



H<sub>2</sub>O

« 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.

# 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.



V

Volt

A

Ampère

$\Omega$

Ohm

W

Watt

V / Volt, 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*.

$\Omega$  / 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 une conduite d'eau... La pression dans la conduite, c'est la tension (V), le débit de la conduite, c'est l'intensité (A), le frottement sur les parois du tuyau, c'est la résistance ( $\Omega$ ), le résultat de la pression et du débit disponible, c'est la puissance (W) et la quantité utilisée au cours d'une période, c'est l'énergie consommée (Wh).

Figure 1 / Les similitudes entre une conduite d'eau et un courant électrique



Pression = Volt

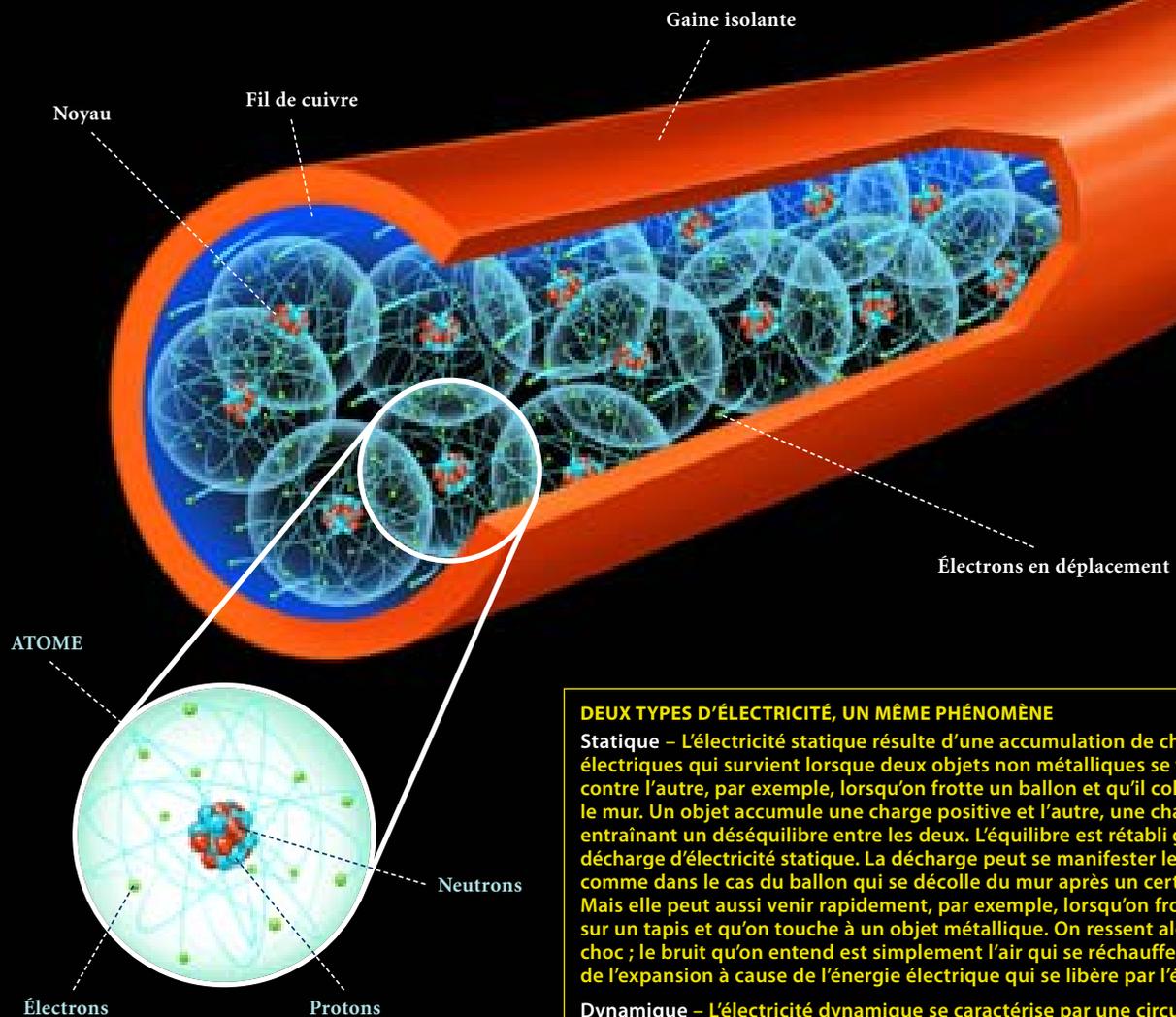
Débit = Ampère

Frottement = Ohm

Pression x débit = Watt

**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, la largeur d'un seul cheveu en contient plus d'un million! L'atome est constitué d'un noyau autour duquel on trouve un certain nombre d'électrons. Un électron est une particule 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 électrons 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**

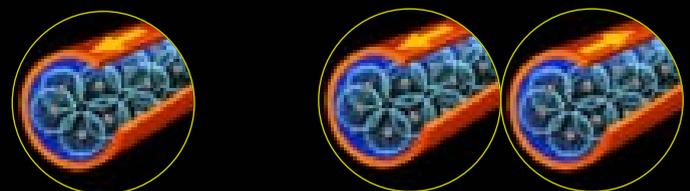
**Statique** – L'électricité statique résulte d'une accumulation de charges électriques qui survient lorsque deux objets non métalliques se frottent l'un contre l'autre, par exemple, lorsqu'on frotte un ballon et qu'il colle contre le mur. Un objet accumule une charge positive et l'autre, une charge négative, entraînant un déséquilibre entre les deux. L'équilibre est rétabli grâce à une 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 venir 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 simplement l'air qui se réchauffe et qui prend de l'expansion à cause de l'énergie électrique qui se libère 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 grâce à une réaction chimique qui engendre un mouvement d'électrons dans un sens du conducteur, par exemple, du pôle négatif vers le pôle positif d'une pile. On appelle ce courant électrique un *courant continu*.

L'électricité d'origine électromagnétique déclenche un mouvement d'électrons en déplaçant 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 un courant continu, les électrons se déplacent dans une seule direction.

Dans un courant alternatif, les électrons vont dans les deux directions, car ils sont influencés successivement par le pôle nord et le pôle sud de l'aimant. En fait, le courant alternatif change de direction 120 fois par seconde !

## Survol historique de l'électricité



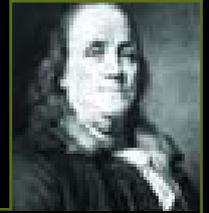
600 ANS AV. J.-C.

Le mathématicien grec Thalès de Milet découvre qu'un morceau d'ambre jaune frotté sur sa tige 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 réfère pour la première fois aux 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 les fondements électriques 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 engendre 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 =

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 ses précautions, par exemple :

- faire fonctionner tous vos appareils électriques (sèche-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 électrique, se tenir à l'écart de l'eau et des grands objets, 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

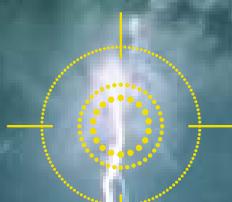
La foudre est essentiellement de l'électricité statique causée par le frottement des gouttelettes d'eau dans l'air, mais en des concentrations gigantesques. La foudre et le tonnerre se produisent simultanément, mais la foudre se propage à peu près à la vitesse de la lumière tandis que le tonnerre circule à la vitesse du son, environ 866 000 fois plus lente que celle de la lumière, ce qui explique le délai entre les deux phénomènes.

## Les poissons électriques

Certaines espèces de poissons, tels 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 d'un éclair peut atteindre 30 millions de volts — l'équivalent de 2,5 millions de piles de voitures!

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

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 », décrira le journal *La Minerve* dans son édition du lendemain. La même année, l'américain Thomas Alva Edison améliore la lampe à incandescence, qu'il commercialisera quelque 10 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. En effet, la *Montreal Light, Heat and Power Company* veut tirer profit des immenses possibilités d'expansion qu'offre le marché de l'électricité. L'entreprise 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 dès le début du siècle. 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 de 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 porte sur la construction de deux centrales hydroélectriques, soit Bersimis-1 et Bersimis-2. Cela donne à Hydro-Québec 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 huit 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<sup>er</sup> mai, Hydro-Québec fait l'acquisition des huit derniers producteurs et distributeurs privés d'électricité. Quarante-cinq des quarante-six coopératives d'électricité ainsi que de nombreux réseaux municipaux accepteront aussi l'offre qui leur est faite par la suite. 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 ; cette même année, l'ensemble de l'aménagement hydroélectrique La Grande-2 porte dorénavant 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.

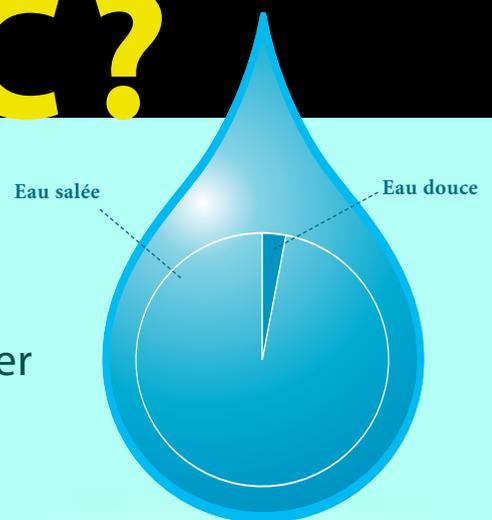
### 2002 – NOUVEL EFFORT DE DÉVELOPPEMENT

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.

# POURQUOI EN FAIT-ON BEAUCOUP AVEC DE L'EAU 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. Du 2,5 % restant, qui représente les réserves en eau douce, seulement le tiers est exploitable.



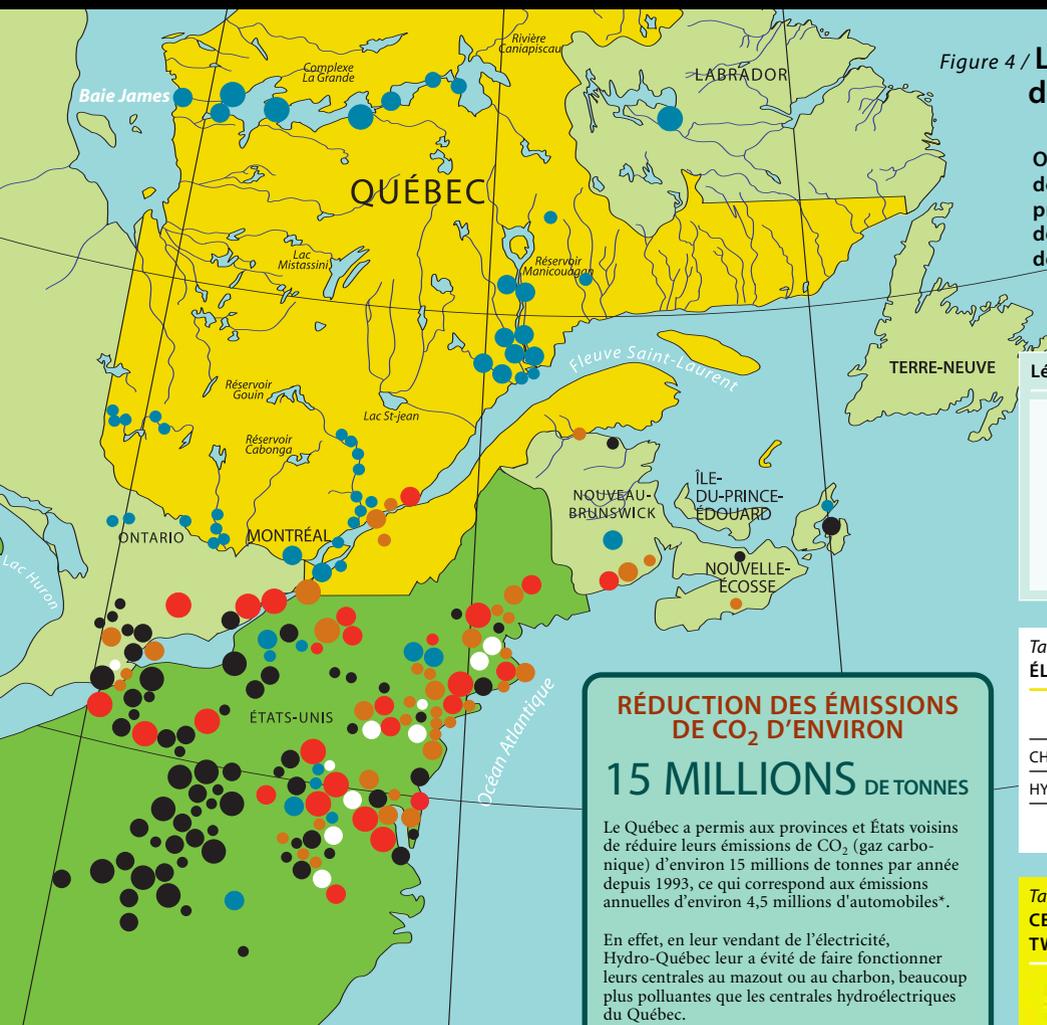


Figure 4 / La production d'électricité dans le Nord-Est américain

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

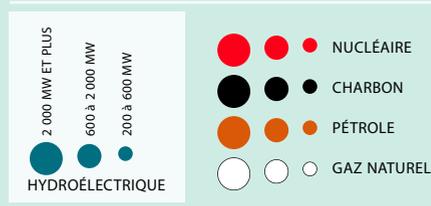


Tableau 1 / LE CHARBON CONTRE L'HYDRO-ÉLECTRICITÉ EN AMÉRIQUE DU NORD

	ÉTATS-UNIS	CANADA	QUÉBEC
CHARBON	51 %	19 %	0 %
HYDROÉLECTRICITÉ	9 %	60 %	97 %

### RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> D'ENVIRON

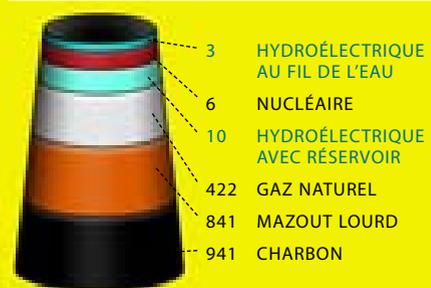
## 15 MILLIONS DE TONNES

Le Québec a permis aux provinces et États voisins de réduire leurs émissions de CO<sub>2</sub> (gaz carbonique) d'environ 15 millions de tonnes par année depuis 1993, ce qui correspond aux émissions annuelles d'environ 4,5 millions d'automobiles\*.

En effet, en leur vendant de l'électricité, Hydro-Québec leur a évité de faire fonctionner leurs centrales au mazout ou au charbon, beaucoup plus polluantes que les centrales hydroélectriques du Québec.

\*Source : Hydro-Québec réduit la pollution chez ses voisins, Hydro-Québec, direction - Environnement, 2000.

