

# ÉLECTRICITÉ : LA RÉOLUTION DE L'ÉQUILIBRE OFFRE-DEMANDE

*L'électricité est un produit de première nécessité qui ne se stocke pas. Aussi, afin d'assurer la sûreté du système électrique, l'adéquation entre l'offre et la demande doit-elle être respectée à tout instant.*

## INTRODUCTION

La sûreté du système électrique est assurée à la fois par RTE, entreprise gestionnaire du réseau de transport, et par les GRD (voir encadré ci-contre)<sup>1</sup>.

Or, la résolution de cet équilibre est soumise à une double contrainte :

– la production d'électricité utilise des moyens différents selon le type de demande; pour une demande de base, les centrales à faible coût de production (nucléaires et hydrauliques sur les fleuves) sont utilisées. En revanche, pour répondre à un pic de demande, les installations dont le coût de production est plus élevé (thermiques à flamme et hydraulique de type lac) sont appelées. En outre, l'appel des moyens de production est régi par le principe de "préséance économique", c'est-à-dire selon les coûts croissants;

– la demande d'électricité, c'est-à-dire la consommation, est une donnée qui varie en fonction de facteurs exogènes.

Aussi la consommation nationale doit-elle être connue afin de prévoir au mieux les moyens de production nécessaires pour la satisfaire. La consommation de chaque site doit également être connue afin que chaque fournisseur puisse injecter dans le réseau la quantité d'électricité la plus proche possible de la consommation de ses clients.

EDF est présente dans tous les métiers de l'électricité : la production et la fourniture, le transport et la distribution. L'entreprise ayant longtemps été en situation de monopole pour tous ces métiers, la gestion de l'équilibre entre offre et demande était facilitée puisque centralisée. Aujourd'hui, l'ouverture à la concurrence a changé la donne puisque la production et la fourniture de l'électricité sont en situation de concurrence et

que plusieurs fournisseurs interviennent désormais dans la résolution de cet équilibre, rendant encore plus complexe la gestion de la sûreté du système électrique.

À cette occasion, il nous a semblé utile de donner quelques informations techniques sur la résolution de l'adéquation offre-demande en matière d'électricité.

### Les acteurs du réseau français

**EDF : Électricité de France.** Principal producteur et distributeur d'électricité, cet ancien établissement public est aujourd'hui une société anonyme (loi du 9 août 2004).

**RTE : Réseau de transport d'électricité.** Cette filiale du groupe EDF, indépendante, dispose du monopole du transport de l'électricité en France.

**DNN : distributeurs non nationalisés.** Ce sont les entités (régies, entreprises...) chargées de la distribution locale d'électricité dans certaines zones (Grenoble, Metz...).

**GRD : gestionnaires des réseaux de distribution.** Terme générique désignant les entités responsables des réseaux de distribution (EDF Distribution et les DNN).

**CRE : Commission de régulation de l'énergie.** Autorité administrative indépendante chargée du bon fonctionnement des marchés de l'électricité et du gaz.

<sup>1</sup> L'ouverture à la concurrence du marché de l'électricité a laissé en monopole les activités de transport et de distribution. En contrepartie, ces activités sont gérées par des entités distinctes : RTE est responsable du transport, les GRD ont la charge de la distribution chacun dans leur zone de desserte. La loi n° 2000-108 du 10 février 2000 dispose ainsi que « le gestionnaire du réseau public de transport assure à tout instant l'équilibre des flux d'électricité sur le réseau. Il procède aux comptages nécessaires à l'exercice de ses missions » (article 15) et que « chaque gestionnaire de réseau public de distribution veille à tout instant à l'équilibre des flux d'électricité, à l'efficacité, à la sécurité et à la sûreté du réseau qu'il exploite. Chaque gestionnaire procède aux comptages nécessaires » (article 19).

## LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ EST SOUMISE À DES ALÉAS

Chaque jour, RTE établit pour le lendemain la prévision de la consommation française : la "courbe de charge nationale".

### Les aléas

Des facteurs exogènes viennent compliquer cette prévision.

- **Les conditions atmosphériques, notamment la température et la nébulosité**

À titre d'exemple, et selon RTE, on estime actuellement qu'en hiver une variation moyenne d'un degré Celsius sur l'ensemble du territoire entraîne une variation d'environ 1 450 mégawatts (MW) de la consommation; en été, la variation est de l'ordre de 500 MW par degré.

La nébulosité est l'indicateur du taux de couverture nuageuse et sa connaissance présente un intérêt car elle a une influence sur l'utilisation de l'éclairage et sur le chauffage. Sa mesure est donnée en octas et varie sur une échelle de zéro à huit (zéro correspondant à un ciel complètement dégagé, huit à un ciel entièrement couvert). La mesure de la nébulosité résulte d'une observation humaine. Une variation moyenne d'un octa sur la France entraîne une variation d'environ 650 MW de la consommation.

