer les thermostats ordinaires par des thermostats électroniques programmables, dans le cas du chauffage par plinthes électriques.
- Isoler le sous-sol ou en améliorer l'isolation.



54 %

L'eau chaude

Le chauffage de l'eau est la deuxième dépense d'électricité des foyers, soit environ 20 % de la facture. Il est bon de savoir qu'un chauffe-eau de 180 litres (40 gallons) suffit pour trois personnes.

- Éviter les pertes de chaleur en recouvrant le chauffe-eau d'une couverture isolante et en entourant les tuyaux d'eau chaude d'un isolant, en particulier ceux qui traversent des endroits non chauffés.
- Maintenir la température du chauffe-eau à 60 °C et réduire la durée des douches.
- Réparer vite un robinet qui fuit, car, à raison d'une goutte à la seconde, il gaspille 27 litres d'eau chaude par jour.
- Utiliser la machine à laver seulement à pleine capacité et, si possible, laver à l'eau froide.
- Démarrer le lave-vaisselle seulement quand il est plein, sans utiliser la fonction de séchage.

20%



Les électroménagers

Plusieurs autres appareils peuvent consommer beaucoup d'électricité si l'on ne s'en sert pas avec discernement, entre autres, la bouilloire, la cuisinière, la sècheuse, le climatiseur et le four à micro-ondes.

- Utiliser la bouilloire électrique pour faire bouillir de l'eau, mais pas plus que vous n'en avez besoin; c'est la méthode la plus économique.
- Se servir du four à micro-ondes au lieu du four ordinaire pour les petites quantités de nourriture et faire décongeler les aliments au réfrigérateur plutôt qu'au four à micro-ondes.
- Cuire les aliments dans des casseroles dont le couvercle ferme bien; ne pas allumer le four plus de dix minutes d'avance et l'éteindre quelques minutes avant la fin de la cuisson : la chaleur accumulée finira le travail.

18%

L'éclairage

L'éclairage ne constitue qu'une faible partie de la facture d'électricité, mais là aussi, toutes proportions gardées, on peut économiser considérablement.

- Remplacer les ampoules à incandescence par des fluocompactes, qui consomment 75 % moins d'électricité pour un éclairage comparable et durent jusqu'à dix fois plus longtemps.
- Éteindre la lumière quand on quitte une pièce.

5%



SI LES QUELQUE 7 500 000 QUÉBÉCOISES ET QUÉBÉCOIS ALLUMAIENT EN MÊME TEMPS

UNE AMPOULE DE 100 W,

IL FAUDRAIT TOUTE LA PRODUCTION DE LA CENTRALE DE CARILLON, DONT LA PUISSANCE INSTALLÉE S'ÉLÈVE À 753 MW!



POUR SOUTENIR L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES INDUSTRIES

Le Laboratoire des technologies de l'énergie (LTE) de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec a conçu un outil de diagnostic pour aider les industries à améliorer leur efficacité énergétique. À l'aide d'un questionnaire rempli par le client industriel, l'outil dresse automatiquement un portrait de la consommation du client et propose des recommandations sur mesure liées aux programmes d'efficacité énergétique d'Hydro-Québec. Une innovation technologique qui permet aux clients industriels de mieux consommer!



DE L'AMPOULE À INCANDESCENCE À L'AMPOULE À DEL

Jusqu'en 1879, le seul moyen d'illuminer les maisons était d'utiliser des lampes à gaz ou des chandelles. Or, l'électricité était une source d'énergie connue. On savait, par exemple, qu'il était possible de créer de la lumière en faisant passer un courant à travers un filament dans un espace sous vide; la résistance ainsi créée permettait de chauffer à blanc le filament, le rendant lumineux. Seulement, on ne savait pas encore quoi utiliser pour fabriquer ce filament, de manière à ce qu'il supporte l'incandescence sans se désintégrer. Après d'intenses recherches qui ont exigé l'essai de plus de 6 000 matériaux provenant des quatre coins du monde, l'inventeur américain Thomas Alva Edison conclut qu'un filament fait à partir d'un simple fil de coton carbonisé était la meilleure solution. Le 21 octobre 1879, il vit brûler son ampoule à incandescence pendant quelque 40 heures, un record pour l'époque. De nos jours, les ampoules à incandescence sont remplacées mondialement par des fluocompactes, qui sont plus performantes et permettent d'économiser de l'énergie. À l'avenir, on croit que les ampoules à diode électroluminescente (DEL) pourraient prendre une place plus importante dans l'éclairage en général, car elles consomment très peu d'électricité. Elles sont de plus en plus utilisées dans les jeux de lumières décoratives du temps des fêtes.