Tableau 2 / ÉMISSIONS DES DIFFÉRENTS TYPES DE CENTRALES (EN MILLIERS DE TONNES DE CO<sub>2</sub> PAR TWh PRODUIT)\*



\*Extrait d'une étude présentant des résultats typiques pour l'Amérique du Nord pour une même quantité d'énergie produite. Chacun des GES étudiés a été converti en équivalent CO<sub>2</sub>. Cette étude dite d'analyse de cycle de vie, réalisée en 2001 par Hydro-Québec, tient compte de toutes les émissions d'un système énergétique, de sa construction à l'arrêt de son exploitation.

**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 (CO<sub>2</sub>), 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 dans le monde. On y dénombre plus de 130 000 cours d'eau et un million de lacs. Plus de 40 % des ressources hydrauliques du Canada se trouvent au Québec. Ses nappes d'eau en 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 jusqu'à la dernière goutte.

## 2 Une faible source d'émissions

Les systèmes énergétiques génèrent de grandes quantités de polluants; parmi ces polluants, il y a des gaz à effet de serre (GES). Cependant, l'hydroélectricité figure parmi les formes d'énergie les moins polluantes; selon le tableau ci-dessus, une centrale hydroélectrique produit 94 fois moins de GES qu'une centrale au charbon. La faible contribution aux GES fait de l'hydroélectricité un excellent moyen de lutter contre le changement climatique tout en assurant le développement durable.

Filière hydroélectrique

**51 centrales hydroélectriques** comptent pour 97% de la production d'Hydro-Québec.

Autres modes de production

**29 centrales thermiques** et **1 installation d'éoliennes** fournissent les 3% restants.

LE TERME GREC  
HYDRO  
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

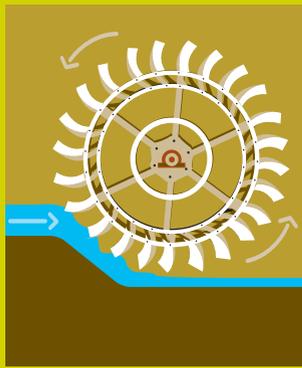
Le Québec emploie surtout *la force motrice de l'eau* pour produire de l'électricité. Abondante sur le territoire québécois, propre et efficace, l'hydroélectricité est aussi avantageuse parce qu'elle est une énergie renouvelable. Dans les centrales hydroélectriques, l'eau fait tourner d'énormes turbines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

## L'ÉNERGIE DE LA BIOMASSE

On entend par biomasse des matériaux combustibles qui résultent de la décomposition de cellules vivantes. Il est possible de produire un gaz, dont le méthane, à partir de ces substances, ou de les brûler pour produire de la chaleur. Au Québec, il existe de la tourbe en grande quantité qu'il pourrait être rentable un jour d'exploiter à des fins énergétiques.

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.

Tableau 3 / LES DIFFÉRENTES INSTALLATIONS ÉNERGÉTIQUES À BIOMASSE

#### CENTRALES BIOGAZ MÉTHANISEURS

- GAZ PRODUITS NATURELLEMENT, NOTAMMENT DANS DES SITES D'ENFOUISSEMENT DE DÉCHETS

#### CENTRALES THERMIQUES À BIOMASSE

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

# Les ouvrages de retenue

Les ouvrages de retenue servent, entre autres, à créer de gros plans d'eau, ou réservoirs, qui ont divers usages, notamment l'irrigation de terres, la production d'électricité, l'alimentation en eau et le contrôle des crues. Les réservoirs sont réalisés 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 ainsi créer un plan d'eau de niveau plus élevé. Souvent, un barrage est appuyé par des digues qui, 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 de l'Environnement du Québec est le propriétaire du plus grand nombre de barrages au Québec; Hydro-Québec exploite seulement le dixième de ce parc d'équipements. Plusieurs autres propriétaires de barrages, notamment des municipalités, des pourvoiries et des entreprises comme Alcan, sont également impliqués tant dans l'exploitation des barrages et digues que dans la gestion des plans d'eau ainsi formés.

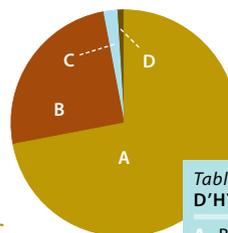


Tableau 4 / LE PARC DE BARRAGES D'HYDRO-QUÉBEC EN 2002

A	BARRAGES EN REMBLAI (EN TERRE ET EN ENROCEMENT)	72 %
B	BARRAGES-POIDS (EN BÉTON)	25 %
C	BARRAGES EN BOIS	2 %
D	BARRAGES-VOÛTE (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 45 000 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. Sur les 793 grands barrages érigés au Canada, 226, soit un peu plus du quart, sont situés au Québec.

Tableau 5 / LE CLASSEMENT MONDIAL EN MATIÈRE DE GRANDS BARRAGES\*

1	CHINE	22 000
2	ÉTATS-UNIS	6 575
3	INDE	4 291
4	JAPON	2 675
5	ESPAGNE	1 196
6	CANADA	793
7	CORÉE DU SUD	765
8	TURQUIE	625
9	BRÉSIL	594
10	FRANCE	569

\*Source: Barrages et développement, Commission mondiale des barrages, 2000.



HYDRO-QUÉBEC EXPLOITE PLUS DE 550 DIGUES ET BARRAGES, DONT

# 226

SONT CLASSÉS GRANDS BARRAGES

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



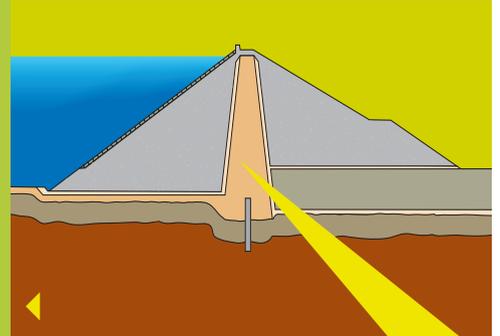
### 3. Barrage en remblai en terre



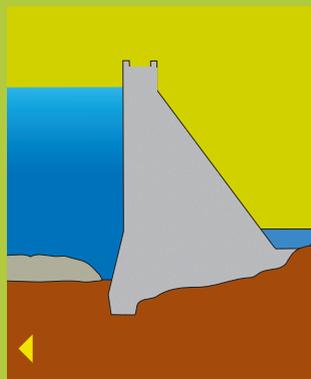
La capacité de retenue du barrage en enrochement du réservoir Robert-Bourassa, soit 61,7 milliards de mètres cubes, se classe au 11<sup>e</sup> rang mondial.

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

### 4. Barrage en remblai en enrochement



### 5. Barrage-poids (en béton)



#### LA MORAINE 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 tirée des débris qui ont été laissés lors du passage des glaciers. Elle 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'INGÉNÉRIE

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.

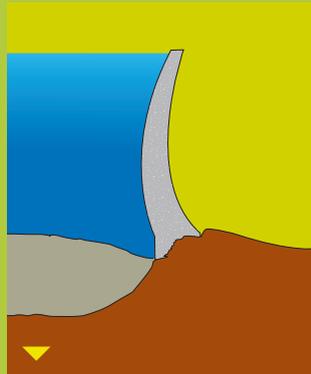


Tableau 6 / PROFIL DU BARRAGE DANIEL-JOHNSON, UN OUVRAGE COLOSSAL

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

#### FAITS SAILLANTS :

- ▮ PLUS HAUT BARRAGE À VOÛTES MULTIPLES ET À CONTREFORTS AU MONDE
- ▮ 2<sup>E</sup> PLUS HAUT BARRAGE AU CANADA
- ▮ 5<sup>E</sup> PLUS GRAND RÉSERVOIR AU MONDE
- ▮ 28<sup>E</sup> PLUS HAUT BARRAGE AU MONDE, TOUTES CATÉGORIES CONFONDUES

### 6. Barrage-voûte (en béton)



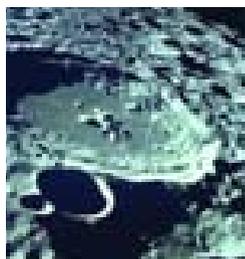
# La gestion de l'eau

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. Rodasat International

### LE RÉSERVOIR MANICOUAGAN : À L'ORIGINE, UN MÉTÉORITE

Il y a 214 millions d'années, la chute d'un important astéroïde au sol 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 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 conçoit des mesures d'atténuation efficaces, comme la passe migratoire à saumons illustrée ci-dessus.

Manicouagan

139,8 milliards de m<sup>3</sup>

Robert-Bourassa

61,7 milliards de m<sup>3</sup>

La Grande 3

60,0 milliards de m<sup>3</sup>

Caniapiscou

53,8 milliards de m<sup>3</sup>

Aux Outardes 4

24,3 milliards de m<sup>3</sup>

## D'immenses réserves d'énergie

Hydro-Québec possède 24 grands réservoirs. De véritables mers intérieures, elles présentent une capacité maximale de stockage de 170 milliards de kWh, soit l'équivalent des besoins du Québec entier pendant un an.

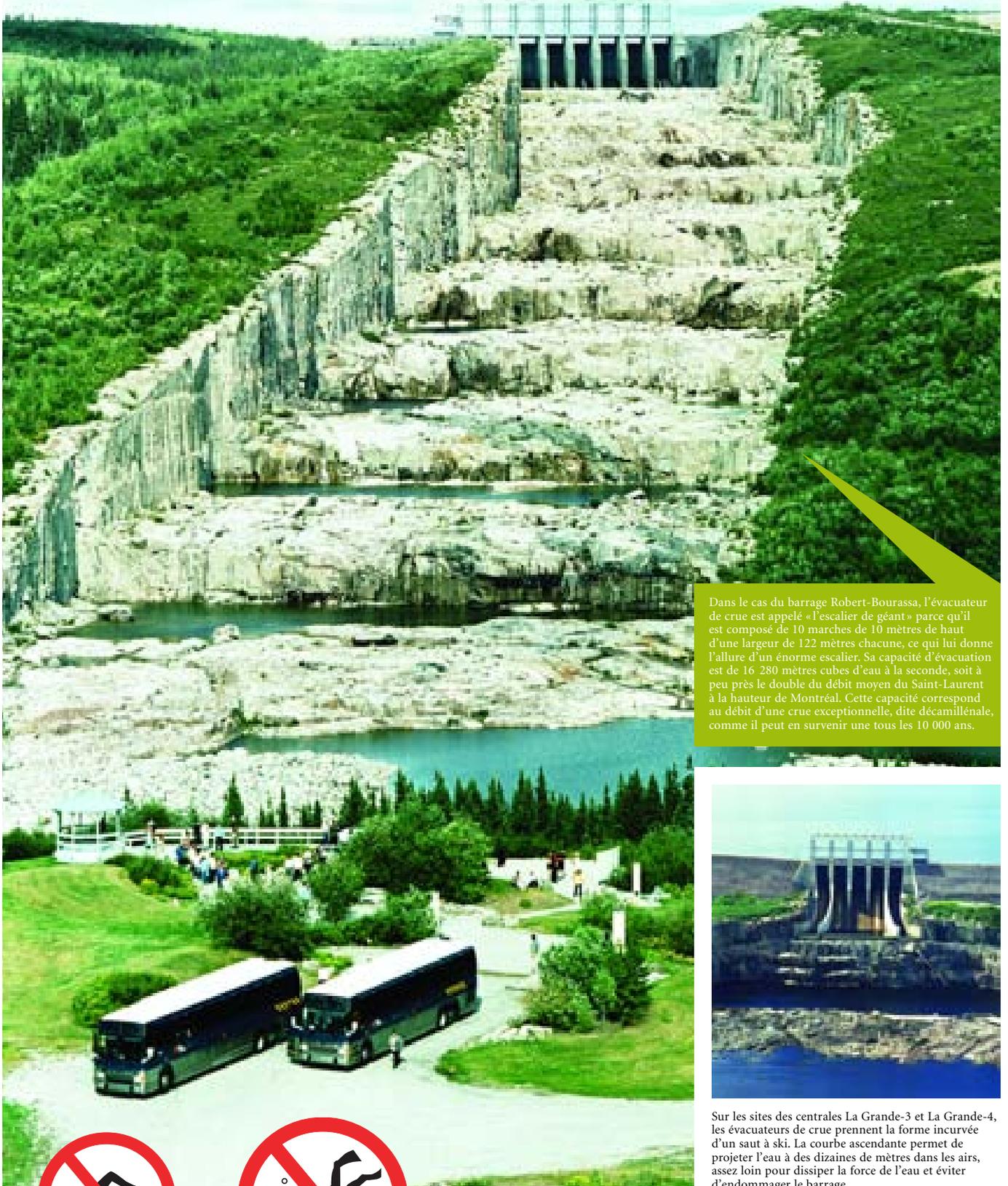


Tableau 7 / LES CINQ PRINCIPAUX RÉSERVOIRS D'HYDRO-QUÉBEC

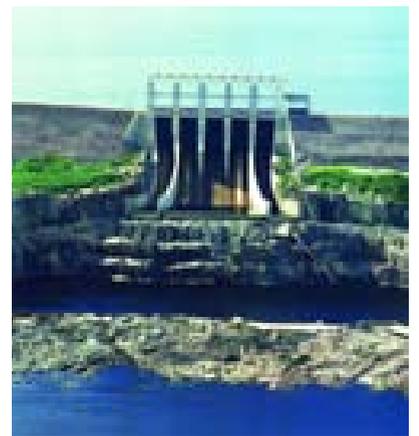
RÉSERVOIR	COMPLEXE HYDROÉLECTRIQUE	VOLUME POUR GÉNÉRER DE L'ÉLECTRICITÉ (EN MILLIARDS DE MÈTRES CUBES - km <sup>3</sup> )	VOLUME TOTAL (EN MILLIARDS DE MÈTRES CUBES - km <sup>3</sup> )	SUPERFICIE DU RÉSERVOIR (km <sup>2</sup> )
CANIAPISCAU	LA GRANDE	39,0	53,8	4 318
MANICOUAGAN	MANIC-OUTARDES	35,2	139,8	1 973
LA GRANDE 3	LA GRANDE	25,2	60,0	2 536
ROBERT-BOURASSA	LA GRANDE	19,4	61,7	2 815

## Les évacuateurs de crue

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



Dans le cas du barrage Robert-Bourassa, l'évacuateur de crue 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 décennelle, 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 crue prennent la forme incurvée d'un saut à ski. La courbe ascendante permet de projeter l'eau à des dizaines de mètres dans les airs, assez loin pour dissiper la force de l'eau et éviter d'endommager le barrage.



Baignade interdite



Interdit aux embarcations



Plongée en apnée interdite

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 crue – qu'ils soient exploités par Hydro-Québec ou par d'autres intervenants. Même si le plan d'eau est d'apparence calme, le danger est réel sous l'eau.

