



CGI

La force de l'engagement^{MD}

3

Le paradoxe de l'adaptation de la demande



L'importance des marchés et des
politiques pour l'adaptation de la
demande
*Série d'études
techniques*

Table des matières

INTRODUCTION	1
L'ÉVOLUTION DE L'INDUSTRIE	1
ÉNERGIES RENOUVELABLES	1
LE LIEN ENTRE L'OFFRE ET LA DEMANDE	3
MÉTHODES ET PRODUITS D'ADAPTATION DE LA DEMANDE.....	4
L'OFFRE ET LA DEMANDE À LA VITESSE DE LA LUMIÈRE	6
COORDINATION MULTI-AGENTS.....	6
APPLICATION EFFICACE DE L'ADAPTATION DE LA DEMANDE DANS DIFFÉRENTES STRUCTURES DE MARCHÉ	7
EXIGENCES POUR UNE UTILISATION OPTIMALE DE L'ADAPTATION DE LA DEMANDE.....	8
RÉSUMÉ.....	10

INTRODUCTION

Faisant suite aux deux études précédentes, qui ont présenté le phénomène de l'adaptation de la demande et expliqué comment les services publics sont contraints à évoluer, la présente étude porte sur les conditions nécessaires pour créer une structure de marché qui permet de dégager la valeur de l'adaptation de la demande. Elle présente également les avantages et les produits pouvant être créés grâce à cette approche.

Cette étude technique traite des principaux sujets suivants.

- L'évolution de l'industrie
- Le lien entre l'offre et la demande au sein du marché de l'électricité
- Les méthodes et les produits d'adaptation de la demande
- La difficulté de réaliser l'équilibre entre l'offre et la demande
- L'adaptation de la demande dans différentes structures de marché

L'ÉVOLUTION DE L'INDUSTRIE

En dépit de la complexité de sa mise en œuvre, l'architecture du réseau actuel est relativement simple, car la production est largement prévisible et délibérément commandée. La demande est également bien comprise, prévisible et passive, et la gestion active de la demande, le stockage réparti ou les flux d'information en temps réel posent peu de risques de complications¹.

Cependant, cette situation est en voie de changer, et ce changement se poursuivra pendant plusieurs années, à mesure que d'autres sources renouvelables seront introduites et que la nature de la demande se transformera dans un contexte d'électrification du chauffage et des transports. Ce nouveau contexte constituera une excellente occasion d'utiliser l'adaptation de la demande et d'accroître la taille du marché pour l'adaptation de la demande. Mais pourquoi le fait de passer d'un paradigme de « suivi de la charge » à un paradigme de « suivi de l'offre » influe-t-il sur l'utilisation de l'adaptation de la demande alors que l'industrie évolue en réponse aux changements liés à la technologie et au style de vie?

L'un des changements qui s'opèrent est la pénétration accrue de la production renouvelable. La variabilité de la production aux emplacements distribués signifie que dans le futur, au lieu de commander la production de manière à suivre la charge actuelle, la demande sera appelée à suivre l'offre. L'une des difficultés qui en découlent, en ce qui a trait à la fiabilité de l'infrastructure électrique, est le flux bidirectionnel de l'énergie. L'utilisation de ressources d'énergie distribuées (solaire, éolienne, stockage) aux sites clients et aux points intermédiaires rend possibles les flux d'énergie dans plusieurs directions, ce qui n'a pas été prévu dans les contrôles du réseau et les systèmes de marché de la génération actuelle, et cela pose de nouveaux défis pour les exploitants de systèmes.

Cela donne également lieu à un nouveau paradigme de conception des systèmes distribués. Dans le passé, l'infrastructure électrique était conçue pour répondre à la demande durant les périodes de pointe, mais avec les approches de conception traditionnelles, plus l'intermittence est grande, plus les charges de pointe sont élevées et plus les facteurs de charge sont bas. L'adaptation de la demande offre la possibilité de faciliter le maintien ou l'augmentation des facteurs de charge en réduisant la demande de pointe, et en évitant ainsi les investissements additionnels dans l'infrastructure. Mais il faudra avant tout que le réseau s'adapte avec plus de flexibilité aux changements apportés par des facteurs comme la production d'électricité par le consommateur, les véhicules électriques, et la capacité des appareils de communiquer entre eux.

ÉNERGIES RENOUVELABLES

Les génératrices décentralisées (solaires et éoliennes) comportent des caractéristiques très différentes des génératrices des centrales traditionnelles (charbon, gaz et énergie nucléaire). Traditionnellement, l'énergie était produite en fonction de la demande, alors que l'énergie renouvelable n'est disponible que lorsqu'il y a du vent ou du soleil, et il faut l'utiliser (en la consommant ou en la stockant) dès ce moment. Pour les génératrices traditionnelles, l'offre doit également être consommée le plus tôt possible, mais dans le cas des énergies renouvelables, la demande doit suivre l'offre. En outre, le caractère imprévisible de l'énergie renouvelable, qui dépend des conditions météo locales, pose un problème supplémentaire; les prévisions météo détaillées ont donc une importance cruciale.

Enfin, lorsque la demande doit suivre l'offre, nous avons besoin d'adapter la demande ou de faire appel à des solutions de stockage. La présente série d'études techniques traite de cet aspect, et les utilisateurs doivent avoir la souplesse nécessaire pour modifier leur consommation au cours du temps afin d'équilibrer l'offre. On peut également devoir stocker l'énergie générée afin de pouvoir l'utiliser plus tard, lorsque la demande est là. La présente étude ne traite pas précisément du stockage de l'énergie, mais ce dernier jouera un rôle important dans le futur, et peut agir à la fois en tant que génératrice et en tant que charge. L'intégration du stockage sera cruciale, car elle permettra davantage de souplesse. Le stockage peut également donner naissance à de nouveaux marchés comme les échanges de stockage entre participants en fonction des créneaux horaires et de la disponibilité. Alors que le prix du stockage continue de baisser, les taux d'adoption et les répercussions associées continuent d'augmenter.

Souplesse²

Il existe de nombreuses façons d'assurer la souplesse d'un système d'énergie. De nos jours, la souplesse requise pour maintenir l'équilibre entre l'offre et la demande en électricité est principalement réalisée grâce aux caractéristiques de la production combinée.

¹ *Britain's Power System: The Case for a System Architect*. Rapport. Institution of Engineering and Technology, 2014.

² Développé par CGI en appui de l'initiative « Tomorrow Today » du Royaume-Uni.

À mesure que l'adoption progressive des technologies à faible émission de carbone change la nature de l'offre et de la demande, à la fois dans notre manière d'utiliser l'énergie et de répondre à nos besoins énergétiques, la souplesse prend davantage de valeur.

En raison de la plus grande intermittence de la production combinée issue des technologies de production d'énergie renouvelable, il devient important d'avoir la capacité d'accroître la demande souple afin de consommer l'énergie lorsqu'elle est disponible, de stocker l'énergie lorsque la production excède la demande, ou d'exporter l'énergie par l'intermédiaire des interconnexions.