- **L'activité économique**

La consommation d'électricité est plus élevée lors des jours travaillés.

- **Les offres commerciales d'effacement de la puissance électrique consommée**

Ces tarifs ont pour objet de modifier le comportement des consommateurs vis-à-vis de leur consommation d'électricité et compliquent un peu plus la prévision de la consommation. Les tarifs "Tempo" d'EDF en sont un exemple : cette option permet aux consommateurs résidentiels de bénéficier de six prix

différents (prix jour et nuit couplés avec trois "couleurs" – par exemple des jours "bleus" avec des tarifs très avantageux et des jours "rouges" où les prix sont très élevés). Les consommateurs ne peuvent bénéficier de cette option que s'ils possèdent un compteur spécifique qui indique la couleur du jour pour le lendemain.

- **L'horaire légal**

L'horaire d'été a pour effet de pratiquement supprimer la pointe de consommation du soir. La consommation journalière maximale est alors atteinte le matin, entre 9 heures et 13 heures. En hiver, au contraire, la pointe de consommation a lieu à 19 heures. Ce changement durable est appelé une rupture.

- **Les événements exceptionnels**

Par exemple, il a été constaté en 1998 lors de la finale de la coupe du monde de football une hausse de la consommation pendant la mi-temps, liée notamment à la mise en route de moteurs comme les réfrigérateurs.

### Les grandes lignes de la consommation

Malgré ces aléas, la consommation électrique a des caractéristiques cycliques bien connues. Par exemple, une pointe de consommation est constatée en janvier, et un creux le 15 août. La consommation est moindre le week-end.

Sur une journée, quatre phases de consommation se distinguent : le creux de la nuit, la pointe du matin, le creux d'après-midi et la pointe du soir. Le maximum de consommation est atteint à la pointe du matin en été et à la pointe du soir en hiver.

Remarque : la courbe de charge et les prévisions sont accessibles au public en temps réel sur le site de RTE à l'adresse < [www.rte-france.com/html/fr/vie/courbes.jsp](http://www.rte-france.com/html/fr/vie/courbes.jsp) >.

## LA PRÉVISION DE LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

### La prévision pour le lendemain

Cette prévision, appelée "courbe de charge de référence", est réalisée par RTE avec l'aide de prévisionnistes.

- À partir des prévisions de Météo France et de données de température et de nébulosité de plusieurs villes françaises, des similitudes sont recherchées avec le passé. Ces historiques, appelés "références", sont le plus souvent les courbes de consommation de la veille, ou les courbes du même jour de la semaine ou de l'année précédente.

- Parallèlement, un modèle de prévision informatique établit sa propre prévision à partir des données de température et de nébulosité.

- Enfin des informations plus qualitatives comme le vent, les précipitations ou la hauteur de la couche nuageuse sont prises en compte. Une étroite collaboration est donc nécessaire entre le prévisionniste de RTE et Météo France

La prévision finale est réalisée par le prévisionniste, qui doit donc trouver un compromis entre les résultats du modèle informatique, les références et les données qualitatives.

Cette courbe sert de guide pour organiser pour le lendemain l'équilibre entre offre et demande, en liaison avec les informations transmises par les acteurs.

Chaque jour sont enregistrés et analysés les écarts entre la courbe de consommation réelle et la courbe prévue.

La qualité de la prévision peut s'évaluer en mesurant l'écart type de la prévision de consommation journalière avec la consommation réalisée le lendemain. Cet écart est généralement estimé à environ 900 MW.

### Les informations transmises pour programmer les moyens

Chaque jour, les producteurs établissent les programmes d'appel et les fournisseurs réalisent les programmes d'approvisionnement. Ces programmes indiquent les quantités d'électricité que ces acteurs prévoient de livrer au cours de la journée suivante afin de pouvoir satisfaire la demande de leurs clients.

Ces informations sont ensuite transmises à RTE qui veille à ce que ces programmes puissent équilibrer la consommation nationale prévue avant de les mettre en œuvre.

RTE veille également à la disponibilité de marges d'énergie suffisantes, appelées "réserves", afin de faire face à d'éventuels aléas.

Depuis la canicule de 2003, RTE et Météo France ont mis en place un dispositif d'alerte en cas de risques météorologiques exceptionnels ou dangereux. Météo France transmet ces informations à RTE qui les traite pour analyser s'il s'agit d'une situation à risque ou non pour l'équilibre du système électrique.

## L'ÉQUILIBRE OFFRE-DEMANDE EN TEMPS RÉEL

### Les moyens mis à disposition

Il s'agit donc de compenser les aléas de consommation (températures imprévues par exemple) ou de production (comme la défaillance d'un groupe de production) en faisant appel, sans délai, à des réserves d'énergie mobilisables à la hausse ou à la baisse.

