

La gestion de la demande résidentielle d'électricité : retour sur 30 ans d'expérimentations mondiales

Valérie Lesgards, Laure Frachet

Depuis la fin des années 1970, les expérimentations visant à tester l'impact de l'information, puis de la tarification variable, sur la demande d'électricité des ménages se sont considérablement développées de par le monde. D'abord réalisés aux États-Unis et au Royaume-Uni où ils traitaient de l'impact de l'information du consommateur sur sa demande globale, ces pilotes se sont étendus, depuis les années 2000, à la plupart des pays de l'OCDE et visent également un objectif de réduction de la demande de pointe par des incitations tarifaires adaptées. Au cours de ces années, des avancées méthodologiques ont été réalisées afin d'établir une relation de cause à effet entre ces stimuli et la modification de consommation induite (validité interne). Outre ces avancées méthodologiques, l'analyse des expérimentations permet de dégager des faits saillants relatifs au comportement du consommateur résidentiel : l'absence d'impact tangible et persistant de l'information employée seule sur la demande, l'effet incitatif persistant de la tarification variable sur la réduction de consommation lors des pointes et aussi souvent en tendance, ainsi que la forte hétérogénéité des réactions des ménages face à ces différents stimuli.

Les systèmes d'informations sur la consommation électrique (*feedbacks*) et les incitations tarifaires constituent les deux grandes familles d'outils destinées à modifier le comportement de l'utilisateur final d'électricité, afin de répondre, ensemble ou séparément, à deux objectifs distincts : ralentir la croissance de la demande d'électricité et modifier les périodes de consommation par le report dans le temps de certains usages électriques. Employés seuls, les *feedbacks* ont pour principal objectif de limiter la consommation globale d'électricité. En revanche, la tarification qualifiée de dyna-

mique, car modulée selon les heures et/ou les saisons, vise à réduire la demande de pointe, en reportant certains usages avant ou après les périodes de pics de consommation. Dans le premier cas, il s'agit d'informer, de conseiller ou d'aider le consommateur à contrôler sa dépense énergétique et, ce faisant, à maîtriser sa consommation globale d'électricité. Dans le second cas, l'objectif est d'inciter le consommateur à déplacer ses usages dans le temps, sans pour autant influencer sur son niveau global de consommation.

Lorsque les *feedbacks* sont employés avec une tarification dynamique, leur objectif premier change et devient celui de l'incitation par les prix variables: Il s'agit de renforcer les effets de la tarification dynamique en matière de déplacement de consommation et de réduction de la pointe. Ces instruments sont-ils alors encore capables de jouer aussi sur la limitation de la consommation globale, comme le veut leur vocation initiale ? Dans le même sens, la tarification dynamique a-t-elle également un effet secondaire, induit, en termes d'économies d'énergies ? Et, plus globalement, quelles sont la portée et l'efficacité de ces outils ?

L'objet de cet article est d'éclairer ces questions en mettant en évidence un certain nombre de «faits saillants» obtenus à partir des expérimentations menées depuis ces trente dernières années dans différents pays et différents contextes¹. Ces expérimentations se sont déroulées par vagues au cours des décennies en alliant des résultats à la fois empiriques et méthodologiques.

1. Des expérimentations par vagues successives

L'information du consommateur dont il est question ici est désignée par le terme de *feedback* pour rendre compte du processus selon lequel les résultats d'une action sont utilisés en continu pour modifier l'action future. Ce caractère rétroactif peut se manifester après le choix de consommation (*feedbacks* indirects) ou au moment de la consommation (*feedbacks* directs ou en temps réels). À partir d'une sélection de 31 études, Neenan (2009) propose pour l'EPRI une classification des *feedbacks* résumée dans le tableau 1.

Les *feedbacks* indirects permettent un suivi *a posteriori* des consommations. Ils peuvent inclure des comparaisons avec des relevés historiques, avec d'autres foyers de «référence»

1. Précisons que la question du choix contractuel *ex-ante*, c'est-à-dire préalable à cette consommation, ne fait pas partie du champ des pilotes. La décision *ex-ante* de souscription à un contrat de fourniture échappe donc à l'analyse dont il est question ici, qui ne mesure qu'une consommation et une satisfaction *ex-post* (après adoption d'un contrat d'effacement).

ou des décompositions de consommation par usage, dans le but de permettre aux consommateurs de mieux cibler ses efforts de sobriété énergétique. Ils sont requis par la directive européenne du 5 avril 2006 relative à «l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques» (article 13). Les *feedbacks* directs permettent un suivi en temps réel des consommations au sein du foyer ou des prix instantanés du KWh. Parmi les options proposées, les afficheurs (*displays*) sont particulièrement utilisés avec la tarification dynamique qui s'est développée à partir des années 2000, d'abord dans les expérimentations en Amérique du Nord

A) Deux décennies d'expérimentations sur les *feedbacks*

Réalisées essentiellement en Amérique du Nord (et, dans une moindre mesure, au Royaume-Uni), les premières expérimentations datent de la fin des années 1970. Elles portent sur l'influence de l'information délivrée au travers de la facture et des relevés de consommation (*feedbacks* indirects), mais aussi au travers de signaux en temps réel sur la température extérieure ou des indicateurs de consommation. Essentiellement menées sur de petits échantillons de ménages, elles concluent à l'influence de l'information sur les comportements individuels, au moins à court terme, c'est-à-dire sur la durée de l'expérimentation qui se limite le plus souvent à une période d'un à deux mois. Le tableau 2 présente les principales caractéristiques de ces premières expérimentations.

Alors que la palette des *feedbacks* testés est déjà relativement large, les résultats obtenus par cette première vague d'expérimentations posent question, à la fois sur la durée, compte tenu des périodes limitées couvertes, et sur la fiabilité statistique, compte tenu des petits échantillons testés.

Dans les expérimentations sur petits échantillons, une grande importance est accordée à l'encadrement et au suivi de la population ciblée. Celle-ci est étroitement suivie, guidée et surveillée. Le risque est alors l'introduction d'un biais lié à cette observation rapprochée, connu sous le terme de *Hawthorne effect* selon

Tableau 1
Classification des *feedbacks* (source : Neenan B., 2009)

1	2	3	4	5	6
Facture standard d'électricité	Facture améliorée d'électricité	<i>Feedback</i> estimé	<i>Feedback</i> quotidien ou hebdo	<i>Feedback</i> en temps réel	<i>Feedback</i> sur les usages en temps réel
Trimestrielle, mensuelle, tous les 15 jours	Information spécifique au ménage, conseils, et/ou comparaisons mensuelles ou trimestrielles	Audit énergétique sur web avec de l'info en continu	Information spécifique au ménage, conseils et/ou comparaison journalière ou sur la semaine	Temps réel, premier niveau d'info	Information en temps réel au niveau détaillé des équipements et usages de l'électricité
<i>Feedbacks « indirects »</i> (fournis après consommation)				<i>Feedbacks « directs »</i> (fournis en temps réel)	

Tableau 2
Première vague d'expérimentations sur les *feedbacks* (1970-1980)

Années (énergie)	Auteurs (Pays)	Taille de l'échantillon	Taille du groupe contrôle	<i>Feedback</i>	Économies d'électricité / conclusions	Durée / période
1979 (Électricité)	Seligman, Darley and Becker (US)	15 (propriétaires)	14	Indirect : facturation quotidienne avec indicateur de consommation réelle et estimée	10%	3 semaines d'expérience / été
1979 (Électricité)	Seligman, Darley and Becker (US)	80 dans quatre groupes (propriétaires)	20	Indirect : facturation 3 fois/semaine Les ménages optent pour un objectif (facile ou difficile) d'économies d'énergies et doivent noter chaque lecture du compteur (<i>effet « Hawthorne » potentiel</i>)	13% Résultats plus élevés si le propriétaire a un objectif élevé de réduction de consommation	4 semaines d'expérience / été
1979 (Électricité)	Becker Seligman, Darley (US)	10 (alarme lumineuse 10 (alarme lumineuse et <i>feedback</i>) 10 (<i>feedback</i> seul)	10	Direct : lumière clignotante calée sur la température extérieure (au delà seuil) + <i>feedback</i> 3 fois/semaine, indicateurs de consommation réelle et estimée	16% pour l'option lumière et <i>feedbacks</i> <i>Feedback</i> seul ignoré car mal calé (pas crédible)	4 semaines d'expérience / été