Le stockage n'équivaut pas nécessairement à des batteries électriques. L'énergie peut tout aussi bien être stockée sous forme d'énergie thermique (chaleur ou froid), cinétique (volants d'inertie), potentielle (pompage ou air comprimé) et chimique (par la conversion vers des sources de combustible comme l'hydrogène).

Lorsque la demande excède la capacité de production disponible, la possibilité de répondre à la demande à partir du stockage, d'utiliser la flexibilité de la demande en la réduisant ou en la modifiant, ou d'importer de l'énergie par l'intermédiaire des interconnexions, sont des formes tout aussi utiles de souplesse du système d'énergie.

Trois exemples présentés ci-après illustrent certaines des nouveautés qui deviennent de plus en plus courantes : la recharge des véhicules électriques, les maisons intelligentes avec une solution d'adaptation de la demande, et l'étude nationale « Tableau de Bord de l'Habitat » pour la gestion active de la consommation de l'énergie dans les foyers en France.

Véhicules électriques

L'approche « tout électrique » est l'un des scénarios futurs dans lequel les véhicules électriques joueront un rôle principal. Cependant, les véhicules électriques posent un défi pour le réseau électrique. Que se passerait-il si tout le monde arrivait à la maison à la même heure le soir et décidait de brancher simultanément son véhicule électrique? La capacité de pointe du réseau devrait être beaucoup plus élevée qu'aujourd'hui, et les véhicules électriques ne seraient plus commercialement justifiables s'il fallait reconstruire l'infrastructure. Par exemple, la charge imposée aux transformateurs au niveau résidentiel nécessiterait une augmentation énorme de la capacité des transformateurs pour gérer la période de pointe.

La recharge intelligente, selon laquelle le réseau décide quelles voitures recharger à quel moment et à quelle rapidité, est une solution possible. Mais le confort et la flexibilité demeurent des aspects cruciaux pour l'utilisateur final. Il doit y avoir un niveau de contournement ou des points de consigne dépendant de différents facteurs qui permettent au système d'optimiser la recharge en fonction de la valeur pour le client, de manière à ce que ceux qui ont besoin de leur voiture plus rapidement puissent s'assurer qu'elle sera rechargée plus tôt. Aux Pays-Bas, plusieurs de ces projets pilotes de recharge intelligente des véhicules électriques ont déjà été exécutés.

À l'heure actuelle, plus de 65 000 véhicules électriques (véhicules hybrides rechargeables et entièrement électriques) sont déployés aux Pays-Bas. Les exploitants des systèmes de distribution ont du mal à se préparer aux défis à venir, par exemple les charges de pointe, que poseront les véhicules électriques. Par ailleurs, les parties responsables de l'équilibrage peinent à acheter de l'électricité au moment opportun, sachant que les caractéristiques de recharge des véhicules électriques s'éloignent des habitudes normales et sont moins prévisibles, et que cela peut entraîner des pénalités. Des projets pilotes ont également été lancés pour mettre en œuvre des solutions où la recharge des véhicules électriques est fondée sur des facteurs comme l'heure à laquelle un véhicule électrique doit partir pour un autre déplacement.

Chez CGI, nous avons entrepris une étude de recherche pour une thèse de maîtrise sur l'interaction avec les utilisateurs et la recharge intelligente³. Dans le cadre de cette étude, plusieurs modèles d'abonnement ont été testés sur un groupe de conducteurs de véhicules électriques : abonnement régulier (prix au kWh), abonnement souple (petite prime mensuelle à la souplesse) et super-souple (prime mensuelle plus élevée pour faire preuve de souplesse).

Les résultats ont démontré qu'il n'y avait pas de préférence évidente pour un abonnement particulier. Chaque modèle a reçu le même nombre de votes. Cependant, lorsqu'une situation d'urgence se présentait dans le cadre des abonnements souples (moyennant une petite pénalité), les deux tiers du groupe préféraient un abonnement super-souple. Cela confirme que les incitatifs financiers pourraient être efficaces, mais que la perception du confort et de la souplesse est très importante.

Maisons intelligentes

Aux Pays-Bas, CGI a également mis sur pied deux projets de maisons intelligentes où des incitatifs financiers sont utilisés pour encourager les utilisateurs à utiliser l'énergie à d'autres moments. Dans le cadre de ces projets, des centaines de maisons sont équipées de panneaux solaires et de pompes thermiques, et un « calculateur d'énergie » local gère la consommation d'électricité en ajoutant des électroménagers intelligents, par exemple des machines à laver intelligentes, au système. Ces projets ont pour objectif la mise en œuvre d'une solution complète et l'étude du comportement des utilisateurs. Par exemple, les prévisions météo servent à prédire l'énergie solaire qui sera produite quotidiennement et l'établissement de prix variables (pour la production et le transport) a pour but d'encourager les gens à utiliser l'énergie aux moments les plus opportuns. Les conclusions tirées de ces projets confirment que les utilisateurs seront souples s'ils peuvent économiser ou s'ils pensent économiser (perception). En outre, la plupart des utilisateurs n'utilisaient pas toutes les possibilités techniques offertes, par exemple, la mise en marche automatique de leurs machines à laver. Dans la pratique, la plupart des gens démarraient leurs appareils manuellement lorsque le prix était bas ou lorsqu'il faisait soleil. Cela contredit la croyance populaire selon laquelle l'approche « réglez et n'y pensez plus » est la meilleure façon de motiver les clients.

³ Arie van Weelden : « EV Charging Flexibility »

Gestion active de la consommation de l'énergie en France

Menée sous les auspices de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), cette étude repose sur plusieurs technologies innovatrices : les capteurs optiques pour mesurer la consommation, la tablette pour maison intelligente ARCHOS et plusieurs objets connectés (p. ex., les capteurs de température et d'humidité, les prises intelligentes, etc.) Le projet TBH (Tableau de Bord Habitat) Alliance, proposé par un consortium d'entreprises et dirigé par les services-conseils d'entreprise de CGI, a pour but d'effectuer une étude préliminaire sur un échantillon national représentatif de 3 200 foyers français, afin de comparer les économies d'électricité potentielles pour les différents appareils lorsque l'on a recours à la gestion de la demande.

Les objectifs de cette étude devant durer plus d'un an et se terminer en mars 2017 sont les suivants.

- Établir une comparaison quantitative des économies d'énergie potentielles pour différentes solutions.
- Déterminer l'acceptabilité des différentes solutions dans les foyers.
- Déterminer les fonctionnalités pertinentes les plus faciles à utiliser et les plus efficaces en ce qui a trait aux économies d'énergie.

Les foyers de l'échantillon seront ventilés en sous-volets de plusieurs centaines de maisons chacun. Un ou plusieurs facteurs à tester seront attribués à chaque groupe. Cette approche permettra non seulement d'effectuer des comparaisons scientifiques et statistiques pour chaque appareil, mais également de tester des approches mettant en jeu plusieurs appareils.