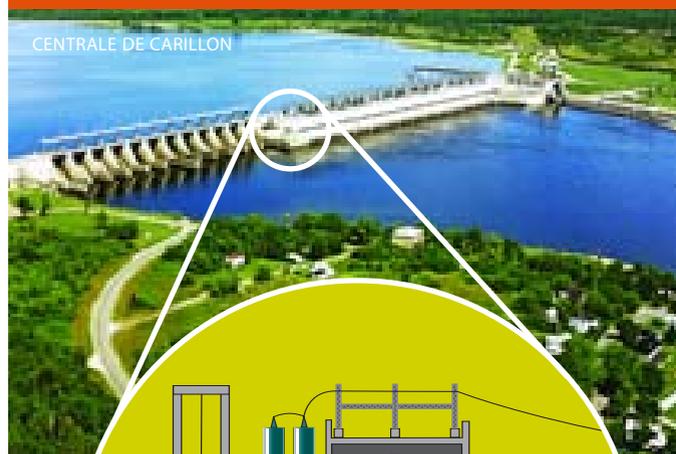
De la turbulence et des forces d'aspiration peuvent entraîner les baigneurs et les plaisanciers vers le fond. De plus, le débit de l'eau peut augmenter de façon soudaine, car on peut à tout moment actionner les groupes turbines-alternateurs ou bien ouvrir les portes de l'évacuateur, selon les manœuvres nécessaires à l'opération 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 51 centrales hydroélectriques et son accès à des réserves d'eau abondantes, produit la presque totalité de son électricité – 97 % en 2002 – à partir de l'eau, ce qui contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

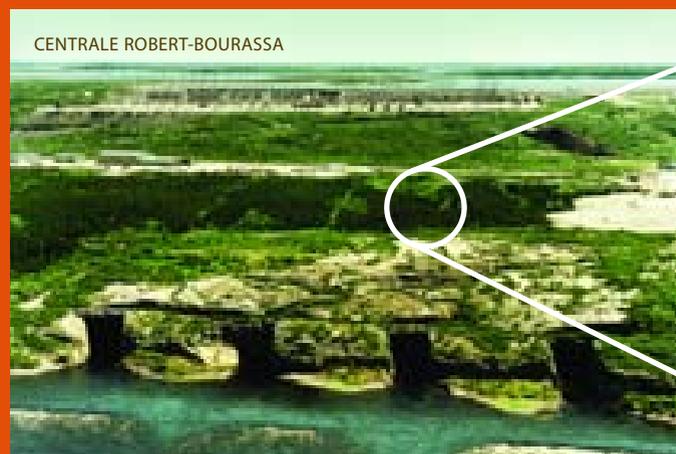
## Centrale au fil de l'eau

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 installée près d'un barrage, soit en surface, soit sous terre, qui présente une hauteur de chute assez importante ; à cause de sa capacité de moduler l'apport en eau de son réservoir, ce type de centrale dispose d'une souplesse accrue pour répondre 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, situé plus haut que la centrale, afin de returbiner l'eau en période de forte demande d'électricité.

## CENTRALE MARÉMOTRICE

Ce type de centrale utilise la force des marées pour produire de l'électricité. À marée montante, l'eau de l'océan pénètre dans un bassin de retenue ; quand celui-ci est plein, les vannes de son barrage sont fermées. Ensuite, à marée basse, d'autres vannes sont ouvertes et l'eau retourne à la mer en actionnant des turbines au passage.

Tableau 8 / LES 12 PLUS IMPORTANTES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES AU QUÉBEC EN 2002 (SELON LEUR PUISSANCE INSTALLÉE EN HIVER EN kW)

1 ROBERT-BOURASSA 5 616 000	2 LA GRANDE-4 2 778 750	3 LA GRANDE-3 2 418 059	4 LA GRANDE-2-A 2 106 000	5 BEAUHARNOIS 1 652 380	6 MANIC-5 1 527 600
7 LA GRANDE-1 1 436 400	8 MANIC-3 1 244 400	9 BERSIMIS-1 1 124 803	10 MANIC-5-PA 1 064 000	11 MANIC-2 1 023 930	12 LAFORGE-1 877 800

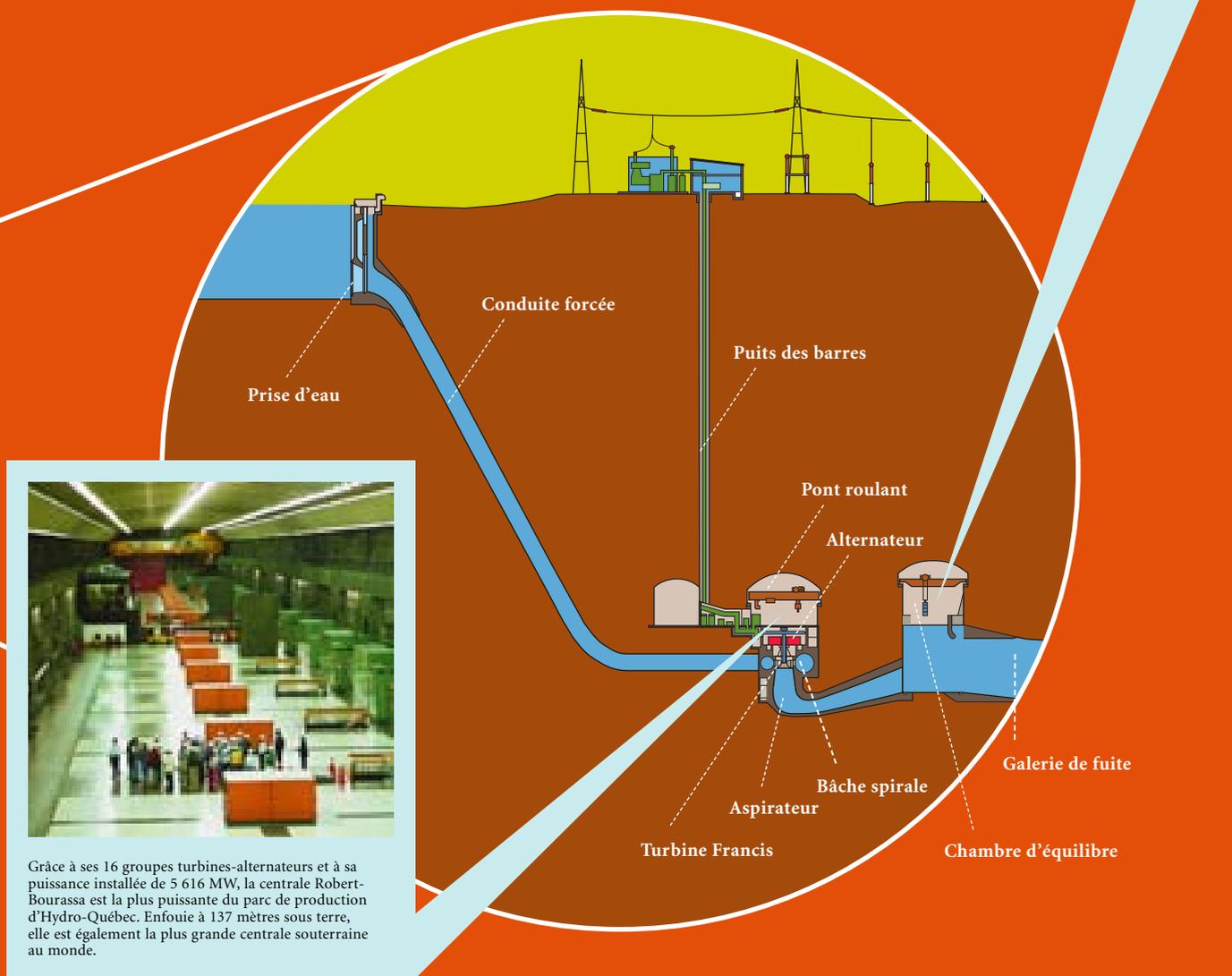
## Une hauteur de chute plus haute que la tour Eiffel!

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, incluant 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 peut se mesurer en été ou en hiver.

### LE COURTAGE EN ÉNERGIE, UNE PROFESSION ÉLECTRISANTE

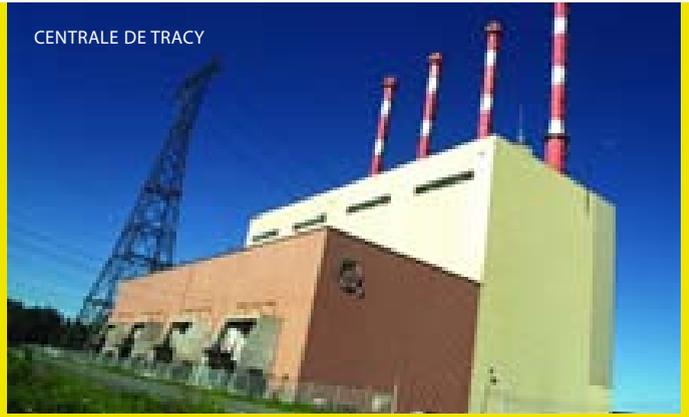
À Hydro-Québec, les courtiers en énergie achètent et vendent de l'électricité au meilleur prix possible, 24 heures sur 24. En achetant de l'électricité lorsque les prix sont bas, ils permettent aux centrales à réservoir de réduire leur production et d'emmagasiner ainsi leur eau. En réalisant des ventes 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.



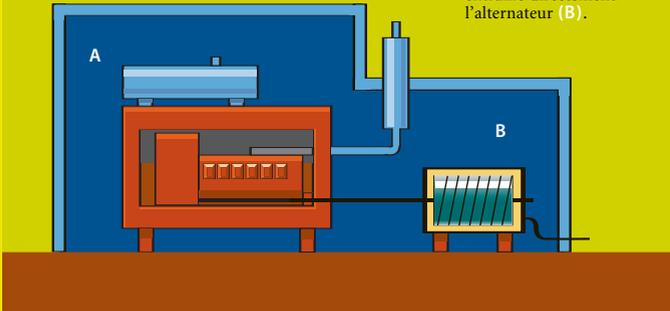
CENTRALE DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE



CENTRALE DE TRACY



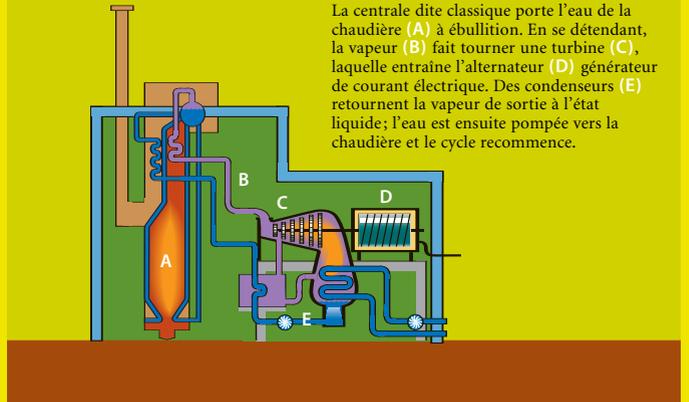
Ce type de centrale ne comporte pas de turbine; l'énergie mécanique créée par le moteur diesel (A) entraîne directement l'alternateur (B).



### 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 et plus polluantes à exploiter que les installations hydroélectriques. Malgré leur faible contribution à la production totale d'électricité d'Hydro-Québec – environ 3% en 2002 – 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.



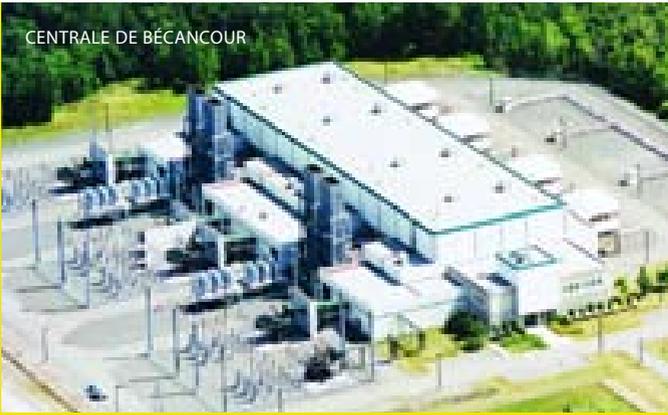
Tableau 9 / LES CENTRALES THERMIQUES AU QUÉBEC

TYPE DE CENTRALE	NOMBRE
À TURBINES À GAZ	3
NUCLÉAIRE	1
THERMIQUE CLASSIQUE	1
DIESEL	24

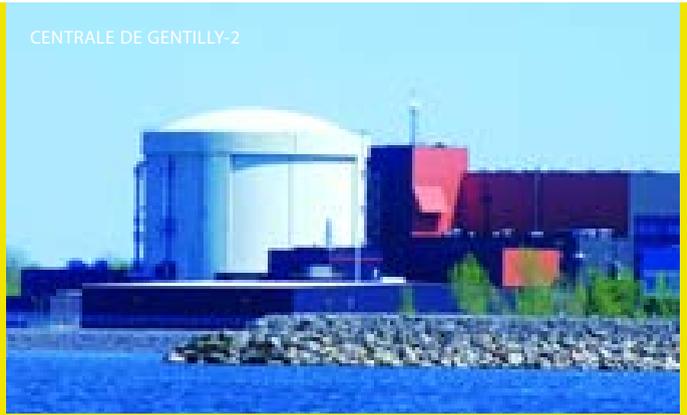
## Le rôle du thermique à Hydro-Québec

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 la production d'hydroélectricité est insuffisante.

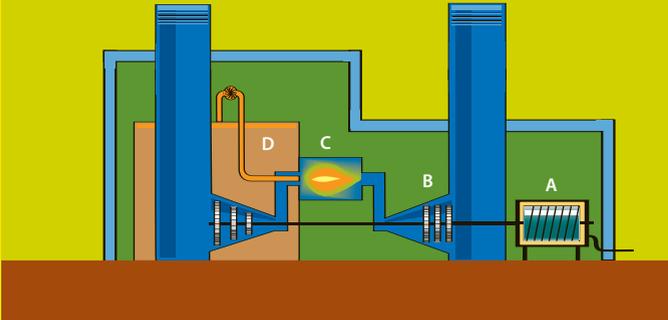
CENTRALE DE BÉCANCOUR



CENTRALE DE GENTILLY-2



L'alternateur (A) d'une centrale à turbines à gaz est entraîné par une turbine (B) constituée d'une roue à ailettes. C'est la poussée exercée sur les ailettes par la détente d'un mélange gazeux (C) qui fait tourner la turbine. On obtient le mélange gazeux en faisant brûler du mazout léger (D) en présence d'air comprimé.



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 elle-même fait tourner un alternateur (D). La vapeur se condense et retourne aux générateurs de vapeur (E), puis le cycle recommence.



