

ANNEXE 2

LE SYSTÈME DE PRÉVISION

DE LA DEMANDE HORAIRE D'ÉLECTRICITÉ

*Le système de prévision
de la demande horaire d'électricité*

**Unité Programmation du contrôle des mouvements d'énergie
Hydro-Québec, novembre 1999**

Table des matieres

Introduction..... 3

Les modèles de prévisions 4

Aspects opérationnels..... Erreur ! Signet non défini.

Précision des prévisions et indicateurs de performance Erreur ! Signet non défini.

Conclusion..... Erreur ! Signet non défini.

Introduction

La société Hydro-Québec compte environ de 3,1 millions d'abonnés au secteur résidentiel, parmi lesquels 70% utilisent l'électricité pour le chauffage des locaux. Le froid hivernal, parfois très intense, a par conséquent un impact majeur sur le niveau de la demande quotidienne et la courbe horaire de consommation; il explique des variations quotidiennes de plus de 100 GWh et des variations horaires de 6 000 MW en l'espace de 24 heures. En fait, l'expérience a montré que l'utilisation des informations concernant les conditions météorologiques peuvent être mises à profit et elles constituent un excellent moyen d'expliquer et de prévoir les variations à court terme de la demande.

Les principaux utilisateurs des prévisions horaires sont les unités qui effectuent la gestion à très court terme de la production (horizon d'une heure à quatre jours). Les employés responsables de la *conduite du réseau* doivent assurer en temps réel une configuration optimale du réseau, soit l'équilibre entre l'offre et la demande, tout en satisfaisant les différents critères de réserve afin d'éviter l'utilisation précipitée des équipements de production et de transport et des changements à la dernière minute des programmes d'échange avec les réseaux voisins. Or, en période hivernale, il n'est pas rare d'observer, dans un délai de quelques heures, des modifications très importantes du niveau de la demande occasionnées par des variations subites de la météo. Il est essentiel, dans ce contexte, de pouvoir disposer d'une prévision aussi précise que possible de ce que sera la demande dans les prochaines heures et c'est pour répondre à cette exigence que les modèles de prévision ont été développés.

D'autre part, la planification de la production à court et moyen terme (horizon d'une à quatre semaines) s'inscrit, elle aussi, dans une problématique où les conditions climatiques ont un impact majeur. Sans que soit requis un degré de précision aussi fin que pour la conduite du réseau, les prévisions horaires pour les prochaines semaines sont néanmoins indispensables à l'unité de *programmation* afin d'élaborer le plan de production et de retrait pour les prochaines semaines (la gestion et l'entretien de l'équipement, la planification des ventes aux réseaux voisins, etc.).

Finalement, des prévisions à plus long terme (en énergie et en puissance horaire ou de pointe) basées sur différents scénarios, intégrant des conditions climatiques diverses, sont également produites en vue de permettre la planification mensuelle et annuelle de la production, de même que la planification des retraits et des exportations. Les simulations permettant de calculer l'état probable des réservoirs, sur des horizons de plusieurs années, utilisent elles aussi un grand nombre de scénarios de puissance horaire, qui sont produites par le biais du système de prévision horaire de la demande. De plus, ce système permet d'estimer des valeurs normalisées de la demande en énergie et en puissance en fonction des conditions météorologiques et d'évaluer l'impact des programmes commerciaux.

Les modèles de prévision

C'est au début des années 1980 qu'ont démarré les premières études systématiques de l'effet des conditions climatiques sur la demande horaire d'électricité, études qui ont conduit à la réalisation du système de prévision actuellement utilisé à Hydro-Québec. Pour que de telles études soient réalisables, il fallait disposer à la fois des chroniques horaires de la demande et des relevés météorologiques, incluant la température, la vitesse des vents, la nébulosité et la nature des précipitations et ce pour les principales régions de la province de Québec. D'autre part, la mise en production d'un système automatisé pour prévoir la demande exigeait que soit élaboré en parallèle un dispositif de prévisions météorologiques fiable et adéquat.