LE LIEN ENTRE L'OFFRE ET LA DEMANDE

Avant de s'attarder en particulier sur les avantages de l'adaptation de la demande dans le marché de l'électricité, il est utile d'examiner rapidement la relation entre l'offre et la demande en général. La loi de Say stipule que « l'offre crée sa propre demande ». Cet adage est certainement vrai dans certains types d'économies. Dans le marché de l'électricité d'aujourd'hui, c'est davantage la demande qui crée l'offre, mais cette situation commence à changer.

Cependant, dans le modèle économique traditionnel, le paradoxe de l'épargne est la réponse keynésienne à la loi de Say. Ce paradoxe affirme qu'un particulier qui épargne réduira ses dépenses du même montant. Puisque les dépenses d'une personne correspondent au revenu d'une autre, une réduction des dépenses entraînera une baisse de revenu.

Pour ajouter un peu plus de confusion, il existe également l'inverse du paradoxe de l'épargne. En bref, il stipule que parce que le revenu augmente, l'épargne augmente également. Ce qui peut entraîner un désir d'épargner davantage, et une volonté de créer de nouvelles épargnes dans une économie. Selon la perspective keynésienne, le seul cas dans lequel une demande plus grande ne stimulera pas la production et l'emploi est quand toutes les ressources sont déjà entièrement engagées.

Qu'est-ce que cela signifie pour le réseau électrique? En prenant les lois une à la fois, elles pourraient avoir les implications suivantes.

- **Loi de Say**
Le réseau électrique comporte des analogies avec la loi de Say. Aujourd'hui, les gens ne consomment pas l'énergie simplement parce qu'elle est produite, c'est plutôt la charge (demande) qui crée la production (offre). Cependant, à mesure que les énergies renouvelables deviendront une partie plus importante du portefeuille de production, la loi de Say s'appliquera davantage, puisque la charge devra commencer à s'adapter à la production renouvelable.
- **Paradoxe de l'épargne**
Le parallèle avec l'électricité est ici évident. Si la personne consomme moins d'énergie, il s'ensuit une réduction du revenu du service public ou du fournisseur d'énergie. Ainsi, une réduction de la consommation d'énergie entraîne une baisse de revenu pour un fournisseur d'énergie. La situation devient plus complexe lorsque nous prenons en compte les mécanismes d'établissement des prix des producteurs et les contraintes de distribution.
- **Le paradoxe inverse de l'épargne**
Il s'agit d'une situation dans laquelle un revenu plus élevé permet un investissement dans des technologies d'économie de l'énergie. Ce qui comprend l'achat d'électroménagers neufs et une isolation plus efficace du domicile et un revenu plus élevé des consommateurs, se traduisant ainsi par des économies d'énergie, qui entraînent à leur tour une réduction du revenu pour les fournisseurs d'énergie.

En ce qui concerne l'électricité, il est intéressant de constater que si nous supposons que la consommation globale d'énergie est généralement constante (c.-à-d. qu'elle n'augmente ou ne diminue pas), alors, avec ou sans efficacité énergétique, le revenu de l'entreprise de services publics attribuable aux ventes d'énergie diminuera à mesure qu'augmenteront les sources de production renouvelable mises en service (en supposant qu'elles n'appartiennent pas à l'entreprise de services publics). En fait, les ventes totales d'électricité aux É.-U. ont diminué sur quatre des cinq dernières années⁴, et elles continueront de baisser. Depuis 2007, 2010 a été la seule année durant laquelle la consommation d'électricité fut en hausse, alors que le pays sortait de la récession de 2008-2009. En outre, nous voyons également que le secteur de la production d'énergie électrique aux États-Unis a perdu plus de 5 800 emplois entre janvier 2011 et juin 2014, en dépit d'un gain de près de 1 800 emplois liés à la production d'électricité renouvelable autre qu'hydroélectrique, selon les données disponibles du Bureau of Labor Statistics (BLS)⁵.

⁴U.S. Energy Information Administration, 20 décembre 2013.

⁵U.S. Energy Information Administration, 19 décembre 2014.

MÉTHODES ET PRODUITS D'ADAPTATION DE LA DEMANDE

Afin de réaliser l'équilibre entre l'offre et la demande au sein du réseau électrique, chaque côté doit avoir un certain niveau d'adaptabilité aux signaux de contrôle. Cela ne suppose pas que le contrôle est centralisé ou décentralisé, mais seulement qu'il existe un système de contrôle ayant pour but d'assurer, de manière fiable et sécuritaire, un équilibre entre l'offre et la demande.

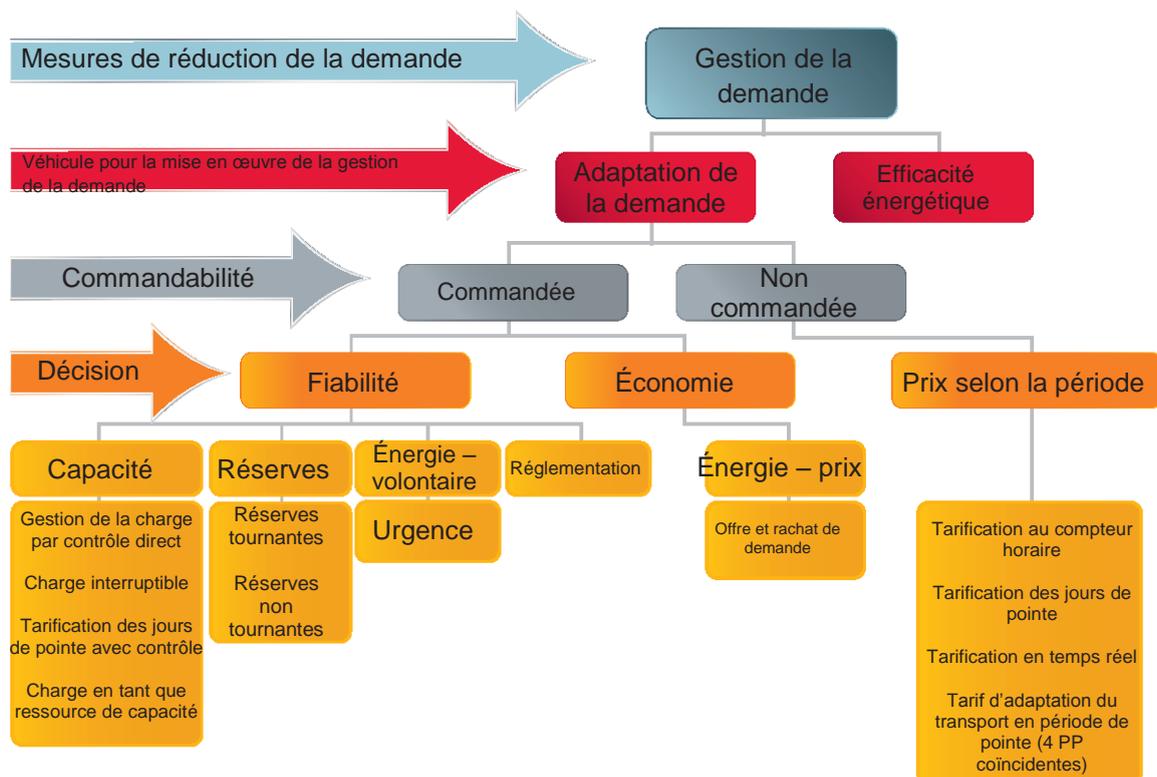
L'adaptation de la demande peut être à la fois commandée et non commandée. Pour un contrôle direct (adaptation de la demande commandée), les entreprises de services publics peuvent choisir de réduire la charge en fonction du prix ou des facteurs de fiabilité, ou peut-être des deux. Dans ces types de scénarios, le client ne voit pas ces facteurs et est généralement rémunéré sous la forme d'un paiement annuel pour sa participation au programme. Dans le cas de l'adaptation de la demande non commandée (voir la figure 1), les clients reçoivent un signal de prix qui les incite à intervenir, ou bien l'équipement préprogrammé intervient automatiquement, et le client peut choisir d'accepter ou de refuser cette intervention. Le client ne réagit pas à l'état du système, mais plutôt aux prix. Le choix est simple pour les clients, mais les conséquences de leurs choix font partie d'un schéma de commande hiérarchique et coordonné.