Années (énergie)	Auteurs (Pays)	Taille de l'échantillon	Taille du groupe contrôle	Feedback	Économies d'électricité / conclusions	Durée / période
1979 (Électricité) bâtiments neufs, tout électrique	MC Clelland & Cook (US)	25	75	Direct : contrôle avec afficheur numérique (cents/heures) <i>Displays</i> utilisé pour informer sur les usages les plus énergivores, mais limités en termes d'économies de facture	2% Les actions des ménages portent sur les usages autres que le chauffage ou la climatisation	11 mois, de septembre à juillet
1982 (Électricité)	Winett <i>et al.</i> (US)	85 hiver 53 été	<i>nc</i>	Direct : visites des expérimentateurs Démonstration vidéo sur les moyens de garder son confort sans surchauffer (ou sur-climatiser), utilisation d'un langage positif	15% <i>Feedback</i> + vidéo donnent de meilleurs résultats que vidéo seule	3 semaines <i>baseline</i> + 5 semaines
1982 (Électricité)	Gaskell, Elis, Pike (UK)	80	80 (info <i>alone</i>)	Direct : lectures du compteur Visites des expérimentateurs (jour ou semaine)	9% sur <i>feedbacks</i> et 11% sur <i>feedback</i> + info	4 semaines
1986 (Électricité + gaz)	Hutton, Mauser, Filiatrault and Ahtola (US + Canada)	3 x 25 (une ville aux US + deux villes au Canada)	3 x 75	Direct : Indicateur de coût énergétique et informations sur la consommation pour deux groupes	7% La réponse du consommateur est influence par son contexte: équipements et températures. Ex.: tout électrique et température extrême = meilleure réponse	Non clair
1987 (Électricité + gaz)	Sluce and Tong (UK)	31 ménages à bas revenus, zone urbaine	25	Direct : visites toutes les deux semaines avec conseils et lecture de compteurs	13% L'échantillon testé a bénéficié de travaux d'isolation durant l'étude	5 mois

lequel les participants se comportent différemment parce qu'ils savent qu'ils sont observés (pour une image personnelle ou pour faire plaisir aux personnes chargées de l'expérimentation). Ainsi, Becker *et al.* (1979) admettent, dans leurs expérimentations de quatre semaines auprès de 100 consommateurs, l'exis-

tence potentielle de cet effet. Avec des durées d'expérimentations plus longues et des échantillons plus grands, cet effet devrait être minimisé (Darby, 2006).

Dans les années 1990, une deuxième vague d'expérimentations voit un élargissement aux pays de l'Europe du Nord ainsi qu'un

allongement de la durée des expérimentations qui s'étend de 9 mois (Brandon et Lewis, 1999) à 3 ans (Nielsen, 1993). Les études scandinaves portent également sur des échantillons plus grands et testent majoritairement des *feedbacks* indirects (tableau 3).

Si ces expérimentations semblent, davantage que les précédentes, pouvoir se prêter à des analyses statistiques, elles posent cependant des questions méthodologiques centrales qui pénalisent la fiabilité des résultats quantitatifs qu'elles obtiennent. Ainsi, la question des échantillons, en particulier du groupe de contrôle dont le profil de consommation doit être similaire au groupe-cible, a été sous-

estimée (Garay et Lindholm, 1995; Haakana *et al.*, 1998; Wilhite, 1997). De ce fait, la question de la persistance des comportements dans le temps, qui paraît pourtant centrale pour certaines expérimentations (Dobson et Griffin, 1992; Haakana *et al.*, 1998), ne parvient pas à trouver de réponse satisfaisante au plan scientifique.

B) Nouveau développement des expérimentations depuis 2000 alliant tarification et *feedbacks*

Depuis les années 2000, les expérimentations connaissent un développement spectaculaire, à la fois par le nombre d'études-pilotes réalisées

Tableau 3						
Deuxième vague d'expérimentations sur les <i>feedbacks</i> dans les années 1990						
Années (énergie)	Auteurs (pays)	Taille échantillon	Taille du groupe contrôle	Feedback	Économies d'électricité / conclusions	Durée / période
1992 (Électricité, tout électrique)	Dobson et Griffin (Canada)	25	75	Direct : information sur le coût de la consommation (base horaire, mensuelle et annuelle)	13%	2 mois
1993 (Électricité, hors chauffage élec)	Nielsen (Danemark)	1 500	<i>nc</i>	Direct : lecture consommation réelle sur compteur Indirecte : Information écrite	1% (appartements, ménages à bas revenus) 10% (maisons)	3 ans
1994 (Tout électrique)	Arvola <i>et al.</i> (Finlande)	525	175	Indirect : facture tous les 36 jours et ajout d'informations sur l'historique de consommation la deuxième année	3% à 5% La facturation plus fréquente semble avoir les meilleurs résultats Meilleurs résultats sur les ménages à faibles revenus et aux courbes de charge élevées.	2 ans
1995 (Électricité + chauffage urbain)	Garay et Lindholm (Suède)	600	600 (groupe pas assez similaire pour fournir des résultats fiables)	Indirect : facture mensuelle avec des informations sur les consommations et des comparaisons historiques et entre voisins	Tendance à la réduction de consommation dans les habitations avec chauffage électrique, mais hausse du chauffage urbain (réseaux chaleur).	15 mois

Années (énergie)	Auteurs (pays)	Taille échantillon	Taille du groupe contrôle	Feedback	Économies d'électricité / conclusions	Durée / période
1998 (Électricité hors chauffage électrique)	Haakana <i>et al.</i> (Finlande)	105		Indirect: relevé mensuel du compteur par le ménage, <i>feedback</i> de comparaison mensuelle historique	7% (au sein du groupe-cible, à partir de comparaison de consommation mensuelle sur le période déc.-mars et avril-nov.)	2,5 ans
1995 (Électricité)	Wilhite et Ling (Norvège)	191 facture plus fréquente 209 <i>feedback</i> 211 <i>feedbacks</i> + conseils	675 sélectionnés d'après statut propriétaire, taille du logement, ...	Indirect: 6 factures/an à partir du relevé de compteur avec un texte et un graphique de l'année précédente sur la même période de consommation, corrigée des variations de températures	10% Un faible niveau d'économie d'électricité est obtenu par le changement de combustible. Les jeunes consommateurs ont une propension supérieure à réduire leurs consommations	3 ans
1997 (Électricité)	Wilhite (Norvège)	2 000		Indirect: relevé des compteurs par les consommateurs tous les 60 jours, Après un an, ils reçoivent leur <i>feedback</i> historique	8% En avril 1998, la consommation des participants avait diminué de 4% par rapport à leur consommation de référence (<i>baseline</i>) alors que les consommateurs hors expérience augmentaient leur consommation de 4%	21 mois (de mars 1995 à déc. 1996)
1999 (Gaz et électricité)	Brandon et Lewis (R.U.)	120 dans sept groupes dont le groupe de contrôle		Direct: <i>feedback</i> sur PC avec information écrite	12% pour certains, mais un accroissement de consommation de 3% pour les autres	9 mois
2000 (Électricité)	Henryson <i>et al.</i> (7 études, Scandinavie)	Échantillons compris entre 600 et 1 500		Indirect: factures avec et sans information supplémentaire	0, 2, 2, 3, 2-4, 10 et 12% (7 études) Plus la durée du pilote est longue, plus l'effet est prolongé	Variable

dans de nombreux pays et par l'introduction des tarifications dynamiques associées au *feedback*.

En effet, la nouveauté de cette dernière décennie est le test des tarifications variables selon l'heure, le jour et/ou et la saison, en particulier auprès de grands échantillons de ménages, aux USA (Anaheim CPP Experiment, 2004; California Statewide Pricing Pilot – Charles River Associates 2005; Puget Sound Energy, 2005; Gulf Power Company – Goodcents, 2005) et, plus récemment, au R.U. (Energy Demand Reduction Project, 2008) ou en Allemagne (Enerbest Storm Smart, 2008; MERegio, 2009). Si la tarification horosaisonnaire (*Time of Use*) est la plus testée, la tarification de pointe (*Critical Peak Pricing*), la tarification en temps réel (*Real Time Pricing*, calée sur les prix de gros et plafonnée) ou les rabais de pointe critique (*Peak Time Rebate*) correspondants à des bonus pour les ménages réduisant leurs consommations, font leur apparition (Laville et Lesgards, 2009).