Les analyses préliminaires ont permis d'établir les principaux facteurs d'influence et de déterminer la méthode de prévision la plus adéquate, compte tenu du contexte météorologique dans lequel opère Hydro-Québec. Deux modèles indépendants sont actuellement en opération, le premier conçu en 1982 et le second en 1993. La prévision utilisée est le résultat d'une somme pondérée des prévisions calculées selon chacun de ces modèles. Bien que le second modèle ait été élaboré à l'origine pour succéder au premier, il est rapidement apparu que l'utilisation combinée des prévisions permettait un gain de précision suffisamment important pour justifier l'emploi des deux modèles et qu'il fallait conserver l'ancien modèle en vue de maintenir les publications de produits connexes tels que les valeurs normalisées en énergie et en puissance, les simulations horaires, etc. Distincts dans leur technique d'estimation, les deux modèles tiennent cependant compte des mêmes facteurs d'influence et, hormis des différences purement mathématiques, on peut les décrire de façon identique. Tous deux utilisent une approche de régression multiple qui se présente schématiquement comme une somme de fonctions modélisant différents effets. L'équation prend la forme suivante:

$$\begin{aligned} \text{Puissance [h,j,t]} = & \text{base [h,j,t]} \\ & + \text{froideur [h,j,t]} \\ & + \text{précipitations [h,j,t]} \\ & + \text{nébulosité [h,t]} \\ & + \text{soleil [h,j,t]} \\ & + \text{infiltration [h,t]} \\ & + \text{climatisation [h,j,t]} \\ & + \text{printemps [h,t]} \\ & + \text{divers[h,j,t]} \end{aligned}$$

Les indices h, j et t indiquent les trois composantes temporelles, soit respectivement, l'heure, la journée et le numéro de séquence du jour. Les sections qui suivent décrivent sommairement chacun des membres de cette équation.

Base [h,j,t]: Demande de base en puissance.

Les habitudes sociales engendrent une certaine constance dans la demande de la puissance électrique du réseau qui peut être perçue au plan des heures et des jours. L'évolution du domaine économique et social entraîne une variation temporelle et régulière de ce niveau de base de la demande. Dans la mesure où l'on veut exprimer le plus simplement possible les variations horaires de la demande, nous résumons les différences quotidiennes de la façon suivante:

- Il n'y a pas de différence significative entre la demande horaire d'un mardi et celle d'un mercredi, d'un jeudi ou d'un vendredi;
- Dans le cas du lundi, il suffit d'apporter une légère correction à la courbe horaire des autres jours de la semaine;
- Les courbes horaires correspondant aux samedis et dimanches sont différentes entre elles, et différentes de celle des jours ouvrables.

La variable "t" permet de prendre en compte l'évolution à long terme, au cours d'une même saison, de ces valeurs de base. Plusieurs facteurs sont susceptibles d'expliquer cette variation légère mais continue; à titre d'exemple, le chauffage de l'eau intervient selon toute vraisemblance mais n'est que partiellement quantifiable. En hiver, la température de l'eau dans les conduites souterraines décroît graduellement jusqu'en février. Ainsi, le chauffage de l'eau nécessite plus d'énergie à mesure que l'hiver avance, phénomène dont on tient aussi compte par le biais d'une variable temporelle et de façon explicite pour la période d'avril à novembre.

Froider [h,j,t]: Influence de la température et du vent.

Pour établir une relation fonctionnelle adéquate entre le niveau de la demande et la température, trois périodes de 4 à 6 mois ont été étudiées de façon indépendante. Cette approche permettait de ne pas tenir compte de l'influence des conditions économiques, sociales et démographiques qui, au cours d'une période de 5 mois, varient légèrement, mais peuvent changer de façon importante au cours d'une année.