VOUS VOULEZ EN SAVOIR DAVANTAGE?

réponse://

Plusieurs autres ouvrages de référence sont à votre portée pour en apprendre un peu plus sur l'électricité. Vous pouvez également approfondir vos connaissances sur les activités d'Hydro-Québec de diverses manières.

- www.hydroquebec.com
Le monde de l'électricité n'est pas statique, surtout pas à Hydro-Québec! Visitez notre site pour vous en convaincre, et renseignez-vous sur les derniers développements québécois dans le secteur.
- Des initiatives en matière d'environnement
L'engagement d'Hydro-Québec se traduit par des gestes concrets, allant de mesures d'atténuation efficaces à une gestion environnementale rigoureuse.
www.hydroquebec.com/developpementdurable
- Les projets de construction d'Hydro-Québec
Hydro-Québec présente ici un tour d'horizon des projets de construction en cours et à l'étude au Québec.
www.hydroquebec.com/projets
- L'électrification des transports
L'électricité est appelée à occuper une place de plus en plus importante dans les transports terrestres. Découvrez comment elle pourra changer les transports collectifs et individuels.
www.hydroquebec.com/electrification-transport
- Visitez nos installations
Explorez le monde de l'électricité, découvrez des richesses patrimoniales et admirez l'ampleur des ouvrages! Hydro-Québec vous offre des visites gratuites de centrales, de barrages et d'autres installations.
www.hydroquebec.com/visitez
- Les progrès de la science
L'innovation technologique demeure un enjeu économique primordial pour Hydro-Québec, et l'Institut de recherche d'Hydro-Québec y joue un rôle de premier plan grâce à de nombreux projets de recherche et développement.
www.ireq.ca

Connaissances éclair

1. Quel appareil électrique consomme le plus d'électricité à la maison?
2. Il faut autant d'électricité pour chauffer l'eau du bain qu'il en faut pour allumer une ampoule de 60 watts pendant...
3. Vrai ou faux? Un four à micro-ondes de 1 190 watts qui fonctionne pendant 4 minutes consomme autant d'électricité qu'une ampoule de 60 watts pendant une heure.
4. Vrai ou faux? Si quinze personnes se tiennent par la main et que la première prend un choc électrique, la dernière le ressentira également.
5. J'ai prouvé que la foudre est de l'électricité statique; je m'appelle...
6. On m'attribue la paternité des lignes à 735 kilovolts; je m'appelle...
7. Je m'appelle Alessandro Volta et en 1800 j'ai inventé...
8. À quelle heure de la journée consomme-t-on le plus d'électricité au Québec?
9. Si elles étaient mises bout à bout, combien de fois les lignes de transport et de distribution d'Hydro-Québec feraient-elles le tour de la Terre?
10. Combien y a-t-il de watts dans un mégawatt?
11. En quelle année le gouvernement du Québec a-t-il créé Hydro-Québec?
12. Le mot *électron* tire ses origines d'un mot grec qui signifie...

1. Chaudre-cou - 2. 60 heures - 3. Vrai - 4. Vrai
5. Benjamin Franklin - 6. Jean-Jacques Archambault
7. La pile - 8. Vers 18 h 30 - 9. Plus de trois fois et demie
10. 1 000 000 - 11. 1944 - 12. Ambre jaune

LES RECORDS D'HYDRO-QUÉBEC

LA PREMIÈRE LIGNE À 735 KILOVOLTS DU MONDE
CELLE RELIANT LE COMPLEXE MANIC-OUTARDES À QUÉBEC ET MONTRÉAL, EN 1965

LA PLUS PUISSANTE CENTRALE

CENTRALE ROBERT-BOURASSA
5 616 MÉGAWATTS

Elle produit assez d'électricité pour alimenter 1,4 million de personnes, soit l'équivalent de la population des villes de Québec, de Longueuil, de Laval et de Sherbrooke réunies!