### 3. Centrale à turbines à gaz

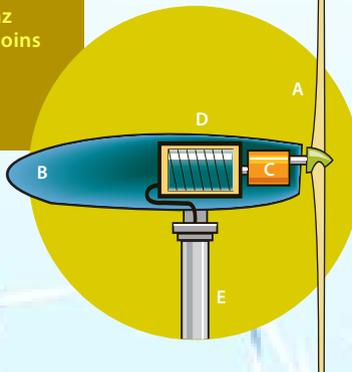
Les centrales à turbines à gaz utilisent habituellement comme combustible le mazout léger ou le gaz naturel. Elles portent ce nom parce que c'est le gaz de la combustion qui actionne la turbine. Elles servent uniquement à la production d'énergie de pointe en

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.

#### 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.

Chacune des trois éoliennes d'Hydro-Québec possède trois pales (A) en fibre de verre reliées à une nacelle (B) abritant la turbine (C) et l'alternateur (D), laquelle est montée sur une tour tubulaire en acier (E) de 55 mètres de haut.



### 4. Centrale nucléaire

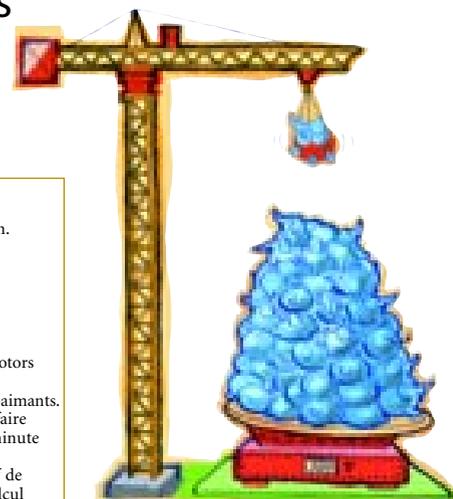
Les centrales nucléaires font appel à la fission d'atomes pour produire de la vapeur, laquelle alimente une turbine. Ces centrales ont l'avantage d'émettre très peu de gaz à effet de serre. Hydro-Québec en exploite une seule, Gentilly-2, depuis 1983. Située près de Trois-Rivières, sa puissance installée 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.

## La capacité éolienne d'Hydro-Québec

Les éoliennes exploitent la force 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, les installations éoliennes produisent de l'électricité seulement lorsqu'il vente suffisamment, de sorte que la production peut cesser pendant plusieurs heures, voire quelques jours à la fois. Hydro-Québec exploite depuis juillet 2001 un banc d'essai éolien situé à Saint-Ulric, près de Matane, comprenant trois turbines de 750 kilowatts chacune. Pour favoriser l'émergence d'une industrie éolienne québécoise, Hydro-Québec a notamment conclu une entente pour l'achat d'énergie produite par deux parcs de production éoliens privés situés en Gaspésie, dont les 133 éoliennes affichent une puissance installée totale de 100 mégawatts.

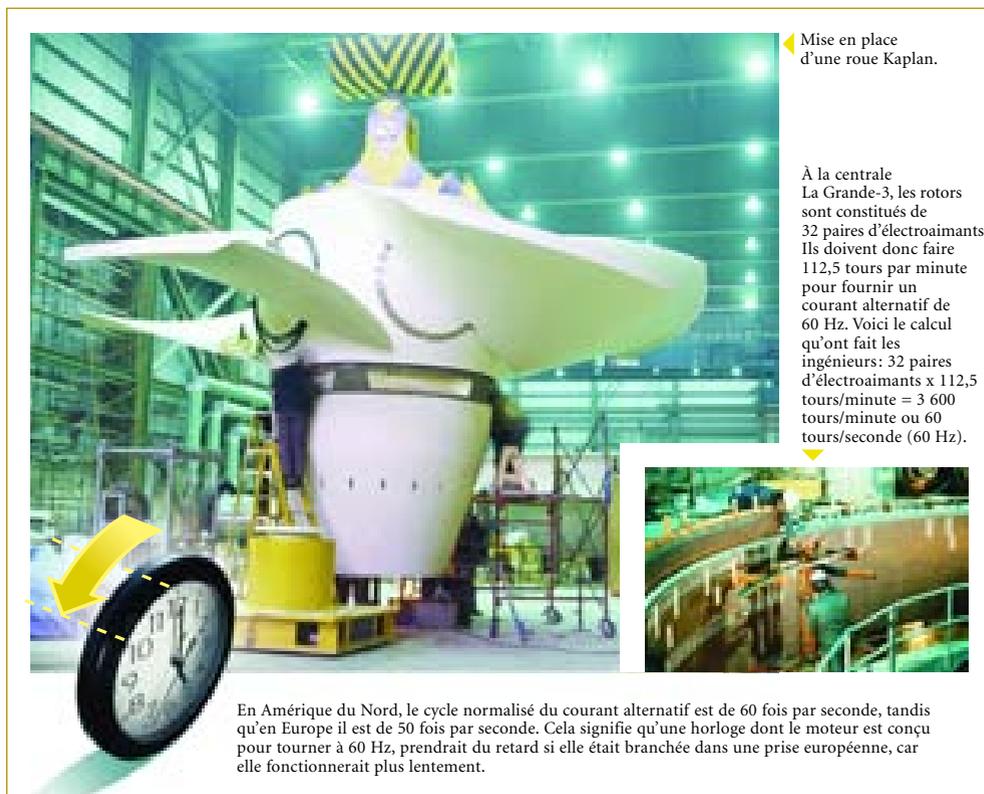
# Les groupes turbines-alternateurs

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. Dans les installations hydroélectriques, on parle alors 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'électroaimants. 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'électroaimants x 112,5 tours/minute = 3 600 tours/minute ou 60 tours/seconde (60 Hz).



En Amérique du Nord, le cycle normalisé du courant alternatif est de 60 fois par seconde, tandis qu'en Europe il est de 50 fois par seconde. Cela signifie qu'une horloge dont le moteur est conçu pour tourner à 60 Hz, prendrait du retard si elle était branchée dans une prise européenne, 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, c'est-à-dire qu'ils maintiennent très exactement leur vitesse de rotation. Pourquoi ? Afin de produire une énergie électrique de bonne qualité. Les appareils qui consomment de l'électricité sont conçus en fonction d'un courant alternatif de fréquence spécifique. 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 démontra l'existence des ondes radio.

Tableau 10 / 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



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.

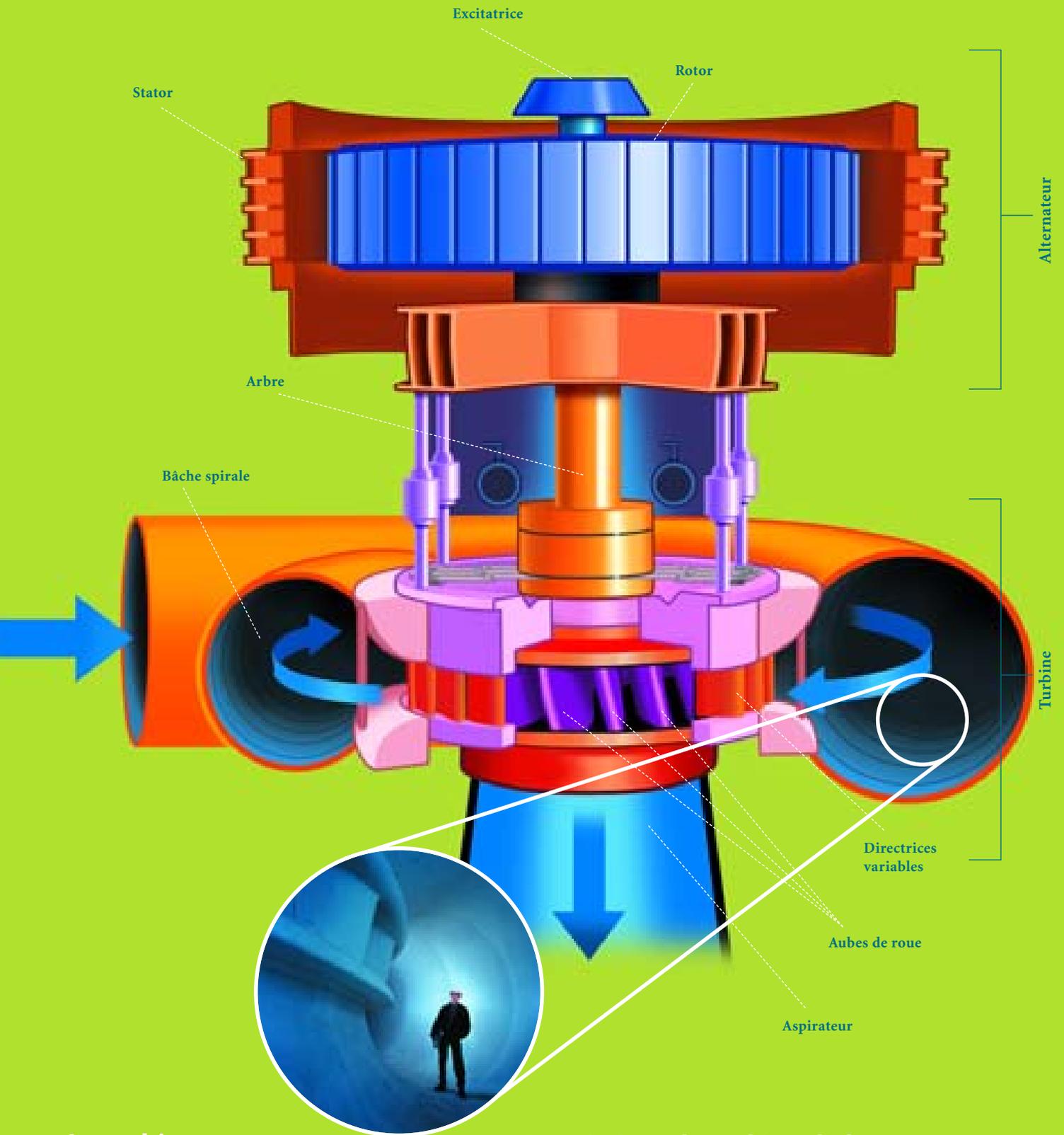
### TURBINE À VAPEUR

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 à cause du mouvement de l'eau

Dans ce groupe turbine-alternateur, l'eau arrive par la conduite forcée vers la bêche spirale (conduit en colimaçon) et se dirige sur le pourtour de la roue pour pousser les aubes. L'eau file ensuite vers l'axe de la turbine pour enfin s'écouler dans l'aspirateur situé en-dessous. Le puissant effort mécanique exercé par l'eau sur la turbine est transmis à l'alternateur qui, lui, 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, un peu comme dans l'expérience de Faraday en 1831 portant sur l'induction électromagnétique, mais en très grand format.

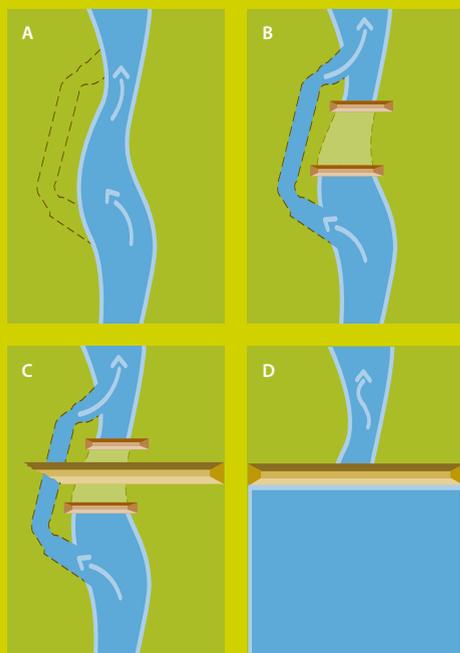
## Trois grandes conditions

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 11 / LES PRINCIPALES ÉTAPES DE CONSTRUCTION

- CHOIX DU SITE.
- RÉALISATION D'ÉTUDES D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL APPROFONDIES.
- 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 CRUE.
- 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. Il est parfois plus avantageux de recommencer à neuf, comme dans le cas de la centrale de Grand-Mère.



Hydro-Québec a entrepris en 1994 des travaux de 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, de sorte que la centrale réussit à produire de l'électricité en maintenant un facteur d'opération de près de 90%.

## L'ENVIRONNEMENT, UNE PRIORITÉ

Hydro-Québec réalise des études d'impact au tout début d'un projet pour en évaluer les incidences sur l'environnement et en atténuer les effets. Cet effort est accompagné d'un suivi environnemental durant et après la phase de construction, ainsi que d'activités de mise en valeur du site. Les connaissances qu'elle a acquises depuis plus de 30 ans, notamment 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 du logement des travailleurs et des autres services au camp. Il faut également prévoir la construction de routes, parfois même d'un aéroport. D'énormes investissements sont ainsi affectés à l'aménagement du chantier. À titre d'exemple, la phase I du complexe La Grande, réalisation majeure des années 70 et 80, 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



question : //

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

réponse : //

Est-ce que la production de la centrale Robert-Bourassa cuit votre pizza, tandis que celle d'Outardes-4 fait jouer vos disques compacts ? Pas tout à fait. Une fois que l'énergie électrique quitte la 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 dont on se sert passe par des câbles suspendus à des supports, les pylônes, qui vont des centrales jusqu'à des carrefours, appelés postes sources, pour ensuite atteindre les postes satellites et prendre le chemin des poteaux qui mènent à la maison. Le plus fascinant dans tout ça, c'est que l'électricité est consommée aussitôt qu'elle est produite. Son transport s'effectue ainsi à une vitesse folle... qui est très proche de celle de la lumière, soit 300 000 kilomètres par seconde !

Figure 10 / LES LIGNES D'ÉLECTRICITÉ D'HYDRO-QUÉBEC EN 2002

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.

**139 144 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 boyaux d'arrosage – les centrales de production. Si on prenait un verre d'eau de cette piscine, on pourrait difficilement dire de quel boyau 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, il se divise à l'aide de connexions en étoile (postes sources) et son débit diminue. Finalement, un petit tuyau pénètre dans votre maison; il suffit maintenant d'ouvrir le robinet.



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

Le courant alternatif produit par les centrales et transmis sur les lignes à haute tension est divisé en trois parties, ou phases. Chaque phase comprend entre un et quatre fils, ou conducteurs, selon le niveau de tension. Lorsqu'il y a plus d'un conducteur dans une phase, on parle alors d'un faisceau de conducteurs. Ce courant dit triphasé favorise le transport plus stable de l'électricité et occasionne moins de pertes d'énergie.