Les principes suivants ont guidé l'élaboration de la fonction;

- l'effet du froid s'explique par la combinaison de la température et du vent,

- l'impact au niveau des habitations dépend à la fois des conditions coïncidentes et de celles prévalant au cours des heures précédentes,
- l'étendu du territoire impose l'utilisation simultanée de valeurs météorologiques régionales.

Ces principes ont conduit à la création d'un *indice de froideur* représentatif pour l'ensemble du territoire.

À ces effets structurels des conditions météorologiques, il se greffe un effet conjoncturel caractérisé par l'apport de chaleur causée par les activités humaines, par l'utilisation des thermostats programmables, par des moyens d'économie d'énergie, etc. Toutes ces considérations font que la demande associée au chauffage d'espace dépend du moment de l'année, du jour de la semaine et de l'heure de la journée. Au cours de l'hiver 1998-99, cette fonction a atteint une valeur de 14 000 MW et on estime l'impact moyen d'une variation de 1° Celsius à 400 MW.

Précipitations [h,j,t]: Influence des précipitations.

La présence de précipitation se répercute de deux manières sur la demande: d'une part, le niveau des pertes le long des lignes de transport augmente, et d'autre part, le profil de consommation se modifie.

En effet, la propriété diélectrique de l'air environnant les conducteurs est modifiée selon le type et la quantité des précipitations. En raison des distances considérables séparant les centres de production et de consommation, les pertes par effet « couronne » peuvent atteindre jusqu'à 1 000 MW. Étant donné la complexité du problème, cette question a fait l'objet d'une étude indépendante à la suite de laquelle un modèle spécifique a été mis au point. Ce modèle prend en compte à la fois la nature, la durée et la localisation des précipitations, selon un schéma qui traduit la configuration géographique du réseau¹.

En ce qui concerne la modification des habitudes des consommateurs, l'effet des précipitations est principalement fonction de la région touchée, de la durée et du moment où ces précipitations ont lieu. Cet effet peut atteindre 500 MW.

Nébulosité [h,t]: Influence de la présence des nuages.

¹ Voir le document « Modélisation des pertes sur le réseau de transport en fonction de la demande et des précipitations », Bourret J., 1991, Hydro-Québec.

La nébulosité, pendant la journée, influence principalement la demande reliée au chauffage puisque, par temps clair, le rayonnement solaire contribue à l'augmentation de la température interne des locaux (chauffage passif). Cet effet est modulé en fonction de la température de façon à être maximal par temps très froid, en fonction de l'angle du soleil pour tenir compte du moment du coucher du soleil, et en fonction de l'heure de la journée pour tenir compte des variations horaires de l'impact. La nébulosité a aussi un impact sur les besoins en éclairage, mais il ne peut être dissocié de l'évaluation de l'impact total. Au cours de l'hiver 1998-99, l'impact maximal de la nébulosité a été de 3 000 MW à 15:00 heures.

Soleil [h,j,t]: Influence de l'angle d'incidence du soleil.

L'angle d'incidence du soleil, pour une latitude et une longitude fixées, permet d'évaluer les besoins en puissance occasionnés par l'éclairage. Cette fonction modélise le glissement progressif des heures de pointes au début et à la fin de la journée et permet également de tenir compte du changement du régime horaire en automne et au printemps. L'effet maximal de cette fonction est de 3 000 MW.

Infiltration [h,t]: Influence de l'infiltration de l'air.

La présence du vent modifie de façon considérable la quantité d'air s'infiltrant à l'intérieur des habitations. Conséquemment, la variation de la vitesse du vent a un effet quasi-instantané sur la demande associée au chauffage d'espace. Cet effet est plus ou moins considérable, selon la température extérieure et la région concernée, et peut atteindre 700 MW.

Climatisation [h,j,t]: Influence de la climatisation des habitations.