La tarification variable (hors bonus) repose la plupart du temps sur la règle de la neutralité budgétaire selon laquelle le consommateur médian qui ne modifie pas sa consommation recevra la même facture avant et après le changement de prix (prix «hors pointe» et de pointe). Cela signifie que la moitié des consommateurs verra une hausse de sa facture (à consommation inchangée) alors que l'autre moitié – ceux dont la consommation est plus inférieure à la moyenne lors des pointes – verra sa facture diminuer, et ce en l'absence de modification de consommation.

De ce fait, les économistes investissent le champ de ces expérimentations (Barbose, Goldman et Neenan, 2005; Faruqui et Sergici, 2009). Et, parallèlement, les analyses visant à compiler ces études et leurs résultats se développent, tant du point de vue des *feedbacks* (Darby, 2006; Faruqui, Sergici et Sharif, 2009) que des tarifications (Owen et Ward, 2010; Faruqui, 2011).

Dans ces études, les *feedbacks* changent de finalité: ils deviennent des indicateurs des changements de prix et des supports aux comportements de report de consommation davantage que de réduction de consommation

et d'économie d'énergies. Cette évolution du rôle des *feedbacks* dans les expérimentations s'explique par la problématique des pointes de consommation qui est devenue particulièrement prégnante dans un contexte post-dérégulation du secteur électrique. Elle résulte de deux constats: d'une part, une croissance des pointes de consommation (et de la sensibilité de la consommation aux températures mesurée par un gradient thermique à la hausse) plus fortes parfois (comme en France) que la croissance globale de consommation des ménages; d'autre part, un problème d'incitations aux investissements de pointes dû au fonctionnement des marchés électriques issu de la dérégulation du secteur (Joskow, 2006; Borenstein, 2002).

C'est ainsi que le pilote Californien (Statewide Pricing Pilot, 2005), emblématique en termes de budget (20 millions de dollars) et d'échantillons (2 500 ménages), est apparue suite à la crise énergétique de 2000, marquée par l'envolée des prix et le *black-out* de l'été 2000. Rappelons qu'en Californie, 25% de la capacité de production est utilisée moins de 100 heures par an, pendant la période chaude.

Si les travaux de recherche sur les comportements des ménages intègrent dorénavant la question du report temporel des consommations assurant un lissage de la courbe de charge, ils conservent toutefois leur vocation initiale d'économies d'énergies. L'objectif est donc de mesurer à la fois une réduction de consommation et un report temporel, aussi bien aux États-Unis (projet Statewide Pricing Pilot) qu'en Europe (Smart Energy Project, 2008, ou CER, 2011 en Irlande; Enerbest Storm Smart, 2009 et MERegio en Allemagne, EDRP, 2010 au Royaume-Uni).

2. La recherche d'une méthodologie robuste: comment mesurer une «non-consommation» ?

La question de la mesure de la consommation effacée et/ou reportée a connu une attention croissante depuis les premières expérimentations des années 1970. Les développements méthodologiques les plus probants ont toutefois été réalisés sur la dernière décennie.

Les questions de méthodologies liées aux expérimentations portent à la fois sur la validité «interne» et «externe» des résultats. La question de la validité «interne», qui permet d'établir une relation «cause à effet» au sein de l'expérimentation, a essentiellement retenu l'attention. La validité «externe», qui permet de vérifier dans quelle mesure les résultats obtenus lors de l'expérimentation sont applicables à d'autres populations dans un contexte analogue, a été en revanche relativement peu explorée.

A) La constitution d'un groupe de contrôle similaire au groupe-cible

Dès l'origine des expérimentations, la nécessité apparaît d'établir une situation de référence pour la mesure des consommations effacées et/ou reportées en créant un groupe de contrôle qui ne subit aucune des actions déployées sur les groupes-cibles. En revanche, la nécessité que ce groupe présente une courbe de charge moyenne similaire à celle du groupe-cible – ce qui requiert des populations homogènes du point de vue de leur consommation électrique – est plus récente. Elle est apparue comme une exigence lors la dernière décennie.

Elle requiert des mesures de courbes de charge préalablement à l'expérimentation et sur une période suffisamment longue pour fournir des comparaisons fiables. Elle permet également d'obtenir des données corrigées des températures, ce qui semble préférable pour isoler l'effet des outils testés sur des variations de consommations et ne mesurer, par conséquent, que cet effet.

De plus, le groupe de contrôle doit subir le même traitement que les groupes-cibles. Ainsi, de nombreux pilotes accordent aux consom-

mateurs une prime fixe au titre de la participation à l'expérimentation. Elle vise à accroître le taux de participation aux démonstrateurs qui, lorsque celle-ci est volontaire (cas de la grande majorité des démonstrateurs), se limite généralement autour de 10% sur l'ensemble de la population contactée le plus souvent par courrier et téléphone (EDRP, 2008; «Easygreen Program» de Firstenergy, 2008). Afin de ne pas biaiser les résultats, cette prime doit être identique pour chaque participant – quel que soit son groupe d'appartenance –, sans relation avec le comportement du consommateur et versée en dehors des périodes de l'expérimentation proprement dite (avant ou après).

B) Des choix statistiques déterminants

Mais la simple comparaison des consommations entre le groupe de contrôle et le(s) groupe(s)-cible(s) n'est pas non plus entièrement satisfaisante, car elle ne prend pas en compte l'évolution des consommations de chaque groupe dans le temps.

• Différentiel d'évolution des consommations entre les groupes

C'est ainsi que, dans le pilote récent mené par EDFenergy auprès de plus de 2000 ménages de la région de Londres, les résultats ont été calculés selon différentes méthodologies (Energy Demand Reduction Project, EDRP, 2011). Dans la méthodologie la plus avancée, les écarts de consommation entre les données issues de la période pré-pilote et les données issues de la première année du pilote ont été calculés pour chaque groupe (figure 1). Cette façon de procéder est recommandée par plusieurs analystes (AECOM, 2011; CER, 2011; Faruqi, 2007; Daniel Violette, 2009).

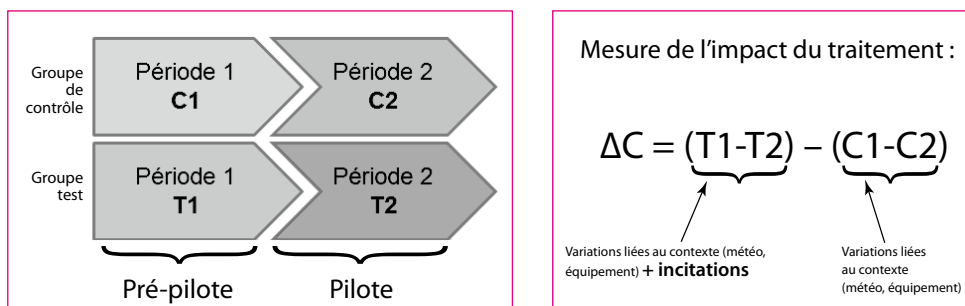


Figure 1 : Mesure des différentiels de consommation entre groupes et entre périodes.

• **Choix de la forme de la distribution statistique**

Une autre décision méthodologique tient à la forme statistique retenue pour représenter la distribution des valeurs et au choix de la valeur moyenne ou médiane.

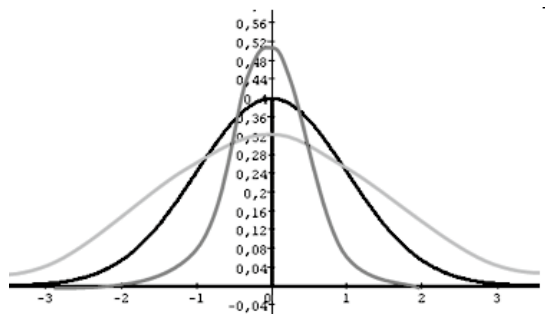


Figure 2: Distribution supposée des consommations (leptokurtique vs. normale).

Ainsi, alors que les premiers traitements supposaient une distribution des consommations suivant une loi normale et une valeur moyenne, les traitements plus avancés supposaient une distribution leptokurtique plus ramassée sur la valeur centrale et admettant davantage de valeurs extrêmes. Ces derniers traitements statistiques retenaient une valeur médiane.

