



HAL
open science

Smart Meter, Feedback et maîtrise de la consommation électrique : Le cas du secteur résidentiel dans la commune de Biot - Alpes Maritimes

Adnane Kendel

► **To cite this version:**

Adnane Kendel. Smart Meter, Feedback et maîtrise de la consommation électrique : Le cas du secteur résidentiel dans la commune de Biot - Alpes Maritimes. Economies et finances. Université Nice Sophia Antipolis, 2015. Français. NNT : 2015NICE0044 . tel-01659918

HAL Id: tel-01659918

<https://theses.hal.science/tel-01659918>

Submitted on 9 Dec 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Nice - Sophia Antipolis
Institut Supérieur d'Economie et de Management
Ecole Doctorale DESPEG
U.M.R. GREDEG

THÈSE

Pour l'obtention du Doctorat en Sciences Economiques

Présentée par

Adnane KENDEL

Sous la direction de Nathalie LAZARIC

Directrice de Recherche au CNRS, GREDEG Université de Nice Sophia-Antipolis.

Smart Meter, Feedback et maîtrise de la consommation électrique :

Le cas du secteur résidentiel dans la commune de Biot – Alpes Maritimes

Thèse soutenue publiquement à l'Université de Nice-Sophia Antipolis

le **08 décembre 2015**

Devant le jury composé de :

Thierry BURGER-HELMCHEN	Professeur, BETA, Université de Strasbourg	<i>Rapporteur</i>
Nathalie LAZARIC	Directrice de recherche CNRS, GREDEG, UNSA	<i>Directrice</i>
Stéphane ROBIN	Chargé de recherche CNRS, GATE, Université Lumière, Lyon 2	<i>Rapporteur</i>
Dominique TORRE	Professeur, GREDEG, UNSA	<i>Examineur</i>

L'Université de Nice n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse ; ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

Remerciements

Je remercie ma directrice de thèse, Madame Nathalie LAZARIC, Directrice de recherche CNRS pour la confiance qu'elle m'a accordé en acceptant de diriger ma thèse. Merci pour sa disponibilité et son assistance tout au long de ce travail de recherche.

Mes remerciements s'adressent aussi à Monsieur Dominique TORRE, Professeur à l'Université de Nice Sophia Antipolis, pour m'avoir encouragé dès le début de ma Thèse et qui me fait l'honneur de faire partie du Jury.

Je voudrais également exprimer mes sincères remerciements à Messieurs Thierry BURGER-HELMCHEN, Professeur à l'Université de Strasbourg et Stéphane ROBIN, Chargé de Recherche CNRS à l'Université Lumière Lyon-2, pour avoir examiné mon travail et accepté d'être membres du Jury.

Membres du laboratoire GREDEG et de l'UNSA, je tiens à remercier ceux qui m'ont soutenu, particulièrement Madame Amel ATTOUR, Maître de Conférences, qui a pris de son temps pour corriger mon travail et me prodiguer de précieuses recommandations ; ainsi que Monsieur Philippe LUU, Ingénieur statisticien à l'IAE de Nice, pour son aide et orientation pour le volet économétrie.

Je tiens également à remercier Monsieur Kevin Maréchal, de l'Université Libre de Bruxelles, pour ses conseils et orientations durant la finalisation de ma thèse.

J'adresse mes remerciements à toute l'équipe de coordination du projet TicElec, notamment à Messieurs Sébastien ALEGRET, Olivier BRIE et Mathieu PINSON, de l'entreprise Ubinode ; à Monsieur Evens SALIES de l'OFCE ; et à Mademoiselle Amélie BOURGEOIS de la Mairie de Biot.

Je dédie ce travail à mon épouse Narimane, qui m'a soutenu, en trouvant toujours les mots pour m'encourager, sans relâche, jour après jour.

Enfin, j'adresse mes affectueux remerciements à mes parents, frère et sœurs, pour leur soutien et leur encouragement, tout le long de mes études.

Résumé

Cette thèse a pour but d'étudier l'impact du retour d'information (feedback) vers les ménages sur leur capacité de maîtrise de leur consommation d'électricité et s'est appuyée sur une expérimentation menée sur le terrain, dans le cadre d'un projet intitulé *TicElec* (Technologies de l'Information pour une Consommation Electrique Responsable), réalisé dans la commune de Biot, dans les Alpes-Maritimes (un département marqué par des contraintes d'approvisionnement en électricité, en périodes froides) et associant l'Université, les Autorités locales et un Bureau d'études.

Notre problématique qui a porté sur l'impact de plusieurs types de feedback (inspirée par la typologie des feedback développée par Darby (2006a) appliqués à trois groupes de consommateurs, sur une durée supérieure à six mois, a montré l'existence de différents comportements de consommation et de maîtrise de la demande d'électricité des ménages étudiés, plus ou moins marqués par le manque d'information sur leurs modes de consommation, c'est-à-dire le maillon faible des stratégies de maîtrise de l'énergie. Nous avons également montré que les résultats varient selon le type d'information transmis, la nature et la durée du feedback, mais que de manière générale, le feedback sur consommation (direct ou indirect) a été efficace pour la maîtrise de la demande d'électricité (par réduction et effacement en pointe), même si la réduction était plus grande chez les groupes à feedback direct, par action sur les comportements de restriction (*Curtailment behavior*), sans toutefois déclencher les comportements d'efficacité (*Efficiency behavior*) et de maintenance (*Maintenance behavior*), compte tenu des coûts et des délais de leur mise en œuvre.