#### 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. S'ils étaient droits, les pylônes risqueraient de s'effondrer! Les fils sont courbés pour que la force nécessaire à les maintenir en place soit moins grande;



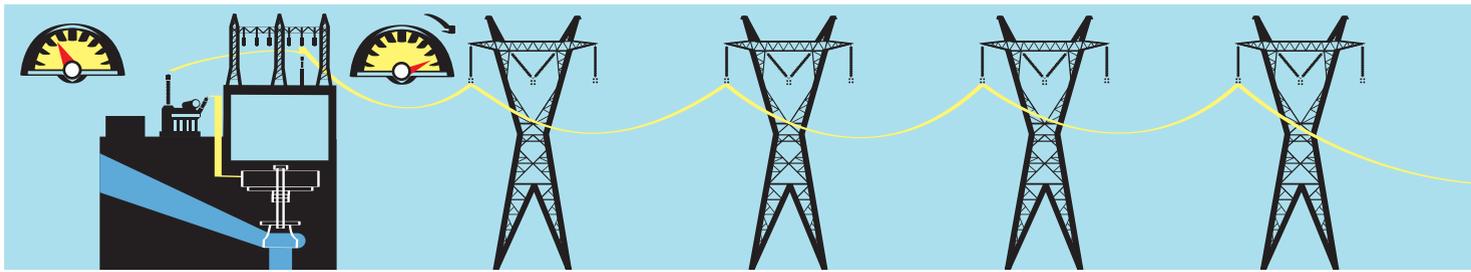
autrement, il faudrait que les pylônes soient encore plus robustes... et plus coûteux. C'est facile de soulever un dictionnaire en le prenant dans nos mains, car toute la force qu'on exerce est concentrée à la verticale. Si vous êtes deux qui tentez de le soulever avec une corde, c'est une autre histoire. À mesure que l'objet monte, la force horizontale augmente... si on tire trop fort, on risque d'attirer notre partenaire vers nous.

#### COMMENT EXPLIQUER LE CRÉPITEMENT DES FILS DE TRANSPORT ?

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



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



CENTRALE 13 800 VOLTS

POSTE DE DÉPART 735 000 VOLTS



MAISON 120 / 240 VOLTS

POTEAU D'ÉLECTRICITÉ 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 ?

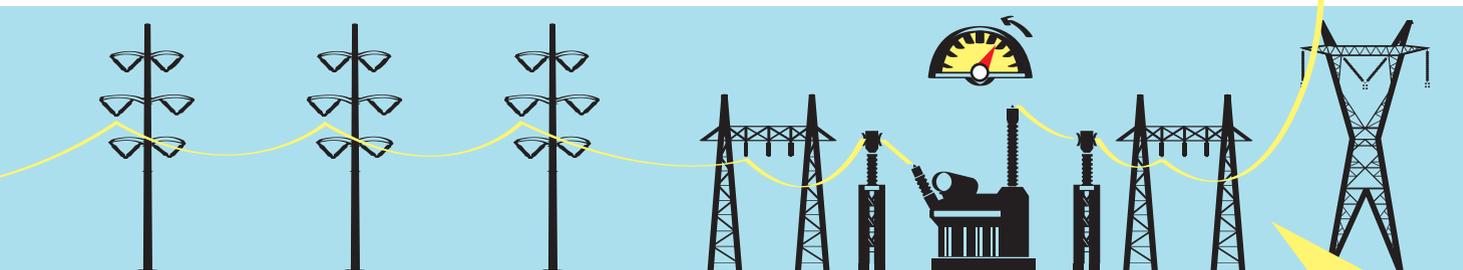
Le transformateur est l'équipement qui permet d'augmenter ou d'abaisser la tension d'un courant alternatif. En effet, l'énergie électrique voyage mieux à des tensions plus élevées : le transport de quantités massives d'électricité s'en trouve facilité, il y a moins de pertes électriques et le coût total 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 12 / LE RÉSEAU DE TRANSPORT D'HYDRO-QUÉBEC EN 2003

TENSION (KILOVOLTS)	POSTES	LIGNES (KILOMÈTRES)
735 ET 765	37	11 280
450 (Courant continu)	2	1 218
315	59	4 942
230	50	3 081
161	40	1 869
120	216	6 535
49 ET 69	101	3 389
TOTAL	505	32 314

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

Une centrale peut produire des tensions pouvant atteindre 13 800 volts, comme à la centrale Robert-Bourassa. Le transport de cette électricité se fait toutefois à des tensions beaucoup plus élevées, à des paliers situés entre 44 000 et 765 000 volts, grâce au transformateur élévateur de tension situé dans le poste de départ d'une centrale. Vient ensuite une succession d'abaissements de la tension. À la maison, on utilise des tensions abaissées à 120 volts, pour alimenter le téléviseur, la radio et d'autres appareils électriques courants, ou à 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 ce ne fut pas toujours le cas. 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 est à l'aube de l'ère de l'électricité et les industriels américains cherchent un moyen efficace d'acheminer cette nouvelle énergie de la centrale à l'usine. En 1887, Nikola Tesla opte pour le courant alternatif; il met 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 pour transporter le courant continu n'est pas utilisée couramment. Toutefois, elle peut être avantageuse pour réaliser des objectifs particuliers. À titre d'exemples, 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.

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

Tableau 13 / LE PALMARÈS DES PYLÔNES UTILISÉS PAR HYDRO-QUÉBEC

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



## 1. Pylône nappe

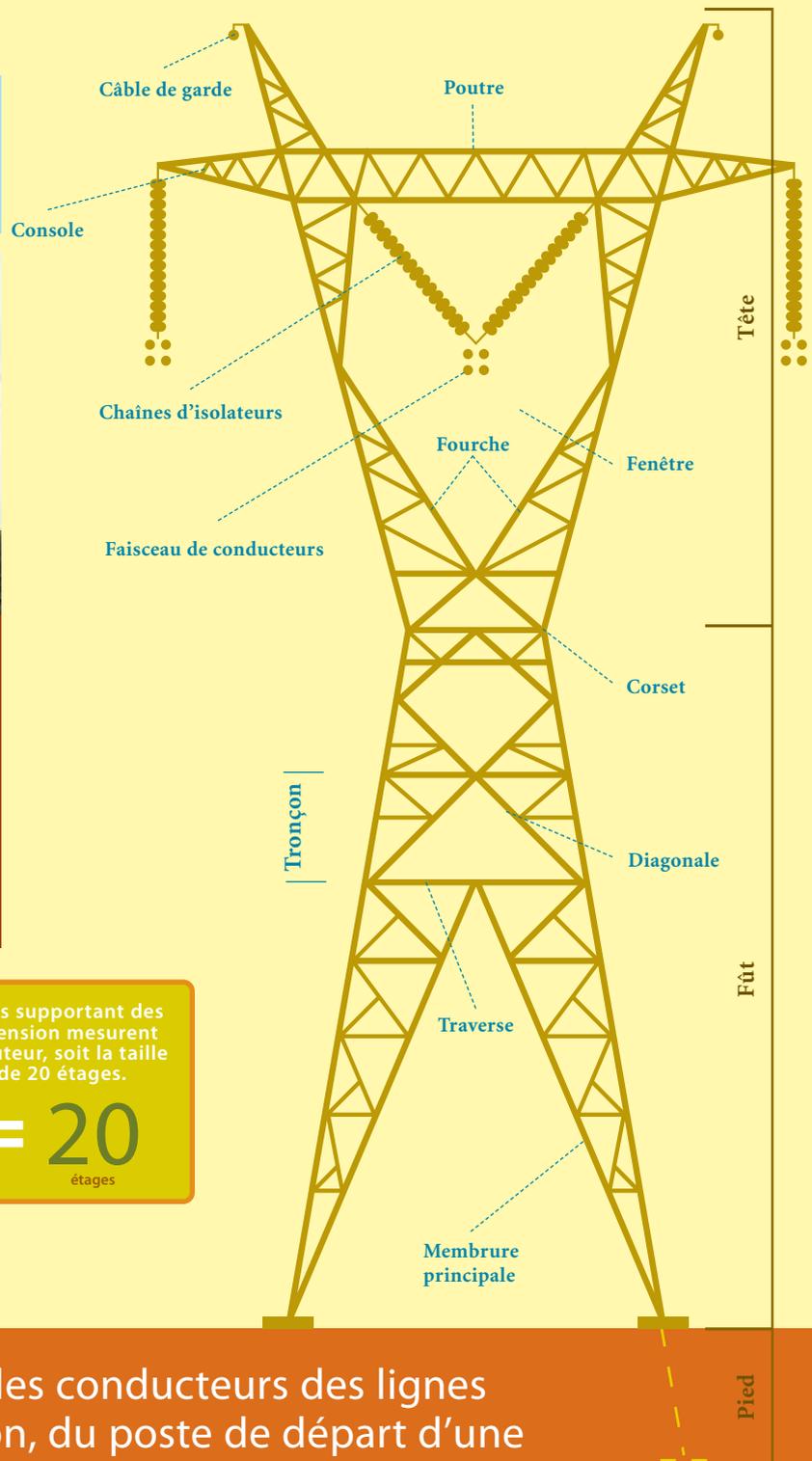
C'est le pylône le plus utilisé pour les lignes de transport. Il sert aux paliers de tension allant de 110 000 à 735 000 volts. Ce pylône convient aux lignes qui traversent des terrains très accidentés, car il peut être assemblé facilement.

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

**60 = 20**  
mètres                      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

Occupant une place réduite au sol, ce pylône est utilisé pour des paliers de tension allant de 110 000 à 315 000 volts. Sa hauteur varie entre 25 et 60 mètres.



### LES TRAVERSÉES AÉRIENNES

Les pylônes les plus imposants d'Hydro-Québec sont utilisés pour la traversée aérienne de grands cours d'eau, comme la rivière Saguenay ou le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de l'île d'Orléans ou de Carignan. Cependant, il existe un autre moyen d'atteindre la rive opposée : sous le cours d'eau. Hydro-Québec possède une ligne de ce type, et elle constitue une réalisation inédite. En 1990, Hydro-Québec a effectivement construit la première traversée sous-fluviale de câbles électriques à 450 000 volts à courant continu dans le monde : son tunnel quitte la rive nord près de Grondines et ressort du côté sud à proximité du poste de Lotbinière.

## 3. Pylône haubané en V

Ce pylône 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 ou à armement en nappe.



## 4. Pylône tubulaire

Ce support porte également le nom poétique de pylône « muguet ». Il est moins massif que les autres pylônes 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 haubané à chaînette

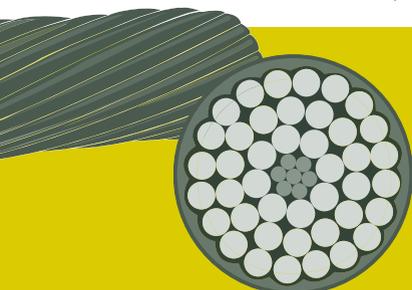
Facile à monter et de fabrication simple, le pylône à chaînette est utilisé sur certaines sections des lignes en provenance du complexe La Grande. Il supporte des conducteurs à 735 000 volts. Ce type de pylône nécessite moins d'acier galvanisé que le pylône haubané en V ; il est donc comparativement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

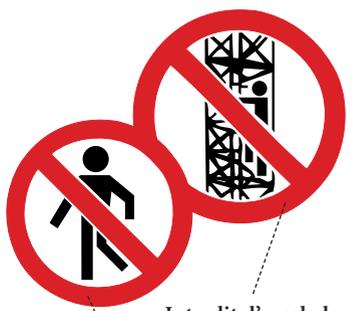
### LIGNES, CÂBLES ET FAISCEAUX DE CONDUCTEURS

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.



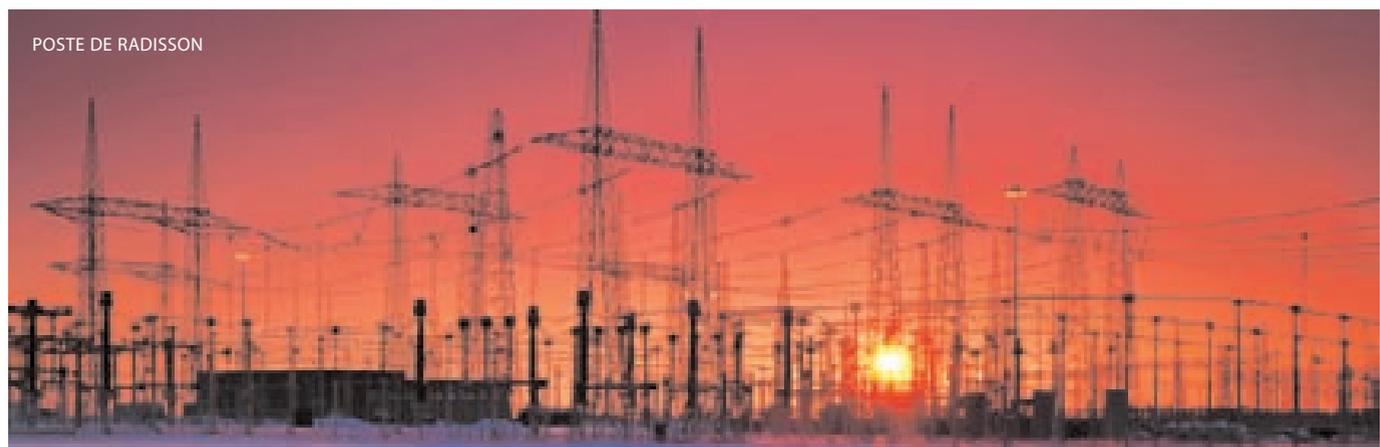
La plupart des conducteurs à haute tension d'Hydro-Québec sont en aluminium avec un centre en acier, lequel assure la résistance mécanique du câble. Par ailleurs, ils sont nus : c'est l'air qui leur sert d'isolant. Chaque conducteur est toronné, c'est-à-dire formé de plusieurs brins enroulés ensemble. 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



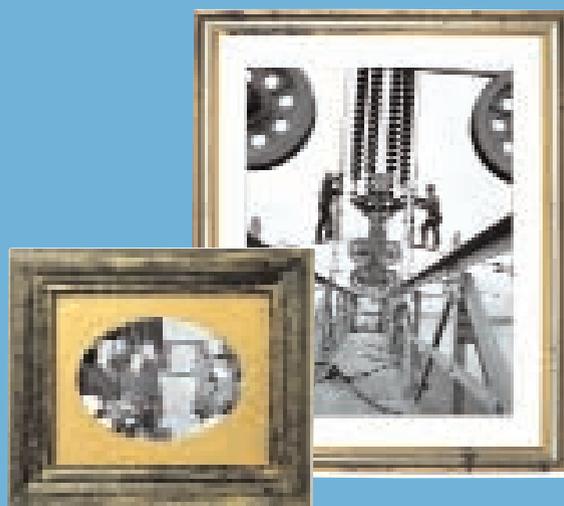
# Les grandes distances

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 au lieu de l'intensité du courant, afin de réduire les pertes et les coûts de construction. Une grande partie de l'électricité produite par Hydro-Québec circule dans des lignes à haute tension à 735 000 volts.

C'est bien ainsi, sinon le territoire serait encombré de pylônes : une ligne à 735 000 volts est l'équivalent de quatre lignes à 315 000 volts, le prochain palier de tension. 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 même tension.