Le choix d'une valeur médiane paraît préférable, dans la mesure où il existe effectivement des valeurs extrêmes dues à l'hétérogénéité des préférences. Elle est également légitime dans l'instauration d'une norme sociale acceptable par la majorité des consommateurs. Elle revêt un caractère de choix démocratique, à la différence de la moyenne.

Dans le pilote EDRP (2011), ces choix méthodologiques influencent fortement la mesure des variations de consommation ainsi que la fiabilité des mesures. Tout d'abord, des résultats apparaissent statistiquement significatifs avec la première méthode et pas avec la deuxième (et inversement). C'est notamment le cas du tarif horo-saisonnier ou du système d'alarme sonore se déclenchant à partir d'un seuil donné de consommation, qui ont été testés. Ensuite, même statistiquement significatifs avec les deux traitements, les résultats peuvent être sensiblement différents.

Tel est le cas du *feedback* direct testé via un afficheur numérique tactile et très complet (indiquant notamment les consommations en temps réel) pour lequel les réductions de consommations varient d'un rapport de 1 à 5 selon le traitement statistique effectué.

C) La difficulté d'obtenir une consommation de référence individuelle

Une autre difficulté relève du calcul de la consommation de référence (*baseline*) individuelle, nécessaire pour la mise en œuvre de bonus ou de rabais dont bénéficie le consommateur qui réduit sa consommation par rapport à son modèle courant de consommation. Depuis les années 2004-2005, nombreux sont les programmes pilotes et commerciaux qui rémunèrent la non-consommation d'électricité sur une courte période (quelques heures dites « période de pointe »), notifiée au préalable aux clients. Chaque KWh non consommé durant ces heures de pointes, en comparaison avec un niveau de consommation de référence, est alors rémunéré au client.

Le calcul du niveau de référence constitue alors à la fois un élément-clé de la réussite du programme d'effacements et un enjeu majeur pour les concepteurs de ces mécanismes incitatifs. En effet, il s'agit le plus souvent de composer avec des données d'historiques de consommation, des groupes témoins servant de repères, des ajustements liés aux températures et des clients souhaitant parfois comprendre les rouages des méthodes de calcul.

L'expérience montre qu'un mauvais calcul de *baseline* peut vouer un programme à l'échec en incitant les consommateurs à surconsommer en dehors des périodes d'effacement pour accroître leur rémunération. C'est ce qui s'est produit lors du pilote californien d'Anaheim Public Utility (2006) qui testait auprès de 123 ménages une prime à la réduction de consommation lors des jours de pointe critique. Selon Frank Wolak (2006) qui a mené une étude statistique des résultats, près de la moitié de la réduction de la consommation observée lors des périodes de pointe critique est due à une surconsommation les autres jours. Les données figurant sur un site internet ainsi que sur la facture d'électricité, qui détaille

la récompense versée, auraient permis aux consommateurs de comprendre le mode de calcul de la consommation de référence et de surconsommer pour maximiser leurs gains.

Les concepteurs des programmes de bonus à l'effacement (*Peak Time Rebate*) prêtent donc particulièrement attention au calcul de ce niveau de référence. La façon de procéder, principalement dans les pilotes nord-américains (PJM interconnexion, 2005; Anaheim Public Utilities, 2004; Ontario Energy Board Smart Price Pilot, 2007; New York Independent System Operator, Pilote SDG&E), consiste en une fenêtre glissante sur plusieurs jours (5 jours ouverts en général). Elle permet d'établir une consommation moyenne actualisée pour les jours précédents le jour d'effacement notifié.

Le gestionnaire de réseaux de New York (New York Independent System Operator) s'est démarqué en proposant un algorithme de calcul particulièrement élaboré².

D) Le transfert et l'extrapolation des résultats issus des pilotes

Compte tenu du coût de l'information qui est toujours élevé et du fait que les décideurs ne disposent pas du temps nécessaire au recueil et au traitement des données, il n'est pas possible d'envisager des expérimentations de façon systématique. Ces contraintes incitent donc au transfert des valeurs, c'est-à-dire à l'utilisation de valeur obtenue dans un contexte analogue, mais en un autre lieu et à un autre moment. Dès lors, les conditions qui permettent de réaliser ce transfert méritent d'être posées.

Le transfert de valeurs moyennes n'est pas une approche satisfaisante car elle ne prend pas en compte les caractéristiques de la situation nouvelle du consommateur (ou « population d'accueil ») en termes de consommation (courbe de charge) ou d'usages électriques.

Pour remédier à ce problème, des chercheurs américains ont élaboré un modèle de simulation permettant d'évaluer l'impact de

2. Il repose sur l'utilisation d'une large fenêtre glissante et d'un facteur d'ajustement (dont l'utilisation est facultative pour les clients). Il a été appliqué à un programme d'effacement d'urgence destiné aux gros clients (tertiaire) ou aux agrégateurs d'effacement de l'État de New York (Emergency Demand Response Program, 2008).

différents tarifs sur des courbes de charge des ménages à partir des fonctions de demande (à élasticité de substitution constante) obtenues par le pilote californien, Statewide Pricing Pilot (Charles River Associates, 2005). Ce modèle (*Pricing Impact Simulation Model*) transfère donc des fonctions de demande pour les périodes de pointe et de base (hors pointe) en opérant une modification des variables d'entrées que sont les tarifs, les courbes de charge, le climat (températures), ainsi que les équipements électriques et de gestion de l'énergie du consommateur. Ce modèle économétrique utilise les différentes fonctions d'élasticité-prix codifiées à l'issue du pilote et y insère les nouvelles données de la population. Il a été utilisé par deux énergéticiens, Edison Electric Institute (Faruqui et Wood, 2008) et Baltimore Gas & Electric (Faruqui et Sergici, 2009). Bien que perfectible, il ouvre des perspectives intéressantes en matière de transférabilité des fonctions de demande dans le cadre des incitations tarifaires. Il offre une validité « externe » aux résultats et aux modèles explicatifs issus des expérimentations. Force est de constater qu'il n'a pas, pour l'instant, d'équivalent en Europe.

3. Les faits saillants

La comparaison des expérimentations et de leurs résultats est un exercice délicat compte tenu des différences liées à la fois au contexte du consommateur (usages énergétiques, expérience de *black-out* et/ou d'incitations tarifaires, perception des aléas climatiques, du confort, ...) et à l'objet de l'expérimentation (durées ou amplitudes des événements de pointe, types de *feedbacks*, niveaux tarifaires, présence d'automatismes de gestion de l'énergie, ...). Malgré ces difficultés, il semble néanmoins possible de révéler un certain nombre de faits saillants sur l'impact des différents *stimuli*.

A) L'absence de résultats tangibles sur les *feedbacks* employés seuls

Compte tenu des difficultés méthodologiques exposées ci-dessus, il est rare de trouver des résultats qui garantissent une fiabilité

suffisante dans les expérimentations sur les *feedbacks* employés seuls. De ce point de vue, les études menées avant les années 2000, qui affichent des résultats de réduction globale de consommation (Darby, 2006), fournissent des résultats qui demeurent sujets à caution.

En Europe, trois pilotes récents ne parviennent pas à démontrer un effet tangible dans la durée des *feedbacks* employés seuls sur la réduction globale et/ou la maîtrise des consommations électriques.

Le premier est le pilote HEMS (Home Energy Management System) réalisé sur 15 mois (2008-2009) aux Pays-Bas. Les *feedbacks* testés auprès de 300 ménages via un questionnaire d'énergie comprenaient des données de consommation globale et par usage, factuel (en temps réel) ou au travers de comparaisons, soit a) entre le ménage et son voisinage, soit b) pour chaque ménage, d'une année sur l'autre. Les résultats montrent que les économies réalisées sur la consommation électrique (de l'ordre de 7%) sur les quatre premiers mois ne se maintiennent pas dans la durée et disparaissent sur quinze mois (Van Dam, Bakker et Van Hal, 2010).