La puissance requise pour la climatisation des locaux, tout comme celle relative au chauffage, est déterminée par la température extérieure et la vitesse du vent, l'heure de la journée et le jour de la semaine. Cette fonction a permis d'expliquer une demande de 1500 MW au cours de l'été 1999.

Printemps [h,t]: Influence des conditions climatiques du printemps.

La fonction « printemps » joue un rôle d'ajustement de l'évaluation des effets déterminés par les variables climatiques prises une à la fois. Elle entre en fonction à partir de la dernière semaine complète de février, entre 9 et 18 heures. Elle évalue la variation de la consommation due au réchauffement printanier, et les effets de l'interrelation de la nébulosité, de la température et du vent. En effet, à ce moment de l'année, l'impact du triplet température-vent-nuage est très important et atteignait au cours du printemps 1995 jusqu'à 1 100 MW.

Divers [h,j,t]: Autres facteurs.

Différents autres facteurs, en général ponctuels, sont susceptibles d'affecter la puissance horaire. Parmi ceux-ci, on peut noter; l'impact des décorations de Noël, les baisses occasionnées par la période de vacances annuelles en été ou les semaines de relâche scolaire en hiver, les différents programmes de gestion de la demande, dont le programme *biénergie*, etc.

En ce qui concerne les corrections à apporter à la prévision de la demande pendant les jours fériés ou spéciaux, par exemple lors de la période de Noël et du nouvel An, une estimation du biais horaire, basée sur le comportement de la demande lors des années précédentes, est ajoutée à la prévision produite par les modèles.

Aspects opérationnels

Un système informatique très élaboré a été développé au fil des années pour permettre la production, le suivi ainsi que l'analyse des différentes composantes de la prévision. Le système donne également accès aux différentes séries de paramètres qui ont été utilisés dans le passé, aux chroniques de la demande et aux chroniques des conditions météorologiques normales, prévues et réalisées. De plus, l'utilisateur a la possibilité de créer lui-même des scénarios de conditions météorologiques et d'effectuer des simulations avec une ou plusieurs séries de paramètres.

La production et l'ajustement des prévisions en temps réel s'effectuent en observant une séquence d'opérations. Une prévision météorologique complète, pour chacune des neuf régions utilisées, est produite au moins deux fois par jour (trois fois les jours ouvrables) et actualisée automatiquement à chaque fois qu'une valeur réelle est disponible, habituellement à toutes les heures. Ces prévisions couvrent une période de quatre jours. Elles sont élaborées par les météorologues d'Hydro-Québec à partir d'informations relatives à l'évolution des systèmes atmosphériques fournies par le Centre Météorologique Canadien ou reçues directement d'Environnement Canada. Au cours de la journée, la dernière information disponible sur la demande est intégrée à chaque heure de manière à effectuer une autocorrection des prévisions basées sur le dernier écart enregistré. Notons que cette réactualisation horaire des prévisions s'exécutera sur une requête des responsables de la conduite du réseau et que le système complétera cette prévision d'une seconde prévision dont la probabilité de dépassement est fixée pour l'instant à 20%. Enfin, pour des besoins d'analyse, les prévisions sont calculées et conservées à chaque fois qu'une nouvelle prévision météo est émise.

Une réestimation des paramètres en production est faite en général deux fois par mois, en intégrant les dernières valeurs de demande horaire disponibles et en modifiant, le cas échéant, les variantes saisonnières des modèles. A la fin de chaque mois, une compilation des écarts horaires et quotidiens de chacun des deux modèles est effectuée, de même qu'une estimation a posteriori de la pondération optimale des deux modèles et du paramètre d'autocorrection, à la suite de quoi ces paramètres sont réajustés s'il y a lieu, dans la version en production. Finalement, des paramètres « officiels » sont estimés trois fois par année, sur des périodes de quatre mois, et conservés pour des analyses rétrospectives, pour la production de scénarios de demande utilisant diverses conditions météorologiques et pour la publication des statistiques sur la demande normalisée .