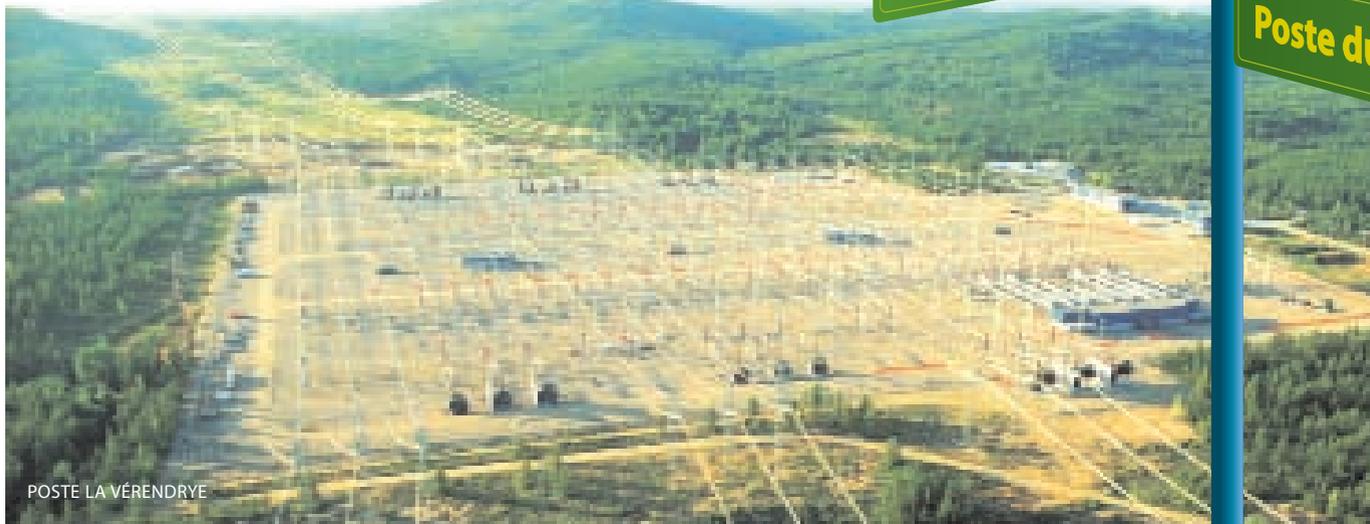
### PREMIÈRE MONDIALE EN TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ SIGNÉE HYDRO-QUÉBEC

En 1965, la première ligne à 735 000 volts jamais construite est mise en service pour relier les centrales de la Manicouagan et des 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 le développement des ressources hydroélectriques du Nord-Ouest et du Nord-Est québécois.



## Pourquoi « contrôler » l'électricité ?

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 l'on utilise l'électricité, notamment autour des appareils électriques de même que près des lignes à haute tension. Depuis les années 70, 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

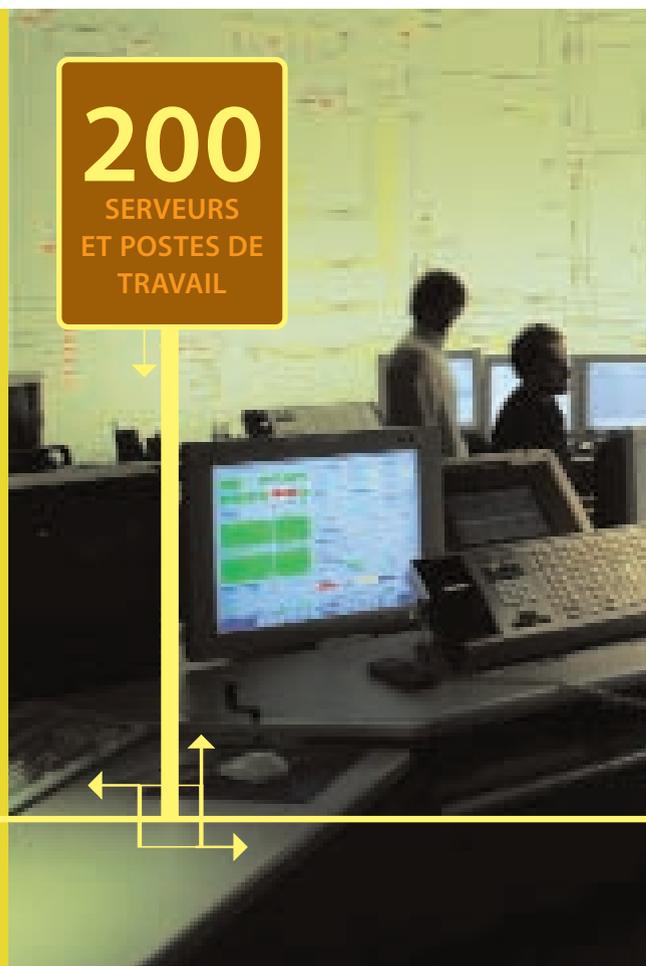
La plupart des tâches rattachées au mouvement d'énergie de la centrale à la maison s'effectuent à distance au moyen d'automatismes, c'est-à-dire de systèmes évolués de surveillance et de contrôle à distance. Ce sont les « réflexes » du réseau. Cependant, il faut à tout moment prendre des décisions visant 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 d'électricité prioritaires du Québec et, en second lieu, 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 15 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.

**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.

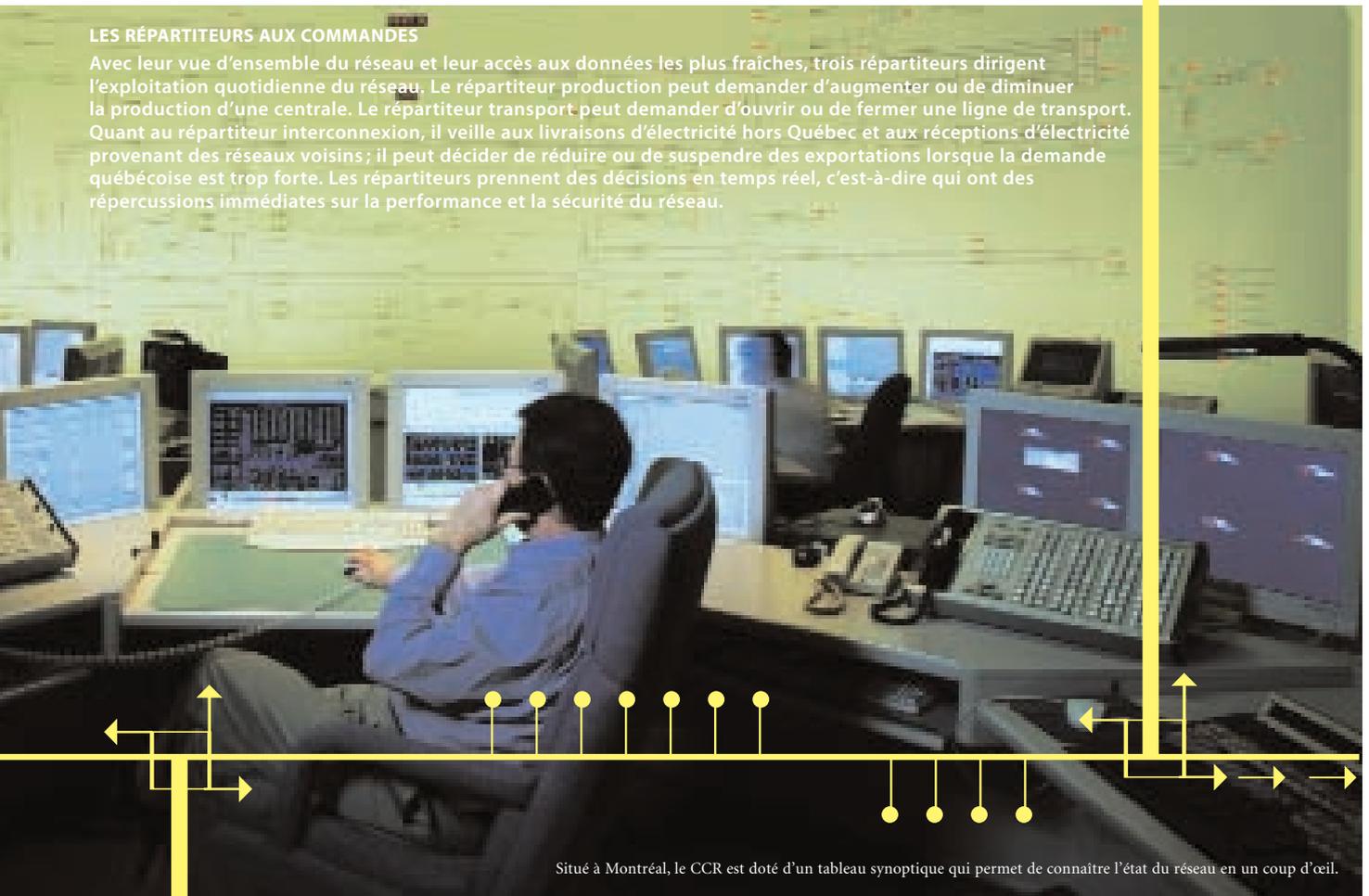


L'accumulation de glace sur les lignes électriques accompagnée de forts vents peut causer des pannes. La population québécoise en sait quelque chose... En janvier 1998, le Québec traverse la pire tempête de verglas de son histoire : cinq jours d'accumulation de verglas sans précédent mettent le réseau 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 déglçage 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 production peut demander d'augmenter ou de diminuer la production d'une centrale. Le répartiteur transport peut demander d'ouvrir ou de fermer une ligne de transport. Quant au répartiteur interconnexion, 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.



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

réponse : //

Quand on appuie sur un interrupteur – et que notre 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 son appareil. 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 !

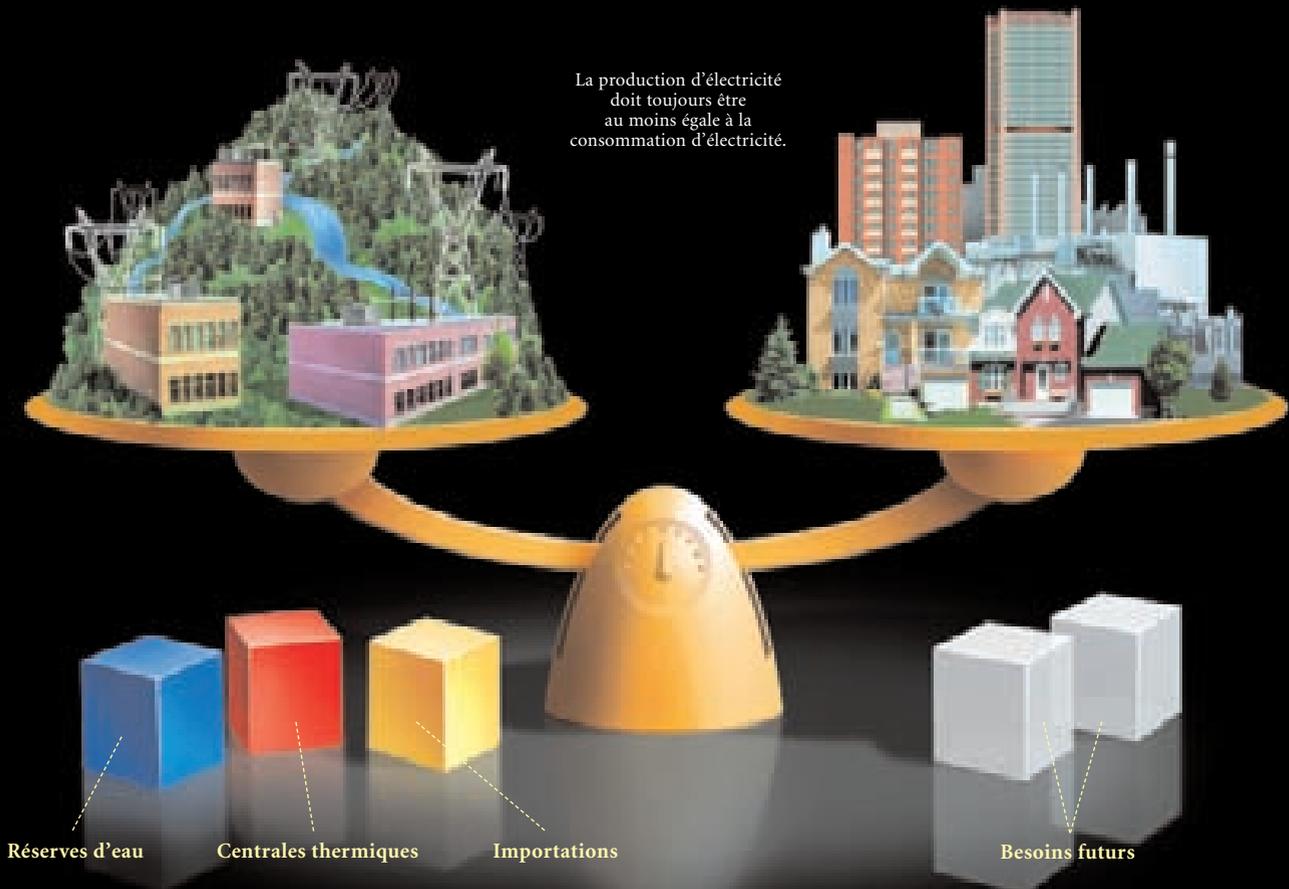


N'oublions pas que l'électricité est parfois dangereuse. En effet, l'usage inapproprié d'un appareil électrique ou l'usage d'un appareil endommagé peut produire chez l'humain un choc électrique ; la personne sert alors de chemin au courant électrique. Le corps humain est un bon conducteur et le passage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

Il y a un danger de brûlures et même de mort. Quand on prend un choc électrique, le parcours du courant dans le corps devient très chaud, notamment aux endroits où l'électricité entre et sort du corps. Nous pouvons cependant prévenir les chocs électriques en adoptant des pratiques sûres et efficaces, dont quelques-unes sont présentées plus loin dans cette section.

## Production d'énergie électrique

## Consommation d'énergie électrique



## 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 du courant, 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 la quantité demandée, 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 par exemple, un producteur comme Hydro-Québec peut turbiner moins intensément et ainsi emmagasiner de l'eau dans ses réservoirs.