Le deuxième pilote européen d'envergure récent sur l'effet des *feedbacks* est celui réalisé au Royaume-Uni par quatre énergéticiens à l'initiative du régulateur, l'Ofgem. Les résultats publiés mi-2011 montrent que, bien que le *feedback* direct (afficheur) et, dans une moindre mesure, indirect (informations détaillées avec la facture) présentent des réductions de consommation statistiquement significatives, et ce avec les deux méthodes statistiques retenues (comprises entre - 0,7% à - 4%), les résultats sont néanmoins compromis par le fait que les participants à ces interventions sont également ceux qui, durant la période du pilote, ont le plus réalisé des travaux d'isolation de la toiture de leur habitation. En effet, 29% des ménages soumis au *feedback* direct (et 26,7% au *feedback* indirect) ont réalisé des travaux d'isolation de leur toiture au cours des deux années auxquelles a eu lieu l'expérimentation, alors que seul 17,2% des ménages appartenant au groupe de contrôle ont réalisé ces travaux. Cet écart entre les deux groupes est susceptible d'induire une surestimation des

réductions de consommation imputables aux *feedbacks*.

Enfin, le récent pilote irlandais (CER, 2011) ne parvient pas à établir de relations statistiquement significatives entre la réduction de la demande de pointe ou globale et les *feedbacks* indirects testés (facturation tous les 15 jours et présentation de la consommation énergétique détaillée).

Ces résultats confirment ce qu'avait déjà mis en évidence l'emblématique expérimentation de Californie (Statewide Pricing Pilot, 2005), à savoir un effet négligeable des *feedbacks* directs employés seuls : l'impact est significatif dans une seule des quatre régions étudiées et non persistant dans la durée. En revanche, il semble que les *feedbacks* améliorent la réponse du consommateur aux incitations du signal-prix (ou bonus), comme l'indique Faruqui *et al.* (2009) à partir d'une compilation de résultats issus des expérimentations américaines. Le pilote japonais, Kyushu Experiment (1996), a également mis en évidence que le nombre de lectures du *display* est en relation directe avec la réponse des consommateurs aux incitations tarifaires.

B) Les résultats tangibles des tarifications dynamiques sur la consommation de pointe

La plupart des expérimentations menées depuis les années 2000 indiquent un effet significatif de la tarification variable sur la consommation de pointe des ménages.

À partir de 24 études américaines produisant un ensemble de 109 tests comprenant différents tarifs, localisations et périodes, Faruqui et Palmer (2011) observent que les ménages ont réduit leur consommation de pointe, avec une réduction médiane de 12% (figure 3). Ils concluent d'une part que la demande d'électricité répond au prix, et d'autre part que cette réponse est d'autant plus forte que l'écart entre le prix de «base» (hors pointe) et le prix de pointe est élevé (figure 4). L'effet sur la pointe augmente donc avec l'écart de prix, mais à taux décroissant.

Notons, à ce stade, que l'existence d'un écart de prix, seuil à partir duquel la demande de pointe deviendrait inélastique au prix, n'a pas été mise en évidence dans les expérimentations (CER, 2011).

Ainsi, même avec une élasticité-prix qualifiée de faible par les économistes généralistes (qui mesure à la même aune tous les biens et services), la réduction de la demande de pointe est loin d'être négligeable, puisqu'elle est généralement comprise entre 5 et 15%. En effet, les élasticités-prix de substitution, mesurées pour estimer un report dans le temps des consommations, sont souvent de l'ordre de $-0,1$ dans la plupart des pilotes réalisés outre-Atlantique (A. Faruqi, 2011).

En Europe, les résultats sont plus limités en termes d'expérimentations, dans la mesure où celles-ci ont débuté plus tardivement (voir tableau 4). Ils tendent néanmoins à confirmer l'influence des tarifications de pointe sur les consommations à court terme.

Ainsi, dans le pilote mené en Irlande par la commission de régulation de l'énergie (CER, 2011), les tarifs horo-saisonniers (TOU) associés aux *feedbacks* et à un bonus versé en cas de réduction globale de la consommation et testés auprès de 5 000 ménages donnent des résultats en termes de réduction de la consommation de pointe de l'ordre de 8,8% en moyenne et de 11,3% avec un gestionnaire d'énergie.

En France, la tarification de pointe – Tempo – auprès des particuliers a permis une réduction des consommations de pointes des particuliers de l'ordre de 25% (45% avec un gestionnaire d'énergie) à 60% selon les jours critiques considérés.

Notons que l'effet de la tarification sur la réduction des consommations de pointe est amplifié en présence de technologies

adaptées de programmation (thermostats programmables) ou de pilotage (passerelle de pilotage des équipements électriques). Sur la figure 3, les options permettant de dépasser 15% des réductions de pointe incluent une technologie de programmation ou de pilotage plus ou moins avancées.

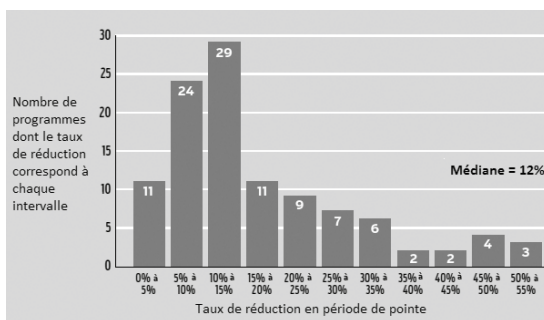
Mais, pour s'assurer de la validité «interne» de ces résultats, la question de la durée de la relation «cause à effet» mérite d'être posée. Cet effet des tarifications dynamiques sur l'effacement de consommation est-il persistant dans le temps ?

Objet d'une attention croissante depuis les années 1990, cette question comporte un aspect long-terme, lors de la succession des périodes de pointe au cours des années, mais aussi un aspect court-terme, lors d'une période de pointe s'étalant sur plusieurs jours.

- **Persistance du comportement de report sur plusieurs années**

Les pilotes tarifaires récents, en Amérique du Nord comme en Europe, semblent valider l'hypothèse de persistance du comportement de report des consommations de pointe au fil des ans.

Les résultats obtenus la première et la deuxième année (2003 et 2004) lors du pilote SPP ne diffèrent pas de manière statistiquement significative (SPP, 2005). Ceux obtenus dans le pilote de Baltimore (test de rabais de pointe critique) sont supérieurs la deuxième année, traduisant une sensibilité aux prix accrue avec le temps. De même, avec un déploiement à



Figures 3 : Distribution des résultats de 109 pilotes.

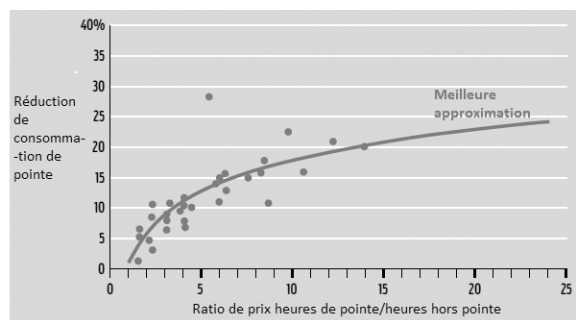


Figure 4 : Résultats des pilotes par ratio de prix pointe/hors pointe

(résultats des pilotes uniquement tarifaires).

(source : Faruqi et Palmer, 2011)

Tableau 4

Expérimentations associant les feedbacks et la tarification dynamique de l'électricité en Amérique du Nord et en Europe - Sélection d'études

Date	Pilote / Étude (pays)	Échantillon-cible	Échantillon de contrôle	Résultats / Conclusions	Instruments et tarifs Feedback	Durée	
AMÉRIQUE DU NORD							
2003-2005	California Statewide Pricing Pilot / Charles River Associates (US)	2500	750	6-27% de réduction de pointe selon les tarifs et l'automatisation des équipements L'information seule est sans effet Avec un signal prix, économie d'électricité globale de 4%	- Horosaisonnier - Horosaisonnier + pointe critique (fixe et variable)	Direct : SMS & indirect : information écrite + conseils	18 mois
2006	Olympic Peninsula Project / PNNL (US)	112	25	Forte automatisation des équipements. Réduction de 25% de la consommation de pointe (avec horosaisonnier), 15% (avec temps réel)	- Tarifs temps réel - Horosaisonnier	Écran de contrôle et de pilotage (<i>goodwatts</i>) – feedback direct	12 mois
2007	Ontario Energy Board Smart Price (Canada)	375	125	6-25% de réduction de pointe selon les tarifs. Effet économie d'énergie de 6% sur l'ensemble des consommateurs (6% pour tarif horosaisonnier, 4,7% pour tarif de pointe et 7,4% pour la tarification temps réel)	- Horosaisonnier - Horosaisonnier + pointe critique - Horosaisonnier + temps réel	Information écrite et magnet (<i>feedback indirect</i>)	7 mois (août/fév.)
2008	PowercentsDC (US, Columbia)	1400	400	Thermostats intelligents (Converge)	- Horosaisonnier - Temps réel - Rabais de pointe critique	Feedback direct (<i>display</i> affichant le prix de l'électricité et la dépense cumulée estimée)	7 mois (août/fév.)