Précision des prévisions et indicateurs de performance

Comme on l'a mentionné précédemment, l'introduction d'un second modèle de prévision et l'utilisation conjuguée des prévisions produites par les deux modèles ont permis d'accroître de façon appréciable la précision des prévisions. Ceci s'explique premièrement par le fait que, même si les deux modèles prennent en compte des facteurs d'influence identiques, ces derniers ne sont pas intégrés fonctionnellement de la même manière et que la divergence, même si elle est minime, permet de mieux saisir le comportement de la demande. D'autre part, les écarts résiduels produits par chacun des deux modèles sont du même ordre de grandeur et ont une corrélation relativement faible, environ 40%. Ceci fait en sorte que la moyenne des deux prévisions est meilleure et que les écarts extrêmes (plus de 1 000 MW) sont presque toujours réduits de manière appréciable. Ainsi, à météo réelle connue, la combinaison des deux modèles réduit de 50 MW le niveau de l'écart-type initial qui était de 300 MW.

Le niveau des écarts de prévision demeure néanmoins, et en raison du facteur d'incertitude météorologique, fortement dépendant de l'horizon considéré. Le tableau suivant donne les statistiques obtenues pour l'année 1998-99.

Écarts de prévision selon l'horizon (en % de la demande)

Horizon	Hiver	Été ²
1 heure	0.8 %	1.3 %
24 heures	2.5 %	1.6 %
48 heures	3.1 %	1.8 %

En plus des critères usuels que sont la moyenne et l'écart-type des écarts, deux indicateurs de performance, élaborés dans une entente « client-fournisseur », guident les efforts d'amélioration. Ils sont tous deux axés sur la nécessité de constituer une réserve optimale, et se formulent en terme d'objectif à atteindre dont on observe l'évolution

² La demande lors de la période estivale est 2 fois plus faible que celle durant l'hiver.

d'année en année. Le tableau suivant présente le libellé des ententes ainsi que la compilation des statistiques pour la période du premier décembre au 31 mars.

Le premier objectif est que 85% des écarts, pour les prévisions disponibles 24 heures à l'avance, se situe à l'intérieur d'un intervalle de $\pm 1\ 500$ MW, lorsque la demande atteint ou dépasse 25 000 MW.

Hiver	Heures totales	Heures réussies	% de réussite
1995-96	934	890	95
1996-97	668	583	87
1997-98	353	330	93
1998-99	649	587	90

Le second objectif est que 80 % des écarts, pour les prévisions des pointes AM et PM disponibles 4 heures à l'avance, se situe à l'intérieur d'un intervalle de ± 500 MW.

Hiver	Heures totales	Heures réussies	% de réussite
1995-96	235	190	81
1996-97	240	195	81
1997-98	201	158	79
1998-99	224	176	79

L'activité de suivi des prévisions devient de plus en plus importante. A titre d'exemple, plus de 60 prévisions ou estimations quotidiennes pour une journée précise sont conservées. Ces valeurs permettent de comparer l'efficacité des modèles entre eux, l'effet des révisions des prévisions météorologiques, la précision des prévisions selon l'horizon, etc.

Conclusion

Le système de prévision de la demande horaire a été conçu pour regrouper tous les besoins concernant la relation demande-météo. Il est en exploitation depuis 17 ans. La principale utilisation est la prévision horaire selon plusieurs horizons; le système sert pour prévoir la demande pour les prochaines heures ainsi que celle pour les années 2000 (simulation). Il permet aussi de déterminer les valeurs normalisées de la demande; ces valeurs sont essentielles pour la planification des revenus et la planification à long terme du réseau. De plus, il évalue l'impact sur la demande de certains programmes commerciaux associés à la gestion de la consommation et il estime l'effet des variables météorologiques et des jours fériés. Finalement, ce système est complété par des suivis systématisés des performances des modèles de prévision.