LE PLUS GRAND DÉBIT D'EAU
DANS UNE TURBINE

CELUI DE LA CENTRALE LA GRANDE-1
496 mètres cubes par seconde

LE BARRAGE EN ENROCHEMENT
LE PLUS ÉLEVÉ

Barrage de la Sainte-Marguerite-3

171 MÈTRES
DE HAUT

CELA CORRESPOND À UN
IMMEUBLE DE 56 ÉTAGES!

LE BARRAGE À VOÛTES MULTIPLES
ET À CONTREFORTS LE PLUS
HAUT DU MONDE

Barrage Daniel-Johnson
214 MÈTRES
DE HAUT

SA VOÛTE PRINCIPALE POURRAIT CONTENIR
L'ÉDIFICE DE LA PLACE VILLE-MARIE,
À MONTRÉAL!

LA CENTRALE EXPLOITANT LA
PLUS FORTE HAUTEUR DE CHUTE

**CENTRALE DE LA
SAINTE-MARGUERITE-3**
330 MÈTRES

C'EST 6 MÈTRES DE PLUS QUE
LA TOUR EIFFEL!

LE PLUS HAUT PYLÔNE DE LIGNES À HAUTE TENSION

Celui situé à proximité de la centrale de Tracy effectuant la traversée
du fleuve Saint-Laurent entre Berthierville et Tracy

174,6 MÈTRES DE HAUT
C'EST AUSSI HAUT QUE LE STADE OLYMPIQUE DE MONTRÉAL!

LA PLUS GRANDE CENTRALE SOUTERRAINE DU MONDE

Centrale Robert-Bourassa
483 MÈTRES DE LONGUEUR,
137 MÈTRES DE PROFONDEUR

ELLE EST PLUS VASTE QUE QUATRE TERRAINS
DE SOCCER MIS BOUT À BOUT!

LE PLUS GRAND
RÉSERVOIR

(VOLUME D'EAU
DISPONIBLE
POUR PRODUIRE
DE L'ÉLECTRICITÉ)

**RÉSERVOIR
CANIAPISCAU**
39 MILLIARDS
DE MÈTRES CUBES

LES PLUS PUISSANTS GROUPES
TURBINES-ALTERNATEURS HYDRAULIQUES
SONT CEUX DE LA CENTRALE DE LA
SAINTE-MARGUERITE-3

441
MÉGAWATTS
CHACUN

LA VITESSE DE ROTATION LA PLUS ÉLEVÉE D'UN GROUPE TURBINE-ALTERNATEUR
CELLE DES CENTRALES DE LA CITIÈRE, DE TRACY ET
DE BÉCANCOUR : 3 600 TOURS PAR MINUTE

LE PLUS GRAND
RÉSERVOIR (SUPERFICIE)

Réservoir Caniapiscau
4 318 KILOMÈTRES
CARRÉS

LA SUPERFICIE DE CE RÉSERVOIR
EST UN PEU PLUS DE QUATRE FOIS
CELLE DU LAC SAINT-JEAN.

Le groupe turbine-alternateur le plus puissant du parc de production entier
CELUI DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE GENTILLY-2

675 MÉGAWATTS

À LUI SEUL, CE GROUPE POURRAIT DESSERVIR 100 000 CLIENTS RÉSIDENTIELS.

LE PLUS GRAND RÉSERVOIR
(VOLUME TOTAL)

Réservoir Manic-5
139,8 MILLIARDS
DE MÈTRES CUBES

IL FIGURE PARI MI LES 10 RÉSER-
VOIRS ARTIFICIELS LES PLUS
VOLUMINEUX DU MONDE!

APPRENDRE EN S'AMUSANT!

L'électricité peut aussi s'approprier par des moyens pratiques et divertissants. Voici un aperçu de ce qu'Hydro-Québec vous propose dans son site pour agrémenter vos découvertes.

• Jeux appliqués à l'apprentissage de l'électricité, vous invitant notamment à :

Construire un réseau électrique de la centrale jusqu'à la maison de Chachoc!

Partir à la chasse aux dangers avec Chachoc!