Date	Pilote / Étude (pays)	Échantillon-cible	Échantillon de contrôle	Résultats / Conclusions	Instruments et tarifs Feedback	Durée	
EUROPE							
2008-2011 (E)	Smart Metering Project / CER (Irlande)	5 500	1 170	8,8% de réduction de pointe et 2,5% de réduction globale (effet secondaire de la tarification)	- Horosaisonnier - Bonus	Feedback indirect (facture bimestrielle ou mensuelle détaillée + magnet et stickers + accès info web)	12 mois
2004 (E)	Northern Ireland Electricity (NIE) Keypad Powershift (Irlande)	100	100	Effet de déplacement des consommations, mais pas d'économies d'énergies	- Horosaisonnier		11 mois
2008	Energy Demand Research Project (ERDP) (Royaume-Uni)	47 000	16 000	10% de réduction de pointe et @ 3% de réduction globale (traitement AECOM pour Ofgem)	- Horosaisonnier	Feedbacks indirects (facturation, conseils...) et directs (alarme, display, web, TV)	24 mois
2009	MeRegio (Allemagne)	1 000	Oui (nc)	17% de réduction de consommation de pointe, 3% de réduction de consommation globale	- Temps réel - Pointe critique variable	Feedbacks directs et indirects	36 mois
RESTE DU MONDE							
1996	Kyushu Experiment (Japon)	400	400	1% de réduction de la pointe journalière	- Horosaisonnier + bonus incitatif	Feedbacks directs (<i>display</i> temps réel)	3 mois (été)
2006-2007	Energy Australia Pricing Study (Australie)	750	Oui (nc)	5,5% à 7,8% de réduction de pointe, majoritairement en économie d'énergie (faible report de l'air conditionné)	- Horosaisonnier - Horosaisonnier + pointe critique (2 niveaux)	Feedback indirect (info écrite) et direct (<i>in-house display</i>)	3 semaines (référence) + 5 semaines

large échelle d'offre tarifaire de pointe dans le cas de PG&E (suite au pilote SPP) auprès de 10 000 consommateurs, la réduction de consommation de pointe est de 15% en 2009 et de 14,1% en 2010 (Faruqui, 2011).

En Europe, les différentes tarifications mises en place en France depuis 1965 (Heures pleines/heures creuses, Effacement Jour de Pointe, Tempo) ont donné des résultats significatifs en terme de report temporel dans la durée, c'est-à-dire au cours des années successives pendant lesquelles ces tarifs se sont appliqués.

• **Persistance du comportement de report sur plusieurs jours**

En France, l'expérience des tarifs effacement jour de pointe (1982) nous renseigne sur la persistance de l'effacement lors de l'enchaînement de plusieurs jours de pointes consécutifs. La figure 5 indique les pourcentages d'effacement par rapport à la consommation standard du groupe de consommateurs sous contrats EJP pour 5 jours consécutifs.

Si le volume d'effacement moyen sur la journée tend à diminuer dès le deuxième jour, expliquant un report accru sur les heures creuses, l'effacement sur la période critique

(7 heures à 1 heure) affiche une relative stabilité (de 52 à 47%).

C) L'hétérogénéité des comportements de consommation

Si, dans leur ensemble, les ménages réagissent aux tarifications en réduisant leur consommation de pointes, il semblerait que les comportements de chacun diffèrent de façon significative. Ainsi, l'essentiel de la «réponse» aux variations de prix des consommateurs serait également obtenue sur une part minoritaire et nettement plus réactive que la moyenne des ménages.

C'est ce qu'indique notamment l'étude californienne SPP (2005), dans laquelle 30% des consommateurs fournissent 80% de la «réponse» (figure 6). Ce résultat semble assez répandu pour Neenan et Eom (2007) qui estiment que 20-25% des participants contribuent généralement pour 75% ou plus à la réponse mesurée. Il semble néanmoins que cet effet soit plus fort avec le tarif de pointe critique et moins systématique dans le cas du rabais de pointe critique (bonus).

Cet effet est également confirmé par les mesures sur les élasticités-prix qui indiquent une forte dispersion des élasticités-prix auprès des ménages. Ainsi, Reisse et White (2005)

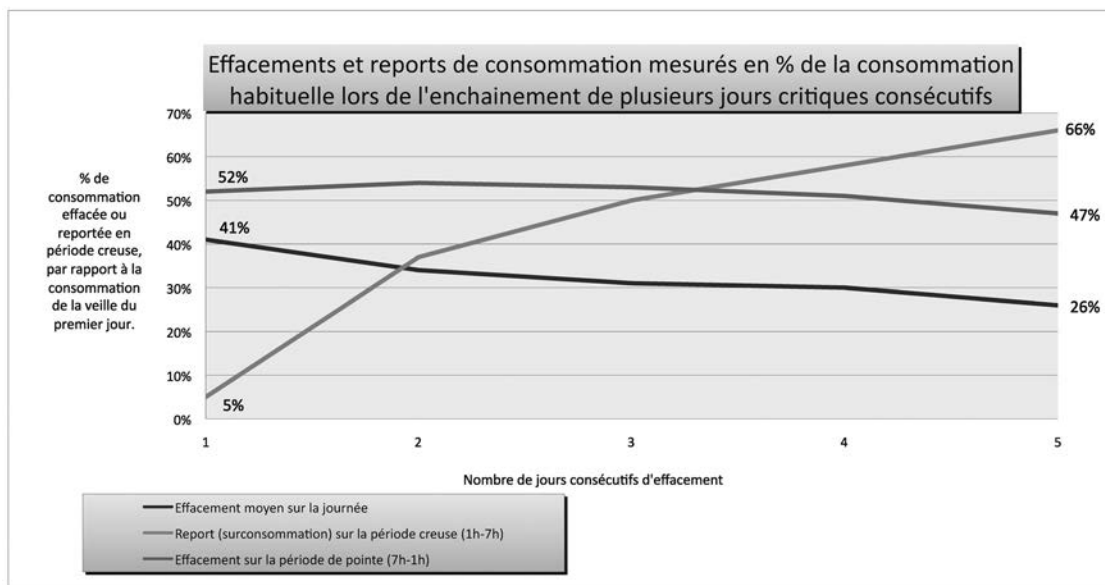


Figure 5: Impacts de EJP sur la courbe de charge, EDF R&D.

montrent également que la majorité des ménages californiens modifie très peu leur consommation électrique en fonction du prix. Une faible proportion des ménages (1 famille sur 8 environ) présente en revanche une demande très élastique.

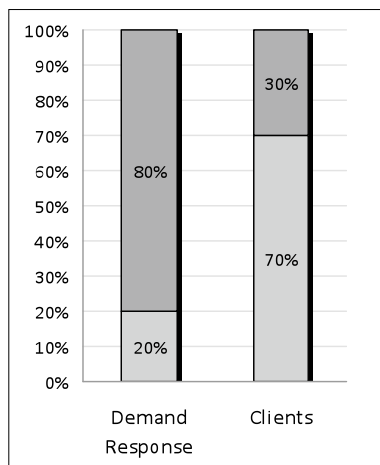


Figure 6: 30 % des clients résidentiel réalisent 80 % de la réponse aux incitations à réduire la consommation.

Cette forte hétérogénéité des comportements s'explique en partie par les déterminants que constituent les équipements électriques des ménages et, dans une moindre mesure, par ses caractéristiques socio-économiques, en particulier l'âge et le revenu. Reisse et White (2005) montrent que le segment de 44% des ménages californiens qui ne présentent pas de sensibilité à court terme aux variations marginales de prix n'a pas d'autres équipements électriques que le réfrigérateur et d'autres usages mineurs. Ainsi, les élasticités-prix de la demande varient de façon très importante entre les ménages, en fonction de l'équipement électrique et, en particulier, la présence de chauffage électrique et d'air conditionné. Ils en déduisent une classification des ménages en deux groupes distincts, selon qu'ils sont équipés ou non de ces appareils électriques.