Différents types de réserves existent : les réserves primaires et secondaires qui sont négociées et contractualisées par RTE avec les producteurs et les fournisseurs, et la réserve tertiaire rapidement mobilisable qui résulte de propositions d'ajustement offertes par les acteurs du marché sur le mécanisme d'ajustement géré par RTE.

D'autres moyens exceptionnels peuvent être mis en œuvre : échange de réserve de secours avec les gestionnaires de réseaux des pays voisins, augmentations très rapides de la puissance produite par certains groupes de production (thermique classique et hydraulique), baisses de tension et délestages de consommation.

### Le mécanisme d'ajustement

Ce mécanisme, créé en 2003, permet de mobiliser les réserves tertiaires pour assurer l'équilibre entre offre et demande, de traiter les congestions et de reconstituer les différentes réserves (primaire, secondaire, tertiaire).

Ce mécanisme est régi par des règles, proposées par RTE en concertation avec les acteurs du marché et approuvées par la Commission de régulation de l'énergie (CRE).

Les acteurs qui souhaitent participer à ce mécanisme doivent passer un contrat avec RTE.

Les offres d'ajustement sont faites la veille pour le lendemain.

Les acteurs qui peuvent proposer des offres d'ajustement sont des producteurs, des gros consommateurs raccordés

## LE RÈGLEMENT DES ÉCARTS

### Le rôle des responsables d'équilibre

RTE, responsable de l'équilibre du système électrique français, met tous les moyens en œuvre pour répondre aux éventuels écarts entre l'offre et la demande. L'écart global constaté sur le système par RTE résulte des déséquilibres produits par les acteurs du marché.

Afin de limiter ces écarts, des "périmètres d'équilibre" ont été créés : chaque périmètre est piloté par un responsable d'équilibre (RE). Le RE doit déclarer à RTE et aux gestionnaires de réseaux de distribution les moyens d'injection et les éléments de soutirage composant son périmètre d'équilibre. Il s'engage vis-à-vis de RTE à compenser financièrement les écarts négatifs constatés a posteriori dans le périmètre d'équilibre, et les écarts positifs sont compensés financièrement par RTE au RE.

Le calcul des écarts s'appuie sur un processus de reconstitution des flux d'injection et de soutirage sur le réseau public de transport et les réseaux publics de distribution. Ce processus est réalisé par RTE et les GRD.

### Le profilage et la reconstitution des flux

La reconstitution des flux consiste à estimer le plus précisément possible la courbe de consommation des RE intervenant sur les réseaux de distribution. À cette fin, les phases d'agrégation et de réconciliation spatiale doivent être réalisées.

au réseau public de transport (qui peuvent alors proposer un effacement de leur consommation) ou des acteurs importants de l'énergie.

Ces offres d'ajustement parviennent à RTE avec leurs caractéristiques : le sens (à la hausse ou à la baisse), la période sur laquelle porte l'offre, le prix de l'offre...

Ainsi, dès que besoin, RTE fait appel à ces disponibilités sur la base de différents critères, principalement celui de la présence économique. Ces critères doivent être objectifs, non discriminatoires et publiés.

### Assurer l'équilibre entre offre et demande à long terme

À long terme, la connaissance de la consommation d'électricité est un des éléments permettant d'avoir une bonne vision de la politique énergétique de la France.

En vertu de l'article 14 de la loi du 10 février 2000, RTE a la charge d'établir un bilan prévisionnel pluriannuel de l'équilibre offre-demande en France tous les deux ans au moins. Ces bilans sont élaborés en considérant plusieurs scénarios sur les évolutions de la consommation et du parc de production et sur les échanges avec l'étranger.

Dans son dernier bilan réalisé en 2005, RTE rappelle que l'évolution de la consommation d'électricité varie en fonction de différents facteurs : l'activité économique, la démographie, la population active, le nombre de ménages, le comportement des utilisateurs, la réglementation, le progrès technique... Pour réaliser ses simulations, RTE effectue un découpage sectoriel (résidentiel, tertiaire, industrie), puis détaille à l'intérieur de ces secteurs des branches d'activités économiques et des usages ; enfin, pour chaque branche ou usage, RTE identifie des grandeurs technico-économiques caractéristiques permettant le calcul des consommations d'énergie (taux d'équipement, nombre et catégories de logements...). À cela s'ajoutent des prévisions en puissances appelées au moment des pointes hivernales et en effacements de consommation.

La prévision de consommation effectuée par RTE a pour horizon l'année 2016.

Afin de pouvoir répondre à cette consommation estimée à long terme, le ministre chargé de l'énergie arrête et rend publique la programmation pluriannuelle des investissements (PPI), qui fixe les objectifs en matière de répartition des capacités de production par source d'énergie primaire et, le cas échéant, par technique de production et par zone géographique.