- Histoire de l'électricité au Québec, de 1878 à aujourd'hui
- Tout sur les comportements sécuritaires à adopter
- Mieux comprendre sa consommation résidentielle
- Visites guidées des installations d'Hydro-Québec

AUTRES SOURCES D'INFORMATION

Électrotechnique, Théodore Wildi, Presses de l'Université Laval, 2000.

Hydro-Québec : L'héritage d'un siècle d'électricité, André Bolduc, Clarence Hogue et Daniel Larouche, Éditions Libre Expression, 1989.

La libéralisation des marchés de l'électricité, Henri Lepage et Michel Boucher, Éditions Saint-Martin, Institut économique de Montréal, 2001.

www.hydroquebec.com/comprendre

Voici un répertoire des termes clés utilisés dans le présent ouvrage, assorti d'une liste des figures et des tableaux.

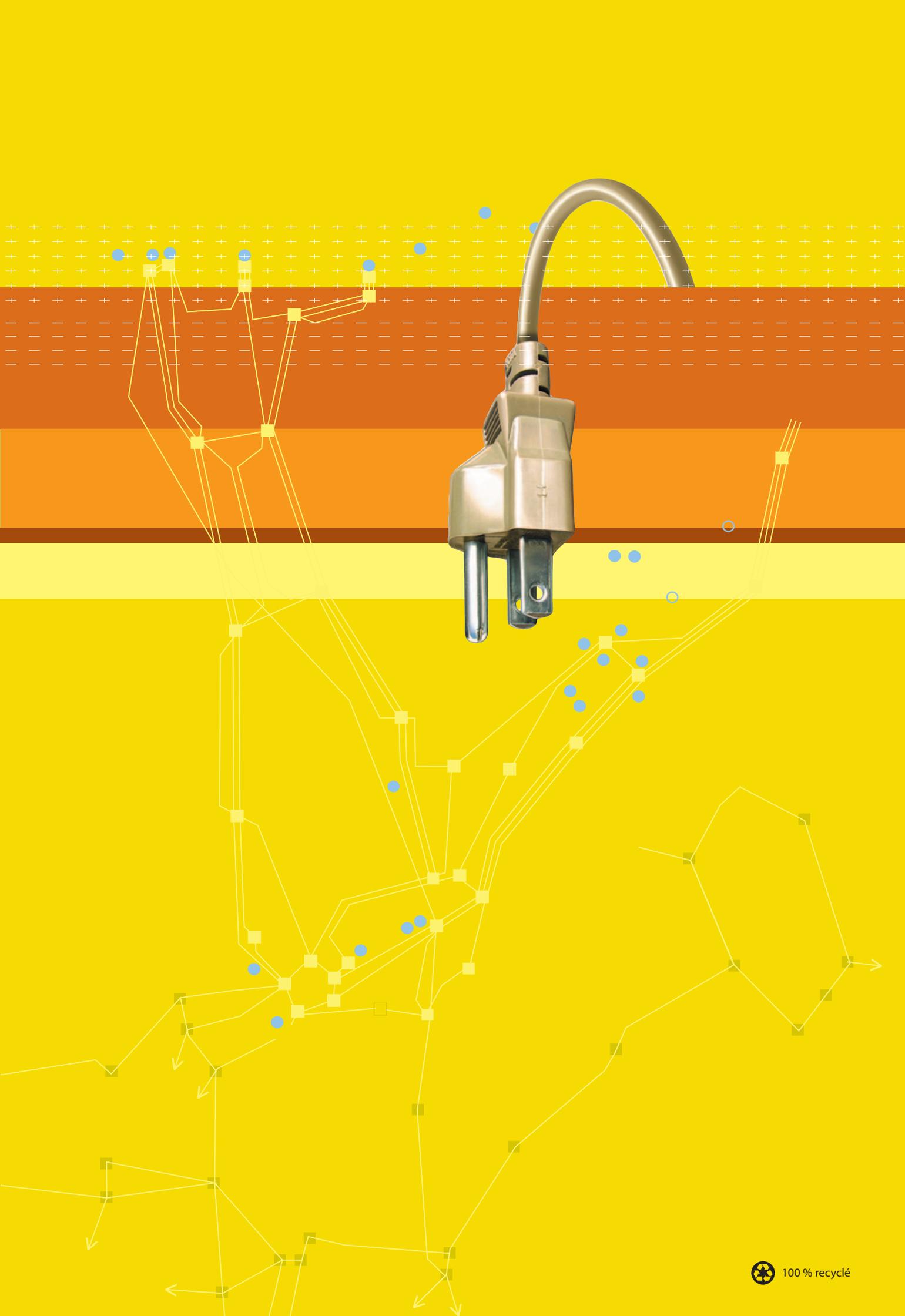
- A**
 Alternateur /12, 18, 19, 20, 21, 24, 25/
 Ampère /4/
 Ampère, André-Marie /4/
 Anguille électrique /7/
 Archambault, Jean-Jacques /34, 46/
 Ampoule /7, 43, **45**, 46/
 fluocompacte /45/
 Atome /5, 25/
- B**
 Balbuzard pêcheur /37/
 Barrage /9, **14-15**, 17, 18, 22, 27, 46, 47/
 Biomasse /12, 27/
 Bourassa, Robert /9/
- C**
 Caribou /22/
 Câble /28, 29, 32, 33, 36, 40, 42/
 Centrale
 à turbines à gaz /24, 25/
 au gaz naturel à cycle combiné /25/
 diesel /12, 24/
 hydroélectrique /9, 11, 12, 13, **18-19**, 22, 25/
 nucléaire /11, 20, 24, 25, 47/
 thermique /11, 12, 20, **24-25**, 27, 39/
 Chambre d'équilibre /19, 22/
 Champs électriques et magnétiques /35/
 Chauffage /26, 27, 44, 45/
 Charbon /11, 12, 24, 25, 44/
 Chauffe-eau /42, 44, 45, 46/
 Choc électrique /6, 37, 38, 40, 46/
 Circuit /5, 36, 42/
 Combustible fossile /11, 24/
 Compteur /41, 42, 43/
 Conducteur /4, 5, 6, 29, 32, **33**, 35, 38, 40, 41/
 Conduite du réseau /**36**/
 Construction /9, 15, **22-23**, 30, 34, 46/
 Courant alternatif /4, **5**, 20, 21, 29, 30, 31, 35, 40/
 continu /**5**, 31, 33/
 Courtage en énergie /19/
 Crépitement /29/
 Cycle hydrologique /**13**/
- D**
 Débit /4, **13**, 14, 17, 18, 20, 27, 29, 47/
 Demande /12, 16, 18, 19, 24, 26, 36, 37, 39, 42/
 Développement durable /**11**, 14, 22, 46/
 Déversoir /17/
 Digue /14, 15, **22**/
 Disjoncteur /35, 42, 43/
 Distribution de l'électricité /39, **40**/
- E**
 Eau douce /10/
 Éclairage /8, 44, 45/
 Écureuil /40/
 Edison, Thomas Alva /8, 31, 45/
 Effet couronne /**29**, 33/
 Efficacité énergétique /**44**, 45/
 Électricité
 d'origine électrochimique /5/
 d'origine électromagnétique /5/
 dynamique /5/
 statique /5, 6, 7, 46/
 Électroménagers /44, 45/
 Électron /4, 5, 16, 21, 29, 30, 46/
 Émissions /11, 18, 25/
 Énergie
 non renouvelable /44/