L'âge apparaît également comme un facteur explicatif dans certaines études (les jeunes ont une propension à réagir aux changements de prix supérieurs à la moyenne), ainsi que les ménages composé de moins de trois personnes (EDRP, 2011).

En matière de réduction globale de consommation, cette hétérogénéité des comportements a également été observée. Ainsi, les premières études sur les *feedbacks* présentaient une forte variabilité de la motivation et de l'intérêt des consommateurs, sans toutefois parvenir à la démontrer de façon fiable, faute de méthodologie suffisamment robuste (Seligman, 1979; Hutton, 1986; Nielsen, 1993; Wilhite, 1997)³. Plus récemment, le pilote réalisé au Pays-bas (Van Dam, Bakker et Van Hal, 2010) montre que certains participants sont plus réceptifs que d'autres aux économies d'énergies et affichent des réductions de consommation plus importantes.

D) L'effet secondaire de la tarification dynamique en matière d'économie d'énergie

Si l'efficacité des *feedbacks* employés seuls pour limiter durablement la consommation électrique des ménages n'a pas pu être démontrée de façon tangible par les pilotes, certains d'entre eux ont révélé un effet non attendu de la tarification dynamique en la matière.

En effet, plusieurs pilotes récents ayant testé des tarifs différenciés dans le temps, spécialement horo-saisonniers et de pointes critiques, ont montré que, parallèlement à l'effet report, la consommation globale des participants avaient diminué⁴. Ainsi, les pilotes California Statewide Pricing (Charles River Assoc, 2005) et Ontario Energy Board Smart Price (2007) ont révélé une baisse globale de la consommation de 4 à 6%. Le pilote de tarification en temps réel (Summit Blue, 2005) fait état d'une baisse de 2 à 3% de la consommation électrique. Plus récemment, en Europe, le pilote Irlandais (CER, 2011) conclut que l'application de la tarification horo-saisonniers réduit à la fois les pointes d'électricité et la consommation globale de l'ordre de 2,5% dans ce dernier cas (voir tableau 4). Dans ces pilotes, seuls les prix relatifs entre les périodes

3. Dans un test de *feedback* sur PC (avec information rédigée) mené au Royaume-Uni (Brandon et Lewis, 1999), certains consommateurs réduisaient effectivement leur consommation (de 12% en moyenne), alors que d'autres l'augmentaient (de 3% en moyenne).

4. Les pilotes de tarifications variables menés auprès des consommateurs industriels et commerciaux confirment cette observation (Boisvert *et al.*, 2004).

étaient modifiés. La moyenne des prix pondérée était en revanche équivalente au prix supporté par le consommateur avant le pilote. Les prix étaient donc conçus de façon à influencer la période de consommation, mais pas son niveau global. Pourquoi alors les consommateurs ont-ils réagi en présentant des élasticités-prix propres, alors que les prix n'étaient pas calibrés pour susciter de tels comportements ?

Plusieurs facteurs ont été avancés pour expliquer ce phénomène, sans que celui-ci ne reçoive encore d'explications précises (Neenan et Eom, 2007). Un premier facteur serait lié à l'absence de report de certains usages, dont la climatisation ou l'éclairage. Un autre facteur serait lié à l'effet «d'inertie» (*stickiness*) selon lequel le consommateur, après avoir répondu à un changement de prix, reste influencé comme si le prix était devenu durablement élevé, au moins durant les quelques heures ou jours qui suivent l'événement, et ce même si les prix sont revenus «à la normale». Cet effet d'inertie demeure cependant limité pour jouer de façon significative en faveur d'un ralentissement significatif de la demande. Ensuite, un troisième effet retient aujourd'hui plus particulièrement l'attention sous le nom «d'économies d'énergie» ou «effet secondaire de la tarification dynamique». Selon cet effet, les consommateurs utilisent le prix de pointe élevé non seulement pour établir leur décision de report en fonction du prix horaire relatif, mais aussi pour prendre des décisions sur l'enveloppe budgétaire qu'ils allouent à l'électricité. On suppose alors que les consommateurs fondent leur décision de consommation sous contrainte budgétaire à partir du prix de pointe. Bien qu'inapproprié, ce prix peut devenir un prix de référence, dans la mesure où il affecte un moment de forte consommation du ménage. Dans ce contexte, les *feedbacks* peuvent jouer un rôle en faveur d'une plus grande maîtrise des consommations globales du ménage.

4. Conclusion

Les expérimentations menées ces trente dernières années ont permis un certain nombre

d'avancées méthodologiques liées à l'évaluation des impacts des *feedbacks* et des tarifs sur la consommation des ménages. La constitution de groupes de contrôle aux profils de consommation (courbes de charge) similaires aux groupes-cibles, l'intégration des données de consommation issues de la période pré-pilote dans le calcul des variations de consommation, ainsi que l'élaboration d'une fenêtre glissante sur plusieurs jours pour la détermination d'une consommation de référence individuelle, améliorent la fiabilité des résultats obtenus. Le choix de la fonction de distribution et de la valeur de référence (moyenne ou médiane) la plus pertinente, compte tenu des données observées, est également important puisqu'il peut influencer fortement sur les résultats.

Ces expérimentations ont également permis d'identifier un certain nombre de faits

«saillants» que l'on peut résumer ainsi :

- Les *feedbacks* employés seuls ne fournissent pas de résultats tangibles et persistants en termes de baisse de consommation d'électricité. Alors que certains chiffres qui circulent dans la presse font état d'un effet des *feedbacks* sur la consommation des ménages, l'examen approfondi des conditions d'expérimentations et de leurs résultats ne permettent pas de vérifier l'existence d'une relation cause à effet dans ce domaine.
- À l'inverse, les tarifications variables ont un effet généralement significatif et persistant sur la consommation de pointe. Cet effet tend à augmenter avec le différentiel de prix (selon les heures/saisons), bien qu'à taux décroissant, et le recours aux technologies d'automatisation des effacements. Il tend à persister lors de l'enchaînement de plusieurs jours de pointe consécutifs.
- Dans la plupart des cas, la tarification dynamique a également un effet sur la consommation globale des ménages, bien que celle-ci demeure encore largement inexpliquée par le modèle courant sous-jacent de comportement du consommateur.
- Dans la plupart des cas, les réactions des ménages aux différents *stimuli* sont très hété-

Concourir à accroître les élasticités de substitution entre les périodes

rogènes, certains réduisant significativement leurs consommations alors que d'autres pas du tout. Ces comportements sont influencés par la présence d'équipements électriques (notamment chauffage électrique et climatisation) et par les préférences individuelles sous-jacentes. Les variables socio-économiques n'ont que peu d'influence (hormis la présence d'enfants ou l'âge du ménage). Si l'essentiel de l'effet désiré en termes de variations de consommation est obtenu par une minorité des ménages, il devient inefficace de déployer les *stimuli* pour l'ensemble de la population. Il est préférable de cibler les programmes de maîtrise de consommation aux ménages les plus réceptifs.

Enfin, ces expérimentations ont également soulevé de nouvelles questions encore largement non résolues relatives au transfert des résultats des expérimentations, à la meilleure façon de concilier réduction des pointes et maîtrise globale de la consommation, ou à une nouvelle segmentation des consommateurs en fonction de la flexibilité de leur demande d'électricité.

Par ailleurs, la décennie qui s'amorce risque encore de complexifier notre besoin de connaissance avec le développement de nouvelles formes de production et de nouveaux usages électriques. Du point de vue des *feedbacks*, ceux-ci pourront également être sollicités pour accompagner le développement des énergies réparties d'origine renouvelables, c'est-à-dire produites sur leur lieu de consommation. Dans le même sens, l'émergence du véhicule électrique s'accompagne également du développement des afficheurs et des tableaux de bord évolués informant le consommateur sur les consommations et les caractéristiques de recharge du véhicule (prix de l'électricité, localisation des stations de recharge, ...). Du point de vue de la tarification dynamique, ces nouvelles technologies – énergies réparties et véhicule électrique – appellent également à des prix variables dans le temps pour mieux répartir leurs consommations et/ou

production, selon l'état du réseau et les besoins du système électrique. Rappelons qu'en France le développement des ballons d'eau chaude sanitaire à accumulation a été étroitement lié à celui du tarif heures creuses/heures pleines

Concilier la maîtrise et le report de la consommation d'électricité

(1965) permettant de stocker la chaleur produite la nuit pendant les plages horaires «heures creuses». Quarante ans plus tard, l'apparition de nouvelles technologies comme le véhicule électrique, l'eau chaude solaire ou la micro-production est de nature à renforcer l'adoption

de tarifications dynamiques et de les rendre plus complexes en leur demandant d'intégrer la gestion fine de différents équipements qui deviennent bi-directionnels.