Lorsque les capacités de production ne répondent pas aux objectifs de la PPI, le ministre peut recourir à la procédure d'appel d'offres.

Cette PPI garantit l'équilibre des modes de production et la répartition géographique des investissements. Elle permet de diversifier les sources d'approvisionnement, de conserver un équilibre entre les différentes formes d'énergies fossiles et nucléaire, et facilite le développement de toutes les énergies renouvelables.

La mise en marche de nouvelles installations doit faire l'objet d'autorisations. Elles sont délivrées selon un certain nombre de critères (loi de 2000).

L'agrégation des données de consommation est réalisée par chaque GRD. La consommation des "gros" consommateurs d'électricité est connue demi-heure par demi-heure, puisque ces derniers sont équipés de compteurs télérelevés à courbe de charge.

En revanche, la consommation des petits consommateurs (les particuliers par exemple), qui sont équipés de compteurs à index, est estimée par la technique du profilage<sup>2</sup>.

Quinze profils ont donc été constitués (dont quatre pour les résidentiels) par le GRD EDF à partir d'études statistiques sur des échantillons de clients. La forme des profils varie en fonction des différentes périodes de l'année et peut être déformée en fonction de la température moyenne nationale, ce qui permet de prendre en considération les influences de la température sur la consommation d'électricité.

Le profilage permet ainsi d'obtenir la courbe de charge théorique de chaque client demi-heure par demi-heure.

Cette courbe de charge agrégée ainsi que la courbe de charge des pertes de chaque RE sont ensuite transmises à RTE.

RTE est responsable de la réconciliation spatiale sur la base des informations transmises par les gestionnaires de réseau.

La réconciliation spatiale est la répartition de l'écart constaté entre la somme des courbes agrégées des RE et la courbe de consommation nationale. Cet écart est réparti pour chaque demi-heure entre tous les RE au prorata de leur consommation profilée respective (si la consommation profilée affectée à

un RE pour une demi-heure donnée représente 80 % de la somme des consommations profilées, il lui sera attribué 80 % de l'écart constaté par RTE).

À l'issue de cette réconciliation spatiale, chaque RE dispose d'une courbe de charge qui sert pour le calcul des écarts de la même façon que la courbe de charge télérelevée d'un grand site industriel.

Intervient ensuite la réconciliation temporelle, qui est la valorisation financière de la différence entre l'électricité réellement consommée (elle est connue lors du relevé des compteurs) et estimée lors de la réconciliation spatiale pour chaque responsable d'équilibre. Cette opération intervient après que les compteurs des clients ont été relevés.

**Murielle Denouette**

• Merci à Jean-Claude Millien (GRD EDF) et Eric Thébault (RTE) pour leur aimable collaboration.

• Lire également les études sur l'ouverture du marché de l'électricité et la loi énergétique publiées dans les n<sup>os</sup> 1327 et 1371 d'*INC Hebdo*, accessibles via <[www.incpro.conso.net](http://www.incpro.conso.net)>.

<sup>2</sup> Dans un souci de non-discrimination, de transparence et de neutralité vis-à-vis des fournisseurs et des clients, la CRE a souhaité que les profils soient élaborés uniquement sur les critères techniques des clients (type de compteur installé, puissance souscrite), indépendamment de leur activité économique, afin d'éviter tout arbitrage dans l'attribution du profil.

## Les risques de défaillance et les coupures d'électricité

Pour éviter les risques de défaillance générale, la politique énergétique doit être efficace. Pour cela, elle s'appuie sur les programmations pluriannuelles des investissements (PPI) qui elles-mêmes reposent sur les bilans prévisionnels de RTE (voir encadré en page précédente).

Le dernier bilan de RTE indique que la question de la sécurité de l'approvisionnement risque de se poser à partir de 2009. En effet, son étude indique que l'accroissement programmé des capacités de production ne suffira pas à compenser l'augmentation prévisible de la demande d'électricité et l'arrêt d'unités de production.

Ajoutons qu'en outre, le service public de l'électricité a pour objet de garantir l'approvisionnement en électricité sur l'ensemble du territoire, dans le respect de l'intérêt général. L'approvisionnement des zones du territoire non interconnectées au réseau métropolitain est garanti.

### Les risques de coupures ponctuelles

Les coupures constituent un bon indicateur de la qualité de l'électricité sur le réseau public de transport.

Le rapport annuel 2005 de RTE indique une amélioration des fréquences des coupures brèves (-25 % par rapport à 2004) ainsi que celles des coupures longues.

En 2005, les coupures de fourniture proviennent principalement des incidents de matériel (51 % de l'énergie non distribuée), des conditions atmosphériques (32 % de l'énergie non distribuée) et des causes extérieures aux réseaux électriques ou au réseau de transport (11 % de l'énergie non distribuée).