 renouvelable /12, 13, 26/
 Entretose /33/
 Environnement /14, 16, 22, 40, 46/
 Éolienne /12, 26, 27/
 Équilibre offre-demande /39/
 Évacuateur de crues /17, 22/
- F**
 Faraday, Michael /6, 21/
 Faisceau de conducteurs /**29**, 32, **33**/
 Force motrice de l'eau /12, **13**, 18, 30/
 Foudre /6, 7, 32, 33, 46/
 Francis, James Bicheno /20/
 Franklin, Benjamin /6, 46/
- G**
 Gaz à effet de serre /**11**, 18, 25/
 Géothermie /12, 27/
 Gestion de l'eau /**16**/
 Groupe turbine-alternateur /6, 9, 12, 16, 17, 19, **20-21**, 22, 47/
- H**
 Haug Ti /6/
 Hauteur de chute /13, 18, 19, 20, 47/
 Hertz /**20**/
 Hertz, Heinrich /20/
 Hydroélectricité /9, 10, **11**, 12, 16, 24, 38/
 Hydrolienne /**27**/
- I**
 Induction /6, 21/
 Innovation technologique /13, 34, 41, 45, 46/
 Institut de recherche d'Hydro-Québec /7, 13, 14, 30, 34, 41, 45, 46/
 Interrupteur /38, 42, 43/
 Interconnexion /31, 36, 37/
 Isolant /5, 30, 33, 35, 45/
- J**
 Johnson, Daniel /15/
- K**
 Kaplan, Viktor /20/
- L**
 La Grande, complexe /9, 13, 15, 16, 22, 23, 33/
 La Grande, rivière /13, 34/
 Ligne /9, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 40, 41, 46, 47/
- M**
 Maîtrise de la végétation /40/
 Manic-Outardes, complexe /9, 16, 33, 47/
 Mise à la terre /40, 42/
 Moraine /15/
- O**
 Offre /37/
 Ohm /4/
 Ohm, Georg Simon /4/
 Oiseau /37, 40/
 Ouvrage de retenue /13, **14-15**, 16, 17, 23/
- P**
 Panneau de distribution /41, 42/
 Pelton, Lester /20/
 Pile /4, 5, 6, 46/
 Poissons électriques /7/
- Poste de départ /22, 28, 30, 31, 32, 35/
 satellite /28, 30, 32, 40/
 source /28, 29, 31, 32, 40/
 stratégique /31/
 Poteau /28, 30, 37, 40, **41**/
 Production de l'électricité /**12**/
 Puissance installée /9, 18, **19**, 23, 25, 26, 27, 45/
 Pylône /6, 28, 29, **32-33**, 34, 37, 47/
- R**
 Réfection /22/
 Répartiteur /37/
 Réseau
 aérien /40/
 aéro souterrain /40/
 souterrain /40/
 Réservoir /11, 13, **14**, 15, 16, 18, 19, 22, 24, 39, 47/
 Robot /14, 34/
- S**
 Saumon /16/
 Sécurité /6, 17, 35, 36, 37, 40, 41, 42/
 Solaire /26/
- T**
 Tarif /9, 42/
 Tension
 haute /7, 29, 32, 33, 34, 35, 47/
 moyenne /40, 41/
 basse /30, 40, 41/
 Tesla, Nikola /31/
 Télécommunications /36/
 Thalès de Milet /6/
 Transformateur /6, 30, 31, 40, 41/
 Transport de l'électricité /6, **30-31**, 33, 36/
 Travail sous tension /35/
 Traversée aérienne /33/
 Turbine /11, 12, 13, 18, 19, **20**, 21, 24, 25, 26, 27, 45, 47/
- V**
 Volt /4, 7, 9, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 40, 41, 46, 47/
 Volta, Alessandro /4, 6, 46/
- W**
 Watt /4, 7, 19, 27, 39, 46/
 Watt, James /4/
 Westinghouse, George /31/