Cette évolution devrait concourir à accroître les élasticités de substitution entre les périodes, ainsi qu'à concilier la maîtrise et le report de la consommation d'électricité. ■

Bibliographie

- AECOM (2011) "Energy Demand Research Project: final analysis", AECOM for Ofgem, June.
- Arvola A, Uutela A, Anttila U (1994) "Billing *feedback* as a means of encouraging conservation of electricity in households: a field experiment in Helsinki", Energy and the consumer, Finnish Ministry of Trade and Industry.
- Barbose G, Goldman C, Neenan B (2005) "A survey of utility experience with real time pricing; implications for policymakers seeking price responsive demand", Proceedings, European Council for an Energy-Efficient Economy, Paper 7.089.
- Becker LJ, Seligman C, Darley J (1979) "Psychological Strategies to Reduce Energy Consumption: Project Summary Report", Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University, Report PU/CEES 90.
- Boisvert R, Cappers P, Neenan B, Scott B (2004) "Industrial and Commercial Customer Response to Real Time Electricity Prices", Neenan Associates.
- Borenstein S (2002) "The Trouble with Electricity Markets: Understanding California's Restructuring Disaster", Journal of Economic Perspectives 16:1, pp. 191-211.
- Brandon G, Lewis A (1999) "Reducing Household Energy Consumption: a Qualitative and Quantitative Field Study", Journal of Environmental Psychology 19, pp. 75-85.
- CER (2011) "Electricity Smart Metering Customer Behaviour Trials – Findings Report", May, Dublin.
- Charles River Associates international (2005) "Impact Evaluation of the California Statewide Pricing Pilot", March.

- Darby S (2006) "The effectiveness of *feedback* on energy consumption - A review for DEFRA of the literature on metering, billing, and direct displays", Environmental Change Institute, University of Oxford.
- Dobson JK, Griffin JD (1992) "Conservation Effect of Immediate Electricity Cost *Feedback* on Residential Consumption Behavior", Proceedings of the 7th ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Washington DC, Vol. 10, pp. 33-35.
- Faruqui A, Palmer J (2011) Dynamic pricing and its discontents, Regulation.
- Faruqui A, Hledik RM, Levy A, Madian AL (2011) Will Smart Prices Induce Smart Charging of Electric Vehicles? (July 1, 2011). Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1915658>
- Faruqui A, George S (2005) Quantifying customer response to dynamic pricing, *Electricity Journal*, Vol. 18, No. 4.
- Faruqui A, Sergici S (2009) "Household response to dynamic pricing of electricity – A survey of the experimental evidence", Edison Electric Institute & EPRI.
- Faruqui A, Sergici S, Sharif A (2009) "The impact of informational *feedback* on energy consumption – a survey of the experimental evidence", Brattle Group paper.
- Garay J, Lindholm P (1995) "Statistics on the energy bill: better control for the customer", International Energy Program Evaluation Conference, Chicago, August 22-25, 1995.
- Gaskell G, Ellis P, Pike R (1982) "The energy literate consumer: the effects of consumption feedback and information on beliefs, knowledge and behaviour", Dept of Social Psychology, LSE.
- Haakana M, Sillanpaa L, Talsi M (1997) "The effect of feedback and focused advice on household energy consumption". Proceedings, European Council for an Energy-Efficient Economy, 1997.
- Henryson J, Hakansson T, Pyrkov J (2000) "Energy efficiency in buildings through information – Swedish perspective", *Energy Policy* 28, pp. 169-180.
- Hutton BR, Mauser GA, Filiatrault P, Antola OT (1986) "Effects of Cost-Related *Feedback* on Consumer Knowledge and Consumption Behavior: A Field Experimental Approach", *Journal of Consumer Research* 13, pp. 327-336.
- Joskow P, Kahn E (2001) "A Quantitative Analysis of Pricing Behavior in California's Wholesale Electricity Market During Summer 2000", NBER Working paper 8157, March.
- Joskow P, Kahn E (2001) "Identifying the Exercise of Market Power: Refining the Estimates", Working paper, July.
- Kiliccote S, Piette M, Watson D (2006) "Dynamic controls for energy efficiency and demand response: Framework concepts and a new construction study case in New York", Lawrence Berkeley National Laboratory, Proceedings of the 2006 ACEEE Summer Study on Energy efficiency in Buildings, Pacific Grove, California, August 13-18, 2006.
- Laville S, Lesgards V (2009) «La gestion active de la demande d'électricité – vers la 5^{ème} énergie», *Revue de l'Énergie* n° 591, pp. 303-317.
- Matsukawa I, Asano H, Kakimoto H (2000) "Household response to incentive payments for load shifting: a Japanese time of day electricity pricing experiment", *The Energy Journal*, Vol. 21, No. 1.
- McClelland L, Cook SW (1980) "Energy conservation effects of continuous in-home *feedback* in all-electric homes", *Journal of Environmental Systems* 9(2), pp. 29-38.
- Mountain D (2006) "The impact of real-time *feedback* on residential electricity consumption: the Hydro One pilot", Mountain Economic Consulting and Associates Inc., Ontario.
- Neeenan B (2009) "Manager Residential Electricity Use *Feedback*: a Research Synthesis and Economic Framework Final Report", EPRI, February.
- Neeenan B, Eom J (2007) "Price Elasticity of Demand for Electricity: A Primer and Synthesis", EPRI, Palo Alto.
- Nielsen L (1993) "How to get the birds in the bush into your hand: results from a Danish research project on electricity savings", *Energy Policy*, November.
- Ontario Energy Board (2007) "Ontario Energy Board Smart Price Pilot Final Report", July.
- Owen G, Ward J (2010) "Smart tariffs and household demand response for great Britain", published by Sustainability First.
- Pacific Northwest National Laboratory (2007) "Pacific Northwest GridWise™ Testbed Demonstration Projects. Part 1: Olympic Peninsula Project", Richland, Washington, October.
- Reiss P, White M (2005) "Household Electricity Demand, Revisited", Working paper, *The Review of Economic Studies*, Vol. 72, pp. 853-883.
- Seligman C, Becker L, Darley J (1981) "Encouraging Residential Energy Conservation through *Feedback*", In: A Baum, J Singer (Eds.) *Advances in Environmental Psychology: Energy Conservation: Psychological Perspectives* (Vol. 3), Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Sergici S (2008) "Appendix E: Comparison of results across dynamic pricing and time-based rate pilot programs", the Brattle Group for Edison Electric Institute.
- Sluce AJA, Tong D (1987) "Energy efficient refurbishment of Victorian terraced housing: a demonstration for Merseyside Improved Houses, Liverpool", BRECSU Energy Studies, Final Report No ED 227/209.
- Spees K, Lave L (2007) "Demand Response and Electricity Market Efficiency", *The Electricity Journal*, Vol. 20, Issue 3, April.
- van Dam SS, Bakker CA, van Hal JDM (2010) "Home energy monitors: impact over the medium term", *Building Research & Information* 38:5, pp. 458-469.
- Wilhite H (1997) "Experiences with the implementation of an informative energy bill in Norway", Ressurskonsult Report 750, Oslo.
- Wilhite H, Ling R (1995) "Measured energy savings from a more informative energy bill", *Energy and buildings* 22, pp. 145-155.
- Winnett RA, Hatcher JW, Fort TR, Lecklitter IN, Love SQ, Riley AW, Fishback JA (1982) "The effects of videotape modeling and daily *feedback* on residential electricity conservation, home temperature and humidity, perceived comfort, and clothing worn: Summer and Winter", *Journal of Applied Behavior Analysis* 15, pp. 381-402.
- Wolak F (2006) "Residential customer response in real time pricing: the Anaheim Critical Peak Pricing Experiment", University of California Energy Institute, Center for the Study of Energy Market.
- Wood L, Faruqui A (2010) "Dynamic Pricing and Low-income Customers, Public Utilities Fortnightly", November.