Le diagramme suivant⁶ est utile pour illustrer la différence entre l'adaptation de la demande commandée et non commandée, ainsi que les facteurs qui exigent l'adaptation de la demande, fondés sur l'économie ou la fiabilité, décrits précédemment.

Commandée

L'« adaptation de la demande commandée » fait référence aux changements planifiés de la consommation que les clients acceptent de faire en réponse à une consigne externe. Cela comprend le contrôle de charge direct des électroménagers des clients (par exemple, les appareils de climatisation et les chauffe-eau), les réductions commandées moyennant des tarifs réduits (appelés tarifs tronqués ou interruptibles), et un éventail de programmes du marché de gros offerts par les organisations de transport régional ou les exploitants de réseaux indépendants qui récompensent les participants qui réduisent leur demande lorsqu'ils en reçoivent la consigne pour des raisons de fiabilité ou d'économie. Cette consigne de réduction de la charge peut être en réponse à l'acceptation de l'offre du client désirant vendre sa réduction de la demande à un prix donné dans un marché structuré (adaptation de la demande en réponse au prix de gros) ou à un fournisseur au détail.

Catégories de gestion de la demande



⁶Demand Response Availability Data System (DADS): Phase I & II Final Report. Rapport. Princeton : NERC, 2011.

Naturellement, le nombre de clients qui souhaiteraient participer activement à un marché d'échange est sujet à discussion, mais la participation par l'entremise d'un tiers est probablement une option viable et attrayante. Les réactions seront certainement nuancées, mais à mesure que nous descendons dans l'échelle des charges commandées, potentiellement jusqu'au niveau des installations domestiques virtuelles, il est peu probable que les consommateurs feront eux-mêmes une « offre ». Plus vraisemblablement, leur contrat de services énergétiques comportera une composante de disponibilité à laquelle l'entreprise ou le revendeur de services énergétiques pourra faire appel. Ce bureau d'échange des détaillants en énergie leur assurerait une protection contre l'exposition au marché de gros, et leur permettrait d'allonger ou de raccourcir leur position au besoin. Et allongeant leur position dans un marché de gros en hausse, ils peuvent soit réduire leur exposition, s'ils ont une position courte, soit allonger leur position et vendre pour réaliser un profit.

Il est possible que l'adaptation de la demande offre plus de valeur avec les détaillants/négociants d'énergie plutôt qu'avec les exploitants de réseaux, qui gèrent la demande sur des réseaux déterminés et se heurtent aux contraintes de capacité de cette infrastructure. Mais il faut réaliser l'équilibre entre l'offre et la demande, et l'adaptation de la demande pourra offrir une solution souple et extensible à mesure que les charges deviendront plus réactives.

Non commandée

L'« adaptation de la demande non commandée » désigne les programmes et produits par lesquels le client décide s'il réduira sa consommation et à quel moment, en fonction d'un tarif de détail qui varie selon la période. Cette approche est parfois appelée « demande sensible au prix de détail » et comporte des programmes de tarification dynamique qui haussent les prix durant les heures de forte demande et baissent les prix à d'autres périodes⁷.

Du point de vue du contrôle, l'adaptation de la demande commandée permet de prévoir le résultat de la mesure de contrôle. Par contre, avec l'adaptation de la demande non commandée, les entreprises de services publics ne sont pas aussi certaines des résultats, puisqu'intervient alors un élément de comportement des clients qui doit être modélisé. Un client peut accepter un réglage de point de consigne lors d'une journée à 38 degrés afin de maintenir la fiabilité du système qui est sous une forte pression en raison de l'utilisation de la climatisation, mais après plusieurs jours de canicule, le consommateur peut décider qu'il est plus important de se rafraîchir que d'éviter une hausse des tarifs.

⁷National Action Plan on Demand Response. Rapport. Washington, D.C.: FERC, 2010.

⁸Newport Consulting, Paul De Martini. DR 2.0: *Future of Customer Response*. Rapport. Association for Demand Response & Smart Grid, 2013.

Produits d'adaptation de la demande

La manière dont l'adaptation de la demande est utilisée lui permet d'être traitée comme un produit qui peut aller au-delà des simples réductions durant les périodes de consommation de pointe et inclure un déplacement de la consommation des heures de pointe aux heures creuses, en fournissant également les produits décrits ci-dessous. Dans les années à venir, l'adaptation de la demande sera axée sur l'évolution de l'utilisation potentielle des ressources d'énergie distribuées et souples des clients afin de fournir davantage de services aux marchés et aux entreprises de transport et de distribution⁸.

Aujourd'hui, l'adaptation de la demande peut être classée dans l'une des catégories de produits suivantes⁹.

- **Énergie**
Les ressources en matière de demande ne sont compensées qu'en fonction de leur rendement au chapitre de la réduction de la demande durant un événement d'adaptation de la demande.
- **Capacité**
Les ressources en matière de demande ont l'obligation, durant une période définie, d'être disponibles pour adapter leur demande au moment du déploiement par l'exploitant du système. La maturité de la charge en tant que ressource en capacité est une étape importante de l'évolution de l'adaptation de la demande et d'autres ressources d'énergie distribuées souples pour éventuellement offrir un éventail plus grand de services du réseau de production et de transport. Ces services comportent également un ensemble croissant de services auxiliaires¹⁰.
- **Le paradoxe inverse de l'épargne**
Il s'agit d'une situation dans laquelle un revenu plus élevé permet un investissement dans des technologies d'économie de l'énergie. Cela inclut l'achat d'électroménagers neufs et d'une isolation plus efficace du domicile, un revenu plus élevé des consommateurs se traduisant ainsi par des économies d'énergie, qui entraînent à leur tour une réduction du revenu pour les fournisseurs d'énergie.
- **Réserve**
Les ressources en matière de demande doivent être disponibles pour adapter leur demande au moment du déploiement par l'exploitant du système, en fonction des exigences en capacité de réserve qui sont établies pour respecter les normes de fiabilité applicables.
- Réserve tournante : Capacité déchargée des unités déjà connectées ou synchronisées au réseau qui peuvent fournir de l'énergie en 10 minutes et demeurer en marche pendant au moins deux heures.
- Réserve non tournante : Capacité de production supplémentaire qui n'est pas connectée ou synchronisée au réseau, mais qui peut être activée et renforcée jusqu'à une charge spécifiée en moins de 10 minutes.