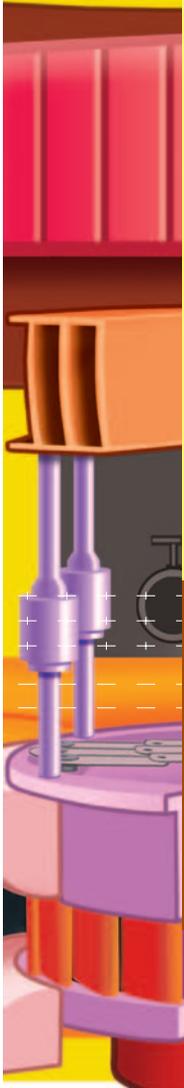
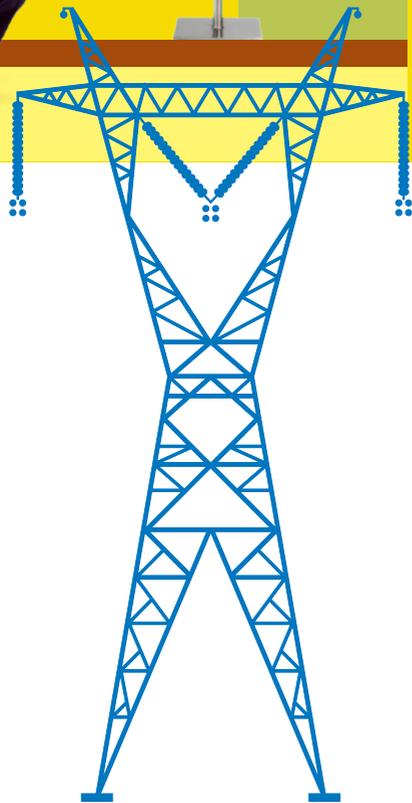
/ LISTE DES TABLEAUX