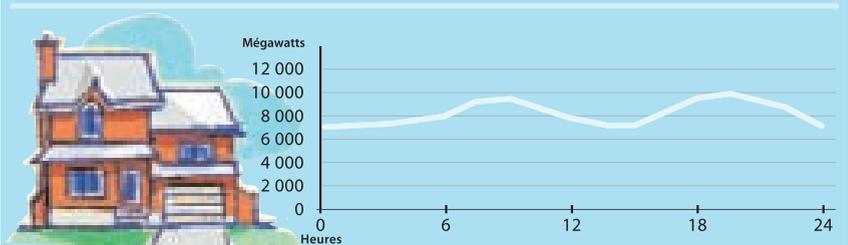
Tableau 14 / LA CONVERSION DES UNITÉS DE MESURE DE L'ÉLECTRICITÉ

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 <sup>3</sup>	KILO	k
1 000 000 = 10 <sup>6</sup>	MéGA	M
1 000 000 000 = 10 <sup>9</sup>	GIGA	G
1 000 000 000 000 = 10 <sup>12</sup>	TÉRA	T

Tableau 15 / LES FLUCTUATIONS QUOTIDIENNES DE LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ EN 2000

CLIENTÈLE RÉSIDENIELLE - CONSOMMATION MOYENNE EN HIVER



# La distribution de l'électricité

Enfin, nous voici à quelques pas de la maison! Nous avons abaissé la tension du courant à un poste source, et l'énergie électrique a suivi le conducteur jusqu'à un poste satellite qui a abaissé la tension de nouveau. Il ne reste que deux étapes pour pouvoir 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 des isolateurs dans le haut des poteaux. À quelques mètres en dessous de ces trois conducteurs (fils), on distingue 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 à 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 développements résidentiels.



Transformateur sur socle.



▲ Montréal dans les années 20... des poteaux à perte de vue. Aujourd'hui, plus de la moitié du réseau montréalais est souterrain, soit plus de 3 900 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, environ 9% 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 16 / L'ÉQUIPEMENT DU RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'HYDRO-QUÉBEC EN 2003

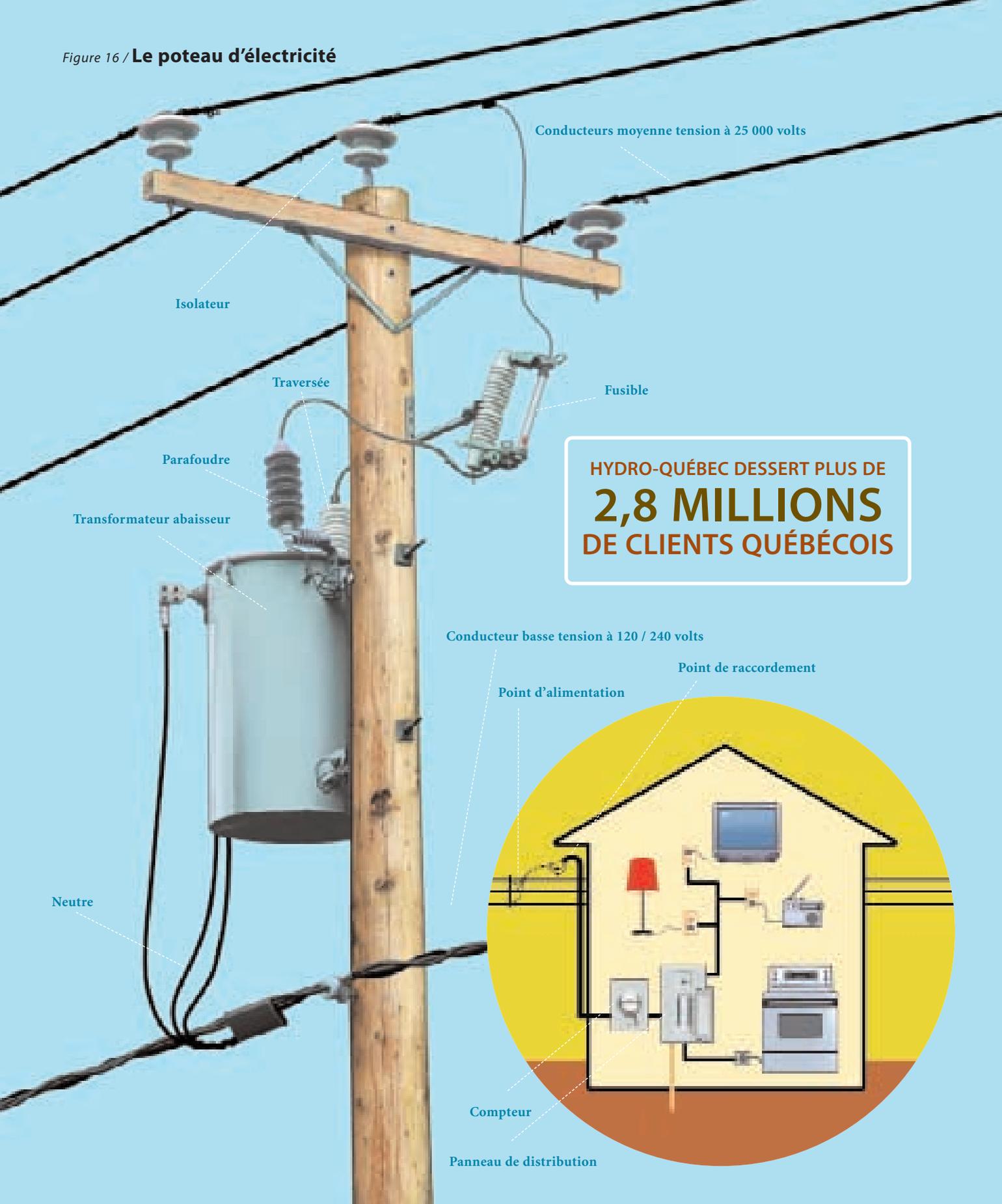
MATÉRIEL	NOMBRE
POTEAUX (à 99% EN BOIS)	2 500 000
TRANSFORMATEURS	525 000
LIGNES AÉRIENNES	97 200 KILOMÈTRES
LIGNES SOUTERRAINES	9 600 KILOMÈTRES

### 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 d'électricité



#### 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 d'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 consommée par un 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.

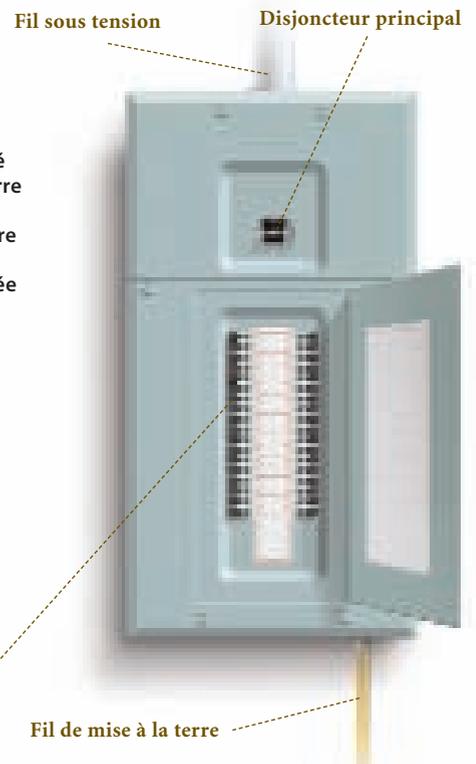
## Du disjoncteur à l'utilisateur

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.



### 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 la 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.

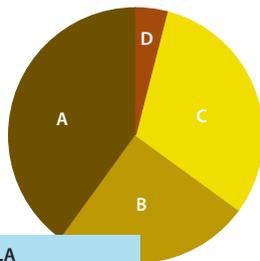
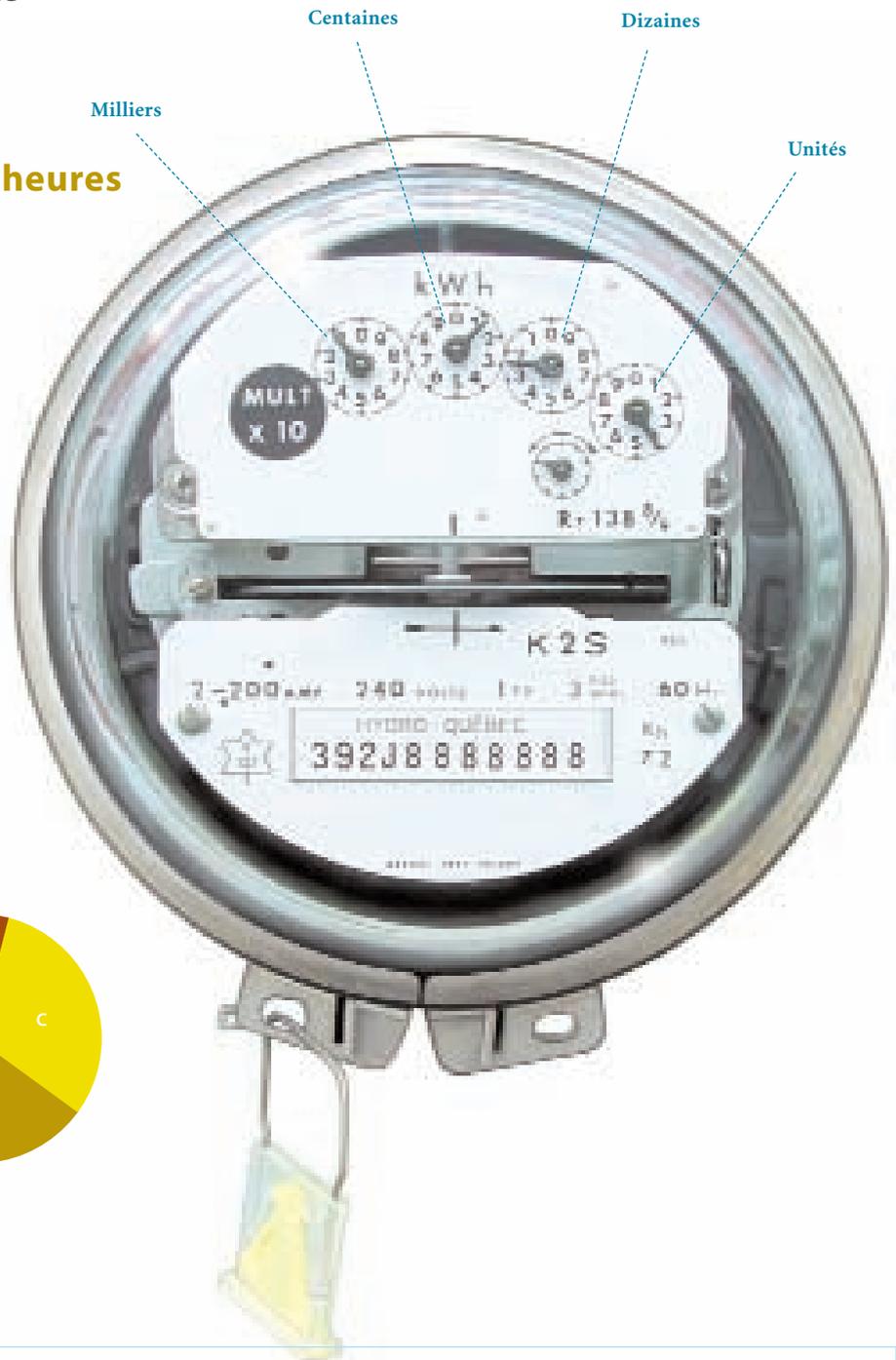


Tableau 17 / LA RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ AU QUÉBEC EN 2002

A	DOMESTIQUE ET AGRICOLE	40 %
B	COMMERCIALE ET INSTITUTIONNELLE	25 %
C	INDUSTRIELLE	31 %
D	AUTRES SECTEURS	4 %

## 180 COMPTEURS, 30 000 PAS, 17 CHIENS... TOUS LES JOURS

Pour effectuer la lecture de consommation sur la plupart de ses quelque 3 500 000 compteurs, Hydro-Québec compte sur plus de 470 releveurs de compteur. En comparaison des 10 000 pas que nous faisons en moyenne chaque jour, les releveurs en font environ 30 000. Les 470 releveurs rencontrent près de 330 000 chiens par période de relevés — aux deux mois, c'est plus de 700 chiens chacun.



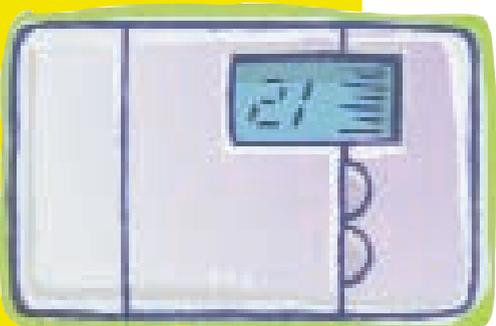
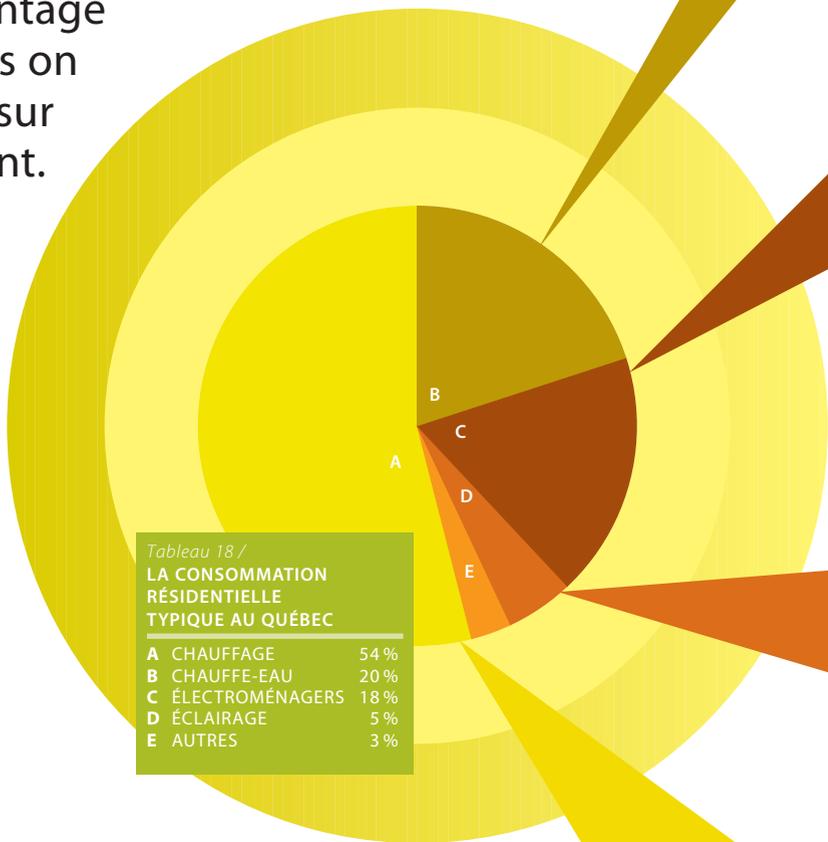
- Tirer toujours sur la fiche pour débrancher un appareil électrique, pas sur le fil.
- Débrancher la bouilloire, le fer à repasser et la cafetière avant d'y mettre de l'eau.
- Éviter les surcharges, donc le risque de feu, en utilisant différentes prises de courant, en débranchant les appareils non utilisés, 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 sur 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 à disjoncteurs 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'économie d'énergie

L'économie d'énergie est le résultat d'efforts que nous pouvons consentir facilement tous les jours. Il s'agit de poser de petits gestes qui, à l'échelle de la société, peuvent avoir un gros impact. En diminuant notre consommation d'électricité, on jouit bien entendu d'un avantage économique personnel, mais on gagne aussi collectivement sur le tableau de l'environnement. Car moins on consomme d'électricité, moins on dépend des sources d'énergie fossile, non renouvelables et polluantes, tels le charbon ou le mazout, pour produire de l'électricité.