⁹Demand Response Availability Data System (DADS): *Phase I & II Final Report*. Rapport. Princeton : NERC, 2011.

¹⁰Newport Consulting, Paul De Martini. DR 2.0: *Future of Customer Response*. Rapport. Association for Demand Response & Smart Grid, 2013.

- **Régulation**

Les ressources en matière de demande qui fournissent un service de régulation réagissent automatiquement aux changements de fréquence du réseau (semblable à l'action du régulateur sur une génératrice), et sont également soumises à une commande continue basée sur les instructions de l'exploitant du système (semblable au contrôle automatique de la production). Il n'y a pas de corrélation entre la prestation d'un service de régulation et les horaires, échéances et durées de l'adaptation de la demande. Les programmes d'adaptation de la demande existants continuent d'offrir une grande valeur ajoutée, mais on constate de plus en plus d'écarts entre les exigences opérationnelles du système électrique et le rendement des programmes d'adaptation de la demande, et ces derniers requièrent des améliorations et des mises à niveau technologiques potentielles¹¹ qui pourraient être assurées par une adaptation de la demande plus souple et sensible.

L'OFFRE ET LA DEMANDE À LA VITESSE DE LA LUMIÈRE

L'adaptation de la demande est un outil qui aide l'industrie à établir l'équilibre entre l'offre et la demande, en plus de fournir de la capacité. Essentiellement, dans un marché, les vendeurs se situent du côté de l'offre alors que les acheteurs sont du côté de la demande. Conceptuellement, c'est assez simple, sauf que dans les faits, l'offre et la demande ne sont pas si simples. La demande est une relation indiquant que les acheteurs achèteront à différents prix. Mais pour la plupart des consommateurs d'électricité, cela n'est pas le cas, aujourd'hui du moins.

Pour bien des gens, le prix est fixe, et nous utilisons ce dont nous avons besoin. Ainsi, la plupart des consommateurs résidentiels et des petits commerçants achètent encore l'électricité en fonction de structures tarifaires qui ne varient ni *ex ante* (une journée à l'avance) ni en temps réel¹², et ne dépendent aucunement des changements dans les conditions globales de l'offre et de la demande, les coûts marginaux ou les prix du marché de gros. C'est peut-être vrai pour la plupart des pays.

Quant aux vendeurs de programmes d'adaptation de la demande, il n'est pas clair qu'ils se trouvent du côté de l'offre ou de la demande (voir la discussion ultérieure sur FERC 745), et on pourra considérer qu'ils se trouvent du côté de la demande. Cela nous amène aux nuances autour des fournisseurs de stockage, à savoir s'ils sont du côté de l'offre ou du côté de la demande, et s'ils changent de position selon qu'il y a pénurie ou surplus d'électricité échangeable dans le marché.

Dans de nombreux marchés (autres que celui de l'électricité), la relation de demande peut être représentée par un tableau ou un graphique indiquant les prix et les quantités correspondantes d'électricité demandée. L'acheteur utilise cette relation pour décider quoi acheter et à quel moment. La notion de prix peut être élargie pour inclure le temps, le déplacement, l'inconfort et l'inconfort que l'acheteur doit perdre ou subir ou pour obtenir le produit ou le service. Cela est tout aussi vrai pour les marchés d'électricité fondés sur la tarification au compteur horaire ou dynamique, mais dans le cas de l'électricité, la décision d'un acheteur ou d'un groupe d'acheteurs de reporter un achat influe non seulement sur les prix du marché, mais également sur la capacité de fonctionner du marché en raison de son influence sur la fiabilité, si un nombre suffisant d'acheteurs prend des décisions similaires.

L'équilibre entre l'offre et la demande en électricité doit se produire instantanément. Mais à mesure que nous nous éloignons de la production centralisée, avec l'entreprise de services publics en tant que distributeur et dans bien des cas en tant que vendeur, et nous nous dirigeons vers un monde de marchés d'électricité libéralisés dans lesquels il y a autant de vendeurs que d'acheteurs d'énergie, ces derniers agissant également comme vendeurs, le défi de l'équilibrage devient soudainement beaucoup plus complexe. Une adaptation de la demande plus souple et réactive est exactement ce dont l'industrie a besoin. Les modèles économiques et réglementaires peuvent changer de nos jours, mais il faut toujours obéir aux mêmes lois de la physique¹³ qu'il y a 100 ans, et aucun de nos nouveaux instruments financiers ne fonctionnera si nous ne pouvons pas contrôler le flux d'énergie.

COORDINATION MULTI-AGENTS

Dans le futur, il sera essentiel d'effectuer une coordination distribuée intelligente pour assurer l'exploitation efficace de l'infrastructure électrique. Le logiciel à code source libre PowerMatcher développé par Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO)¹⁴ est un système de coordination multi-agents facilité par le Flexible Power Alliance Network¹⁵ (FAN) qui a été mis au point pour assurer ce type de coordination. Le cœur du système est un marché électronique où les agents de contrôle locaux négocient en utilisant des stratégies fondées sur les conditions microéconomiques à court terme.

¹¹ Ibid.

¹² Joskow, Paul, et Catherine Wolfram. *Dynamic Pricing of Electricity*. Étude technique. 2013.

¹³ Erich Gunther, Remarques lors de l'atelier « Grid 3.0 » au NIST, mars 2015.

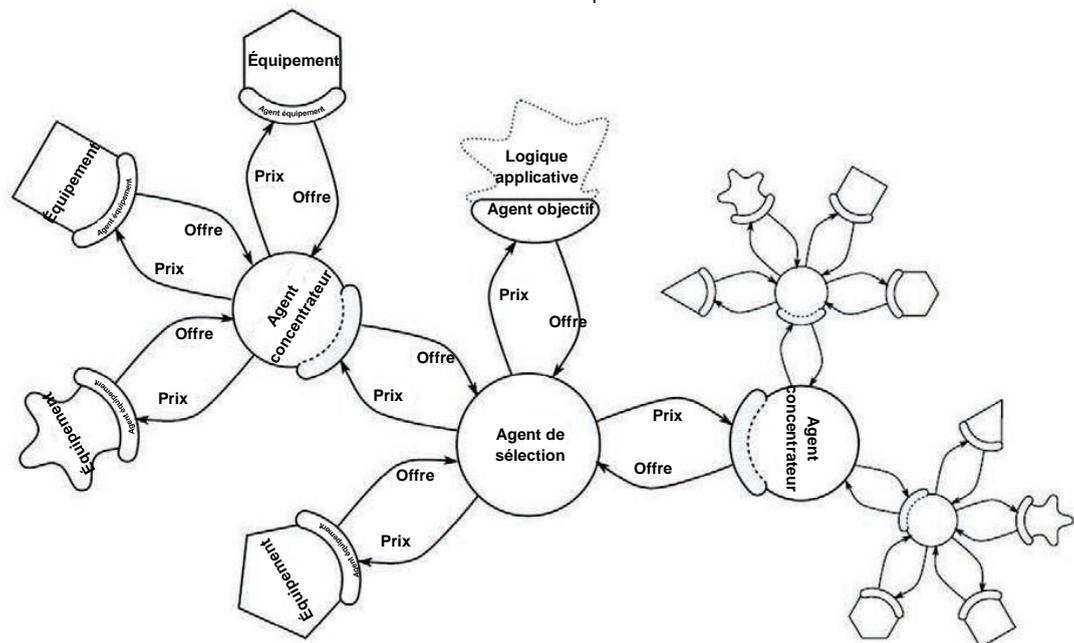
¹⁴ Organisation néerlandaise de recherche scientifique appliquée. Dont le siège social est situé à Delft.