1. PRINCIPALES SOURCES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ EN AMÉRIQUE DU NORD EN 2007 /11/
2. ÉMISSIONS DES DIFFÉRENTS TYPES DE CENTRALE /11/
3. LE PARC DES OUVRAGES DE RETENUE D'HYDRO-QUÉBEC EN 2009 /14/
4. PROFIL DU BARRAGE DANIEL-JOHNSON, UN OUVRAGE COLOSSAL /15/
5. LES CINQ PRINCIPAUX RÉSERVOIRS D'HYDRO-QUÉBEC EN 2009 /16/
6. LES 12 PRINCIPALES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES DU QUÉBEC EN 2009 /18/
7. LES DIFFÉRENTES TURBINES /20/
8. LES PRINCIPALES ÉTAPES DE CONSTRUCTION /22/
9. LES CENTRALES THERMIQUES AU QUÉBEC /24/
10. LES DIFFÉRENTES INSTALLATIONS ÉNERGÉTIQUES À BIOMASSE /27/
11. LE RÉSEAU DE TRANSPORT D'HYDRO-QUÉBEC EN 2009 /31/
12. RECORDS DES PYLÔNES D'HYDRO-QUÉBEC /32/
13. LA CONVERSION DES UNITÉS DE MESURE DE L'ÉLECTRICITÉ /39/
14. LES FLUCTUATIONS QUOTIDIENNES DE LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ /39/
15. L'ÉQUIPEMENT DU RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'HYDRO-QUÉBEC EN 2009 /40/
16. LA RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ AU QUÉBEC EN 2008 /43/
17. LA CONSOMMATION RÉSIDENNELLE TYPIQUE AU QUÉBEC /44/

/ LISTE DES FIGURES

1. SIMILITUDES ENTRE L'EAU DANS UN BOYAU D'ARROSAGE ET LE COURANT ÉLECTRIQUE /4/
2. LE MOUVEMENT DES ÉLECTRONS /5/
3. COURANT CONTINU ET COURANT ALTERNATIF /5/
4. LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ DANS LE NORD-EST AMÉRICAIN /11/
5. LA PRODUCTION ÉLECTRIQUE D'HYDRO-QUÉBEC EN 2009 /12/
6. LE CYCLE HYDROLOGIQUE /13/
7. LES OUVRAGES DE RETENUE UTILISÉS PAR HYDRO-QUÉBEC /15/
8. VUE EN COUPE DE LA CENTRALE SOUTERRAINE ROBERT-BOURASSA /19/
9. VUE EN COUPE D'UN GROUPE TURBINE-ALTERNATEUR /21/
10. LES LIGNES ÉLECTRIQUES D'HYDRO-QUÉBEC EN 2009 /28/
11. LE RÉSEAU DE TRANSPORT, UN BASSIN D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE /29/
12. LE TRANSPORT DE L'ÉLECTRICITÉ : UN PARCOURS TYPIQUE /31/
13. LE PYLÔNE À HAUTE TENSION EN TREILLIS D'ACIER /32/
14. LES POSTES, DES RELAIS UTILES DANS LE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ /35/
15. L'ÉQUILIBRE OFFRE-DEMANDE À HYDRO-QUÉBEC /39/
16. LE POTEAU EN BOIS /41/
17. LE PANNEAU DE DISTRIBUTION /42/
18. LE COMPTEUR D'ÉLECTRICITÉ /43/





www.hydroquebec.com

© Hydro-Québec 2010
Réalisé par la direction – Communication d'entreprise
pour le groupe – Affaires corporatives et secrétariat général
Reproduction autorisée avec mention de la source

Dépôt légal – 4^e trimestre 2010
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
ISBN 978-2-550-60155-5

2010G1249F