## 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.

▫ **Calfautrer 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 ou quand vous vous absentez, et à 21°C le reste du temps; celle du vestibule à 15°C, 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.**

# 54%

## L'eau chaude

Le chauffage de l'eau est la deuxième principale dépense d'électricité, soit environ 20% de la facture. Dites-vous d'abord qu'un chauffe-eau de 180 litres (40 gallons) est suffisant 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.
- Réparer vite un robinet qui fuit, car, à raison d'une goutte à la seconde, il vous fait gaspiller 27 litres d'eau chaude par jour.
- Mettre la machine à laver le linge en marche seulement quand elle est pleine et, si possible, n'utiliser que de l'eau froide.
- Se servir du 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, vous pouvez économiser considérablement.

- Remplacer les ampoules à incandescence par des fluorescents compacts qui consomment quatre fois moins d'électricité pour un éclairage comparable.
- Éteindre la lumière quand vous quittez une pièce.

5%



SI LES QUELQUE 7 500 000 QUÉBÉCOISES ET QUÉBÉCOIS ALLUMAIENT TOUS EN MÊME TEMPS  
**UNE AMPOULE DE 100 W,**  
CELA NÉCESSITERAIT TOUTE L'ÉLECTRICITÉ PRODUITE  
PAR LA CENTRALE DE CARILLON, DONT  
LA PUISSANCE INSTALLÉE S'ÉLÈVE À 752 080 KW !

### DES BATTERIES HAUTE TECHNOLOGIE AU SERVICE DE L'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE

Des batteries de nouvelle génération, comme celle au lithium-métal-polymère, sont très avantageuses, car elles durent plus longtemps, ce qui rend l'utilisateur plus autonome. Ces batteries rechargeables sont tout indiquées pour l'alimentation électrique en région éloignée ou pour le transport; la voiture tout électrique non polluante en est un bon exemple. Elles contribuent au développement durable puisqu'elles peuvent remplacer les combustibles fossiles ou en réduire substantiellement le besoin pour leur recharge.

Les batteries au lithium-métal-polymère mettent en œuvre une technologie conçue au Québec; elles conviennent à nombre d'usages dans le domaine du transport routier, des télécommunications et d'autres secteurs industriels.



### TOUTE LA LUMIÈRE, OU PRESQUE, SUR L'INVENTION DE L'AMPOULE ÉLECTRIQUE

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, le filament couramment utilisé dans les ampoules est fait de tungstène.



# ET SI ON VOULAIT 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](http://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/environnement](http://www.hydroquebec.com/environnement)
- Les chantiers d'Hydro-Québec  
Hydro-Québec présente ici un tour d'horizon des projets de construction en cours et à l'étude, tant au Québec qu'aux États-Unis.  
[www.hydroquebec.com/projets](http://www.hydroquebec.com/projets)
- Des réalisations à l'échelle internationale  
Hydro-Québec International développe les marchés internationaux pour Hydro-Québec et ses filiales, tout en investissant en partenariat dans le domaine de l'énergie à l'étranger.  
[www.hydroquebec.com/hqi](http://www.hydroquebec.com/hqi)
- Des investissements pour l'énergie de demain  
Filiale à part entière d'Hydro-Québec, Capitech investit dans des entreprises dont les technologies novatrices sont susceptibles de favoriser le développement ou la performance d'Hydro-Québec.  
[www.hydroquebec.com/hqcapitech](http://www.hydroquebec.com/hqcapitech)
- 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](http://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? L'utilisation d'un micro-ondes de 1 190 watts pendant 4 minutes consomme autant d'électricité qu'il en faut pour alimenter une ampoule de 60 watts pendant une heure.
4. Vrai ou faux? Si 15 personnes se tiennent la main et si le premier individu prend un choc électrique, la 15<sup>e</sup> personne ressentira également un choc.
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?
9. Mises bout à bout, combien de fois les lignes de transport et de distribution d'Hydro-Québec font-elles le tour de la Terre?
10. Combien 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...

10. 1 000 000 - 11. 1944 - 12. Ambre jaune  
7. La pile - 8. 19 heures - 9. Plus de trois fois et demie  
5. Benjamin Franklin - 6. Jean-Jacques Archambault  
1. Chauffe-eau - 2. 60 heures - 3. Vrai - 4. Vrai

# LE PALMARÈS D'HYDRO-QUÉBEC

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

LA CENTRALE LA PLUS PUISSANTE

**CENTRALE ROBERT-BOURASSA**  
**5 616 MÉGAWATTS**

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

LE PLUS GRAND DÉBIT D'EAU  
DANS UNE TURBINE  
CELUI DE LA CENTRALE LA GRANDE-1  
496 mètres cubes / 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 AU 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, INCLUANT SON ANTENNE!

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!

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

**441  
MÉGAWATTS**  
CHACUN

LA PLUS GRANDE CENTRALE SOUTERRAINE AU 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  
RÉSÉROIR

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

RÉSÉROIR  
CANIAPISCAU  
**39 MILLIARDS**  
DE MÈTRES CUBES

LA VITESSE DE ROTATION LA PLUS ÉLEVÉE D'UN GROUPE TURBINE-ALTERNATEUR  
**CENTRALE NUCLÉAIRE DE GENTILLY-2 : 1 800 TOURS / MINUTE**

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 ABONNÉS.

LE PLUS GRAND RÉSÉROIR  
(VOLUME TOTAL)

Réservoir Manic-5  
**139,8 MILLIARDS**  
DE MÈTRES CUBES

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

LE PLUS GRAND  
RÉSÉROIR (SUPERFICIE)

**Réservoir Caniapiscau**  
**4 318 KILOMÈTRES**  
**CARRÉS**

EN TERMES DE SUPERFICIE, CE  
RÉSÉROIR RENFERME L'ÉQUIVALENT  
D'UN PEU PLUS DE QUATRE FOIS  
LE LAC SAINT-JEAN!

## 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](http://www.hydroquebec.com/comprendre)

# index : //

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, 22, 23/  
Ampère /4/  
Ampère, André-Marie /4/  
Anguille électrique /7/  
Archambault, Jean-Jacques /32, 44/  
Atome /5, 21/

## B

Balbuzard pêcheur /35/  
Barrage /14, 15, 17, 18, 24, 45/  
Batterie /43/  
Biomasse /12,13/  
Bourassa, Robert /9/

## C

Caribou /24/  
Câble /26, 27, 30, 31, 34, 40/  
Centrale  
à turbines à gaz /20, 21/  
au gaz naturel à cycle combiné /21/  
diesel /12, 20/  
hydroélectrique /9, 11, 12, 13, 18-19, 24/  
nucléaire /11, 20, 21, 22, 45/  
thermique /11, 12, 13, 20-21, 22, 37/  
Chambre d'équilibre /19, 24/  
Champs électriques et magnétiques /33/  
Chauffage /42, 43/  
Charbon /11, 12, 20, 21, 42/  
Chauffe-eau /40, 42, 43, 44/  
Choc électrique /6, 35, 36, 38, 44/  
Circuit /5, 34, 40/  
Combustible fossile /11, 20, 43/  
Compteur /39, 40, 41/  
Conducteur /4, 5, 6, 27, 30, 31, 33, 36, 38, 39/  
Conduite du réseau /34-35/  
Construction /9, 24-25, 28, 44/  
Courant alternatif /5, 22, 23, 27, 29, 33, 38/  
continu /5, 29, 31/  
Courtage en énergie /19/  
Crépitement /27/  
Cycle hydrologique /13/

## D

Débit /4, 13, 14, 17, 18, 22, 27, 45/  
Décharge électrique /5, 7, 27/  
Demande /12, 16, 18, 19, 20, 34, 35, 40/  
De Milet, Thalès /6/  
Développement durable /11, 24, 43/  
Déversoir /17/  
Digue /14, 15, 24/  
Disjoncteur /33, 40, 41/  
Distribution de l'électricité /38-39/

## E

Eau douce /10/  
Éclairage /8, 42, 43/  
Économie d'énergie /42-43/  
Écureuil /38/  
Edison, Thomas Alva /8, 29, 43/  
Effet couronne /27, 31/  
Électricité  
électrochimique /5/  
électromagnétique /5, 6, 23/  
statique /5, 6, 7, 44/  
Électroménagers /42, 43/  
Électron /4, 5, 16, 23, 27, 28, 44/  
Émissions /11, 18, 21/  
Énergie  
non renouvelable /42/  
renouvelable /12, 13, 21/  
Entrepose /31/  
Environnement /16, 24, 38, 42, 44/  
Éolienne /12, 21/  
Équilibre offre-demande /37/  
Évacuateur de crue /17, 24/

## F

Faraday, Michael /6, 23/  
Faisceau de conducteurs /31/  
Force motrice de l'eau /12, 13/  
Foudre /6, 7, 30, 31, 44/  
Francis, James Bicheno /22/  
Franklin, Benjamin /6, 44/

## G

Gaz à effet de serre /11, 18, 21/  
Géothermie /12/  
Gestion de l'eau /16-17/  
Groupe turbine-alternateur /6, 9, 12, 16, 17, 19, 22-23, 24, 45/

## H

Haung Ti /6/  
Hauteur de chute /13, 18, 19, 22, 45/  
Hertz /22/  
Hertz, Heinrich /22/

## I

Interrupteur /36, 40, 41/  
Interconnexion /29, 34, 35/  
Isolant /5, 28, 31, 33, 43/

## J

Johnson, Daniel /15/

## K

Kaplan, Viktor /22/

## L

La Grande, complexe /9, 13, 15, 16, 24, 25, 31/  
La Grande, rivière /13, 32/  
Ligne /9, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 38, 39, 44, 45/

## M

Maîtrise de la végétation /38/  
Manic-Outardes, complexe /9, 16, 31, 45/  
Mise à la terre /38, 40/  
Moraine /15/

## O

Offre /9, 37/  
Ohm /4/  
Ohm, Georg Simon /4/  
Oiseau /35, 38/  
Ouvrage de retenue /13, 14-15, 16, 17, 25/

## P

Panneau de distribution /39, 40/  
Pelton, Lester /22/  
Pile /4, 5, 6, 7/  
Poissons électriques /7/  
Poste  
de départ /24, 28, 29, 30, 33/  
satellite /26, 28, 30, 38/  
source /26, 27, 29, 30, 38/  
stratégique /29/  
Poteau /26, 28, 35, 38, 39/

Production de l'électricité /12-13/  
Puissance installée /9, 18, 19, 21, 25, 43/  
Pylône /6, 26, 27, 30-31, 32, 35, 45/

## R

Réfection /24/  
Releveur de compteur/41/  
Répartiteur /35/  
Réseau  
aérien /38/  
aérosouterrain /38/  
souterrain /38/  
Réservoir /11, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 24, 37, 45/

## S

Saumon /16/  
Sécurité /6, 17, 33, 34, 35, 38, 39, 40/

## T

Tarif /9, 40/  
Tension  
haute /7, 27, 30, 31, 32, 33, 45/  
moyenne /38, 39/  
basse /28, 38, 39/  
Tesla, Nikola /29/  
Télécommunications /34, 43/  
Transformateur /6, 28, 29, 38, 39/  
Transport de l'électricité /6, 28-29, 31, 34/  
Travail sous tension /33/  
Traversée aérienne /31/  
Turbine /11, 12, 13, 18, 19, 20, 21, 22, 23/

## V

Volt /4, 7, 9, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 37, 38, 39, 44, 45/  
Volta, Alessandro /4, 6, 44/

## W

Watt /4, 7, 9, 19, 21, 25, 37, 44, 45/  
Watt, James /4/  
Westinghouse, George /29/

### /LISTE DES TABLEAUX

1. LE CHARBON CONTRE L'HYDROÉLECTRICITÉ EN AMÉRIQUE DU NORD /11/
2. ÉMISSIONS DES DIFFÉRENTS TYPES DE CENTRALES /11/
3. LES DIFFÉRENTES INSTALLATIONS ÉNERGÉTIQUES À BIOMASSE /13/
4. LE PARC DE BARRAGES D'HYDRO-QUÉBEC EN 2002 /14/
5. LE CLASSEMENT MONDIAL EN MATIÈRE DE GRANDS BARRAGES /14/
6. PROFIL DU BARRAGE DANIEL-JOHNSON, UN OUVRAGE COLOSSAL /15/
7. LES CINQ PRINCIPAUX RÉSERVOIRS D'HYDRO-QUÉBEC /16/
8. LES 12 PLUS IMPORTANTES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES /18/
9. LES CENTRALES THERMIQUES AU QUÉBEC /20/
10. LES DIFFÉRENTES TURBINES /22/
11. LES PRINCIPALES ÉTAPES DE CONSTRUCTION /24/
12. LE RÉSEAU DE TRANSPORT D'HYDRO-QUÉBEC EN 2003 /29/
13. LE PALMARÈS DES PYLÔNES UTILISÉS PAR HYDRO-QUÉBEC /30/
14. LA CONVERSION DES UNITÉS DE MESURE DE L'ÉLECTRICITÉ /37/
15. LES FLUCTUATIONS QUOTIDIENNES DE LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ /37/
16. L'ÉQUIPEMENT DU RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'HYDRO-QUÉBEC /38/
17. LA RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ AU QUÉBEC /41/
18. LA CONSOMMATION RÉSIDENTIELLE TYPIQUE AU QUÉBEC /42/

### /LISTE DES FIGURES

1. LES SIMILITUDES ENTRE UNE CONDUITE D'EAU ET UN 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 2002 /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 /23/
10. LES LIGNES D'ÉLECTRICITÉ D'HYDRO-QUÉBEC EN 2002 /26/
11. LE RÉSEAU DE TRANSPORT, UN BASSIN D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE /27/
12. LE TRANSPORT DE L'ÉLECTRICITÉ : UN PARCOURS TYPIQUE /29/
13. LE PYLÔNE À HAUTE TENSION EN TREILLIS D'ACIER /30/
14. LES POSTES, DES RELAIS UTILES DANS LE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ /33/
15. L'ÉQUILIBRE OFFRE-DEMANDE À HYDRO-QUÉBEC /37/
16. LE POTEAU D'ÉLECTRICITÉ /39/
17. LE PANNEAU DE DISTRIBUTION /40/
18. LE COMPTEUR D'ÉLECTRICITÉ /41/