¹⁵ CGI est membre du réseau FAN.

PowerMatcher est un mécanisme de coordination polyvalent pour l'équilibrage de l'offre et de la demande en grappes de ressources énergétiques distribuées, y compris les sources d'énergie créées par des technologies comme la production distribuée, l'adaptation de la demande et le stockage de l'électricité connectées au réseau de distribution. Ces « grappes » peuvent être des réseaux ou des microréseaux d'électricité ayant une grande part de production distribuée ou des portefeuilles d'échanges commerciaux comportant des niveaux élevés de sources d'électricité renouvelables. PowerMatcher a été utilisé comme base pour la plateforme logicielle Realtime Energy eXchange (REX) développée pour Alliander par CGI afin de raccorder les utilisateurs aux marchés d'échange d'énergie existants et au marché de compensation, pour leur permettre d'acheter et de vendre de l'énergie au moment qui leur convient le mieux.

APPLICATION EFFICACE DE L'ADAPTATION DE LA DEMANDE DANS DIFFÉRENTES STRUCTURES DE MARCHÉ

Les niveaux d'adaptation de la demande existants varient considérablement selon les zones géographiques. Cette variation résulte de plusieurs facteurs, y compris la vitesse de la croissance (ou du déclin) de la charge, le coût de la capacité évitée, et les dispositions de la réglementation au niveau d'un territoire donné en ce qui a trait aux programmes axés sur la demande. Bien que ces facteurs puissent varier d'un pays à l'autre, bon nombre de pays développés sont confrontés au problème commun d'une infrastructure vieillissante et constatent un déploiement accru de la production renouvelable.



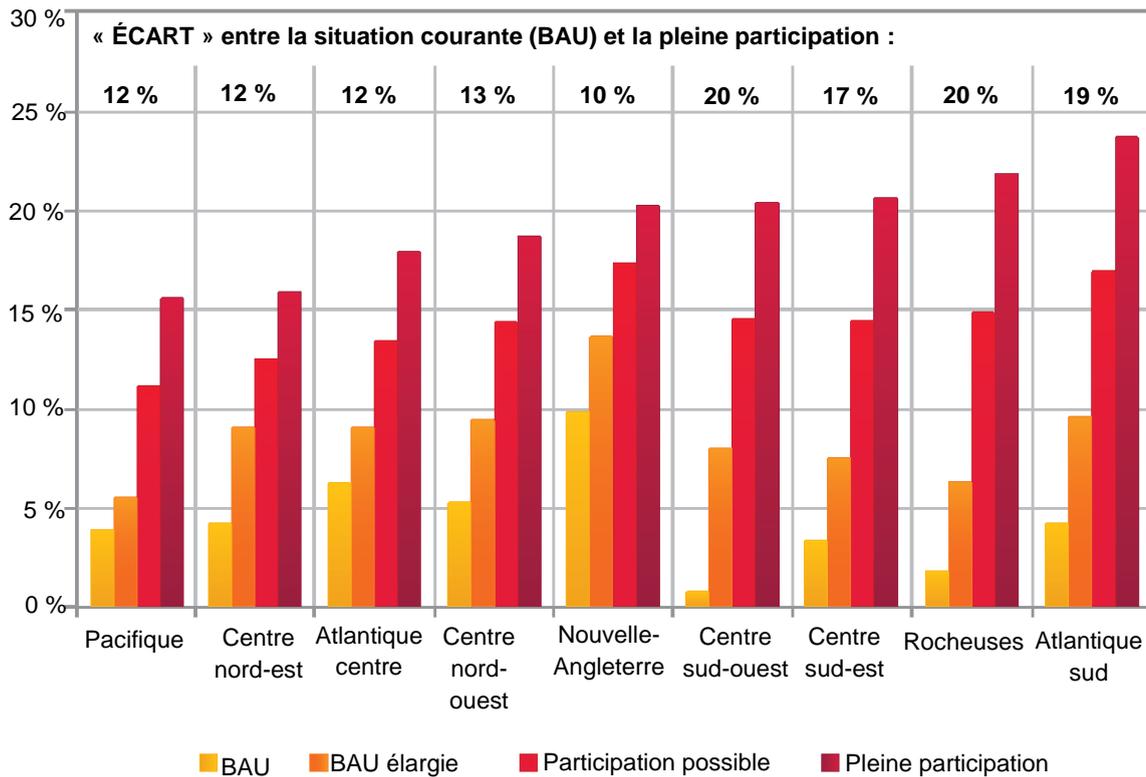
Au sein d'une grappe PowerMatcher, les agents sont structurés sous la forme d'un arbre logique. Les feuilles de cet arbre correspondent à plusieurs agents équipements sur place, et facultativement, à un agent objectif unique. La racine de l'arbre est formée par l'agent de sélection, un agent unique qui gère l'établissement du prix en recherchant un prix d'équilibre. Pour obtenir une variabilité d'échelle, des agents concentrateurs peuvent être ajoutés à la structure en tant que nœuds de l'arbre.

Les agents communiquent de manière événementielle. Les agents équipements mettent leur offre à jour dès qu'un changement dans l'état du système est suffisamment important pour justifier une mise à jour de l'offre. L'une des principales activités d'une grappe PowerMatcher est la prestation de services d'équilibrage en temps quasi réel.

Durant la dernière décennie, les ressources d'adaptation de la demande ont considérablement accru leur part de marché dans les marchés structurés. Par exemple, les ressources d'adaptation de la demande qui sont en mesure de fournir des réserves peuvent participer aux marchés auxiliaires d'offres une journée à l'avance ou en temps réel. En outre, les ressources d'adaptation de la demande peuvent offrir des réserves d'exploitation et des services de régulation. La figure ci-dessous présente les variations régionales du potentiel d'adaptation de la demande aux États-Unis¹⁶.

¹⁶ National Action Plan on Demand Response. Rapport. Washington, D.C.: FERC, 2010.

Potentiel régional d'adaptation de la demande



EXIGENCES POUR UNE UTILISATION OPTIMALE DE L'ADAPTATION DE LA DEMANDE

Un apport de ressources d'adaptation de la demande a favorisé une fiabilité accrue du réseau, une atténuation de la puissance du marché de production, de même qu'un déclin global des prix de l'énergie en fonction du coût réel du combustible dans les marchés de gros organisés¹⁷. Mais comment déterminer quelle sera la différence apportée par l'adaptation de la demande dans un marché donné, et quel sera le niveau d'acceptation de cette solution? En d'autres mots, quelles conditions doivent être en place pour créer les marchés dans lesquels il est possible d'utiliser l'adaptation de la demande?

Nous abordons ce sujet dans la section suivante.

Monétisation de l'adaptation de la demande

À l'instar de tout marché, l'adaptation de la demande ne réussira à croître que s'il y a des avantages et des gains financiers à en tirer. Pour que l'adaptation de la demande soit adoptée, il faut que les participants du côté de la demande aient la possibilité de faire de l'argent, et que les services qu'ils offrent soient avantageux de point de vue du contrôle et de l'équilibrage. D'autres services et capacités peuvent y être intégrés, mais ces avantages reflètent une exigence minimale.

Il ne fait aucun doute que l'adaptation de la demande peut avoir un effet énorme sur les prix du marché, réduisant la demande durant les périodes de pointe lucratives, lorsque les générateurs peuvent compter sur leurs plus gros revenus. En 2013 seulement, elle a permis aux clients de réaliser 12 milliards de dollars d'économie dans les marchés exploités¹⁸ par PJM¹⁹. Cependant, comme mentionné précédemment, les économies pour un client peuvent correspondre à des pertes de revenus pour les producteurs d'énergie. Avant tout, c'est exactement ce facteur qui a entraîné une réaction d'opposition à l'adaptation de la demande. Cette opposition soulève des questions relativement à la monétisation de l'adaptation de la demande et à la manière de rémunérer les ressources d'adaptation de la demande. Dans une déposition devant le Congrès en avril 2014, Nicholas Akins, président et chef de la direction de l'American Electric Power a déploré le fait que « l'adaptation de la demande continue d'être payée à des prix de capacité similaires à la production traditionnelle ». Certains développements récents aux États-Unis ont fait ressortir le dilemme posé par la manière de traiter les ressources d'adaptation de la demande; par exemple, en 2001, la Federal Energy Regulatory Commission (FERC) a adopté l'ordonnance 745, qui stipule que l'adaptation de la demande doit être payée de la même manière que les ressources du côté de l'offre. Cependant, en mai 2014, la cour d'appel de circuit du District de Columbia (D.C. Circuit) a statué que l'adaptation de la demande est une transaction de détail, et qu'à ce titre, elle est assujettie uniquement au contrôle des commissions de services publics des états. La cour a statué qu'un acheteur est un acheteur, mais qu'une réduction de la consommation ne pouvait pas être considérée comme une « vente de gros ». Ce jugement d'appel a par la suite été infirmé par la Cour suprême des États-Unis en janvier 2016.

¹⁷ ISO/RTO Council, 2009 State of the Markets Report, à 26 (2009)

¹⁸ PJM Interconnection est une organisation de transport régional qui coordonne le mouvement de l'électricité de gros dans la totalité ou une partie du territoire des états suivants : Delaware, Illinois, Indiana, Kentucky, Maryland, Michigan, New Jersey, Caroline du Nord, Ohio, et Pennsylvanie.

¹⁹ FERC Order 745 and the Epic Battle Between Electricity Supply and Demand, Power Magazine, 18 décembre 2014.

Une autre stratégie consiste à redéfinir l'adaptation de la demande comme une réduction de la charge, en la soustrayant des besoins du client avant d'envisager l'achat de capacité, plutôt que comme une ressource du côté de l'offre. Cela aurait pour effet de retirer complètement l'adaptation de la demande des marchés de gros, et de contourner ainsi les problèmes juridiques. Cela semble également convenir davantage à une perspective économique « traditionnelle », mais si une ordonnance peut entraîner autant de problèmes, comment ferons-nous pour définir la réglementation et la législation nécessaires pour permettre à l'adaptation de la demande d'offrir tous les avantages qu'elle promet dans le futur, et comment seront-ils monétisés? En outre, est-ce que la bataille entre les organismes de réglementation fédéraux et des États aux États-Unis se traduira par des conflits de compétences nationales en Europe?

De toute évidence, la manière dont l'adaptation de la demande est monétisée a des répercussions sur ceux qui en bénéficient, et sur l'évolution possible du marché pour l'adaptation de la demande, mais il apparaît clairement que l'adaptation de la demande non commandée continuera de croître dans ces marchés, et cela signifie que le prix sera le principal signal pour augmenter ou réduire la charge.

Outils

Pour que l'adaptation de la demande soit efficace, il faut pouvoir ajouter ou soustraire suffisamment de charge pour compenser l'offre de production. Une méthode doit également permettre de communiquer les signaux d'adaptation, aux fins de fiabilité ou de prix du marché, des entités qui les gère aux charges qui doivent s'adapter. Ces outils techniques doivent être présents pour que l'adaptation de la demande soit viable. Pour certains services, comme la régulation de fréquence, il n'est peut-être pas nécessaire que la charge utilise un mécanisme séparé pour fournir les signaux, mais elle peut quand même réagir aux variations réelles de fréquence du système, comme c'est le cas pour la coordination de la production par contrôle de flexion en charge.

Ces outils doivent pouvoir créer une situation permettant de gérer l'équilibrage en temps réel et en continu. Cela suppose un certain niveau d'automatisation; il ne suffit pas que les clients répondent manuellement. Ainsi, cela signifie que les appareils comme les compteurs intelligents et les électroménagers intelligents, ainsi que les valeurs des clients sont tous utiles pour assurer le fonctionnement de l'adaptation de la demande. Mais aucun de ces outils ne suffira à assurer la réussite de l'adaptation de la demande sans un mécanisme de gestion du flux d'argent (c.-à-d. des marchés qui réunissent l'offre, la demande et le contrôle). La capacité d'utiliser l'adaptation de la demande présentera des occasions d'affaires aux détaillants et négociants en énergie, et ces derniers offriront des moyens pour rallier les clients à l'adaptation de la demande.

Barrières

Au cours de la prochaine décennie, plusieurs jalons évolutionnaires importants devraient permettre aux ressources énergétiques distribuées souples des clients de fournir des services au marché et au réseau. L'adaptation de la demande évoluera, en passant de l'utilisation de la charge en tant que ressource de capacité à une utilisation beaucoup plus élargie des

ressources énergétiques distribuées souples. Pour la présente décennie, l'objectif principal consiste à créer des services différenciés, à apporter des solutions aux problèmes d'accès au marché, et à créer des propositions de valeur efficaces pour les clients. Plus précisément, il existe des barrières qui empêchent actuellement de profiter de la valeur des ressources d'énergie distribuées souples. Ce sont notamment :

- les lacunes sur le plan des définitions des services du système d'énergie et des exigences de performance;
- les investissements insuffisants en matière de technologie;
- la disponibilité des revenus et la monétisation;
- l'accès au marché;
- l'adoption et l'engagement de la part des clients.

Outre ces barrières, d'autres barrières éventuelles pourraient être créées par la réglementation, l'exposition au risque, ou l'incertitude générale.

Un examen plus approfondi des avantages de l'adaptation de la demande sera présenté dans une étude technique ultérieure qui passera en revue les marchés de l'adaptation de la demande. Pour être motivés à participer aux transactions d'adaptation de la demande, tous les participants doivent en retirer des avantages, et de nombreux participants, services et avantages doivent être pris en compte. En outre, des objectifs et avantages différents ou même contradictoires entre les différentes parties peuvent entraîner des complexités.

Défis posés par le marché

Il existe différents types d'adaptation de la demande, qui entraînent des différences en ce qui a trait aux avantages qu'ils peuvent offrir et aux délais d'adaptation. Quelles sont les exigences relatives à une utilisation optimale de l'adaptation de la demande? La conception du marché doit-elle comprendre à la fois l'adaptation de la demande commandée et non commandée? Comment l'industrie utilisera-t-elle l'adaptation de la demande dans la transition d'un modèle de « suivi de la charge » à un modèle de « suivi de l'offre »? Étant donné le potentiel inexploité de l'adaptation de la demande, qui doit développer les programmes pour créer des marchés d'adaptation de la demande? Qui bénéficiera le plus de ces marchés, et comment l'industrie peut-elle exploiter le « potentiel d'adaptation de la demande » représenté par ses consommateurs?

Ces questions nous ramènent aux marchés. Étant donné que l'adaptation commandée de la demande assurerait plus de sécurité (en ce qui a trait à l'équilibrage), et en supposant que les clients apprécieront l'adaptation de la demande non commandée, comment la conception de ces marchés intégrera-t-elle les risques pertinents et les transférera-t-elle aux parties concernées? Et quels seront les services/conditions/niveaux de prix requis pour obtenir une plus grande participation des consommateurs? Ces enjeux feront l'objet d'une étude future sur les marchés de l'adaptation de la demande.

RÉSUMÉ

Le modèle d'entreprise de services publics traditionnel est basé sur la croissance de la charge, mais l'efficacité a rompu la relation entre la croissance démographique/économique et la croissance énergétique. L'Energy Information Agency (EIA) prévoit une croissance annuelle moyenne de la demande d'électricité de seulement 0,7 % pour les 20 prochaines années²⁰. Avec la diminution progressive de la dépendance envers la production traditionnelle, il est à prévoir que l'ancien modèle selon lequel la production suit la charge sera remplacé par un modèle futur où la charge sera adaptée à l'offre²¹. Dans la transition entre ces deux paradigmes, le nouvel enjeu consiste à trouver le moyen de gérer efficacement ce changement, tout en maintenant l'équilibre économique de la pertinence et de la stabilité des ressources, ainsi que de la sécurité et de la fiabilité de l'offre. Durant cette période de transition, le réseau doit prendre en charge un ensemble hybride de solutions qui nécessiteront de la souplesse et de la coordination avec les systèmes centralisés actuels.

Ce changement, ainsi que les délais plus courts pour l'ajout de ressources énergétiques distribuées comparativement aux sources de production traditionnelles, et les capacités techniques accrues pour faciliter la coordination entre les ressources énergétiques distribuées, les utilisateurs et les équipements, crée un besoin de réévaluer notre coût de régulation du service pour les entreprises de services publics. Les entreprises d'électricité du secteur privé invoquent un changement de paradigme causé par les nouvelles immobilisations importantes nécessaires alors que la croissance des ventes décline et que leur capacité financière est réduite. Elles réclament de nouveaux cadres réglementaires qui leur permettront de recouvrer leurs coûts à l'extérieur des requêtes de hausse tarifaire traditionnelles²². Peut-être faudra-t-il un outil réglementaire pour stimuler l'innovation, par exemple, un mécanisme de recouvrement progressif fondé sur les niveaux de participation et de satisfaction des clients²³. Il semble y avoir peu de doutes que les modèles réglementaires doivent évoluer pour permettre aux équipements de périphérie d'offrir des services.

En Europe, l'absence d'un modèle de marché unique et le manque de mandats ont largement contribué au ralentissement de la croissance du marché de l'adaptation de la demande, lorsque le secteur est principalement alimenté par les déploiements de réseaux intelligents et la volatilité des prix de l'énergie. Les établissements commerciaux et industriels à haute consommation énergétique ont été des contributeurs importants dans l'ensemble du marché de l'adaptation de la demande. Dans le secteur résidentiel, l'adaptation de la demande est très affaiblie en Europe. Cependant, elle présente des perspectives de croissance importantes, maintenant corroborées par les déploiements de plus en plus massifs de compteurs intelligents et les envois d'appareils de gestion de l'énergie pouvant servir à assurer l'interface avec les plateformes d'adaptation de la demande. Selon les estimations, ce marché devrait croître à un TCAC de 36,3 % entre 2014 et 2019²⁴.

Le potentiel pour un marché de l'adaptation de la demande existe, et il est important, mais les outils et les politiques nécessaires doivent être en place pour le soutenir et permettre plus facilement aux fournisseurs d'offrir le même service, quel que soit le territoire.

²⁰ Annual Energy Outlook 2014. Rapport. Washington, DC: U.S. Energy Information Administration, 2010.

²¹ Power - IEEE Grid Vision 2050 Roadmap. Rapport. IEEE, 2013.

²² McDermott, Karl. Cost of Service Regulation in the Investor-Owned Electric Utility Industry: A History of Adaptation. Washington, DC: Edison Electric Institute, 2012.

²³ Knight, Mark, et Nora Brownell. How Does Smart Grid Impact the Natural Monopoly Paradigm of Electricity Supply? Étude technique. KEMA, 2010.

²⁴ Europe Demand Response Management System (DRMS) Market. Consulté le 29 janvier 2016. <http://www.micromarketmonitor.com/market/europe-demand-response-management-system-7768963972.html>.

Fondée en 1976, CGI est l'une des plus importantes entreprises de services en technologies de l'information (TI) et en gestion des processus d'affaires au monde. Nous proposons des solutions et des services novateurs selon une approche rigoureuse se soldant par un bilan inégalé de 95 % de projets réalisés selon les échéances et budgets prévus. Notre portée mondiale, conjuguée à notre modèle axé sur la proximité du client grâce auquel nous offrons des services à partir de 400 emplacements à l'échelle mondiale, nous procure l'envergure et l'instantanéité requises pour répondre rapidement aux besoins de nos clients. Nos services-conseils en management ainsi que nos services d'intégration de systèmes et de gestion déléguée aident nos clients à tirer profit de leurs investissements tout en adoptant de nouvelles technologies et stratégies d'affaires qui leur permettent d'obtenir des résultats probants sur toute la ligne. Grâce à notre engagement auprès de nos clients, leur indice moyen de satisfaction s'établit constamment à 9 sur 10.

Pour en savoir davantage, visitez cgi.com.