Le maintien des efforts d'économie énergétique ne peut toutefois se faire que si le dispositif de feedback est prolongé dans le temps, de manière à ce que le ménage ne revienne pas à ses anciennes habitudes, malgré ses changements de comportement et sa prise de conscience. C'est donc dans ce sens que pourraient s'orienter de futures recherches, qui permettraient de sauvegarder les acquis et d'aborder tous les groupes de facteurs impactant une maîtrise efficace et totale de la demande électrique résidentielle.

Mots clés : *Feedback, Smart Meter, Smart Grid, comportement, consommation, habitudes, maîtrise de l'énergie.*

Abstract

This thesis aims to study the impact of feedback to households on their ability to control their electricity consumption and was based on an experiment conducted in the field, as part of a project called *TicElec* (Technologies de l'Information pour une Consommation Electrique Responsable), produced in the town of Biot, in Alpes-Maritimes (a department marked by power supply constraints in cold periods) and associating University, local authorities and a consulting firm.

Our problematic which focused on the impact of several types of feedback (inspired by the typology of feedback developed by Darby (2006a) applied to three groups of consumers over a period greater than six months, showed the existence of different consumer behavior and control of the electricity demand of households studied, more or less marked by the lack of information about their consumption patterns, that is to say, the weak link in energy management strategies. We also have shown that the results depend on the type of transmitted information, the nature and duration of feedback, but in general, the feedback on consumption (direct or indirect) was effective in controlling the application for electricity (by reduction and erasing peak), although the reduction was greater in groups direct feedback by acting on the Curtailment behavior, without triggering Efficiency behavior and Maintenance behavior, given the costs and time of implementation.

Maintaining the energy-saving efforts, however, can be done only if the feedback device is extended in time, so that the household does not return to his old habits, despite his behavior change and awareness. It is in this sense that may guide future research that would preserve the gains and address all groups of factors impacting the effective and complete control of residential electricity demand

Key words:

Feedback, Smart Meters, Smart Grid, behavior, consumption habits, energy control.

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	ii
Abstract	iii
Table des matières	iv
Liste des abréviations	vii
Liste des graphiques	ix
Liste des figures	xi
Liste des tableaux	xii
Liste des annexes.....	xiv
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
Maîtrise de la demande d'énergie en France	3
Consommation d'énergie des ménages en France et en Région PACA	5
Projets portant sur le comportement des ménages.....	9
Limites des modèles de consommation des ménages.....	9
Organisation de la thèse.....	13
CHAPITRE I : DIVERSES FORMES DE FEEDBACK ET CONSOMMATION	
ÉLECTRIQUE : UNE REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	15
Introduction	16
1. Les solutions pour un changement d'habitude efficace et durable	19
2. Le Smart Meter et la réduction de la consommation grâce au feedback	22
2.1.Les différents types de feedback	24
2.2.Les réductions de consommation obtenue par feedback.....	27

3. Déterminants de la demande énergétique du secteur résidentiel	33
4. Etalement de la consommation et effacement aux heures de pointes	36
Conclusion.....	40
CHAPITRE II : RECUEIL DES DONNÉES ET PROTOCOLE D'EXPÉRIMENTATION . 44	
Introduction	45
1. Présentation générale du projet.....	47
2. Mise en place technique et matérielle du projet.....	50
3. Echantillonnage.....	54
4. Phase d'expérimentation	55
4.1.Profil des ménages de l'échantillon	55
4.2.Caractéristiques des logements	59
4.3.Abonnement, tarifs et installation du système smart.....	60
4.4.Equipements de cuisson et de chauffage des ménages	62
5. Présentation des données de l'enquête.....	63
5.1.Préférences et sensibilité environnementale.....	63
5.2.Comportement des ménages vis-à-vis de leur d'équipement.....	68
Conclusion.....	78
CHAPITRE III : ANALYSE DE LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ ET MODÈLE DE RÉGRESSION	
80	
Introduction	81
1. Analyse de la consommation électrique	82
2. Modélisation de la réduction de consommation électrique.....	88
2.1.Modèle d'analyse	88
2.2.Choix des variables	90
2.3.Régression et analyse	96
3. Analyse des changements d'habitude de consommation.....	101
Conclusion.....	110

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVE	112
Synthèse de nos résultats de recherche	112
<i>i) Problématique globale et contraintes de la maîtrise de la consommation électrique</i>	112
<i>ii) Enseignements tirés de l'étude des différents feedback</i>	113
Limites de notre recherche et perspectives de travaux futurs.....	117
Annexes	120
Bibliographie	177

Liste des abréviations

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AEE	Agence Européenne pour l'Environnement
AFME	Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie
CERENE	Centre d'Etudes et de Recherches Economiques sur l'Energie
CREDOC	Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de vie
EDF	Electricité de France
EPRI	Electric Power Research Institute
ERDF	Electricité Reseau Distribution France
GEIC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GES	Gaz à Effet de Serre
HC	Heures Creuses
HP	Heures Pleines
ICT	Information and Communication Technology
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
JRC	Joint Research Center
Ktep	Kilotonne d'équivalent pétrole
KWh	Kilowatt-heure
LBC	Lampes à Basse Consommation
LCD	Écran à Cristaux Liquides
LED	Light-Emitting Diode (diode électroluminescente)
MDE	Maîtrise de la Demande d'Energie
Mt eq CO₂	Millions de tonnes d'équivalent-CO ₂
Mtep	Millions de tonnes d'équivalent pétrole
MW	Megawatt
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
PACA	Provence-Alpes-Côte d'Azur
PIB	Produit Intérieur Brut
PTRH	Peak Time Rebate High
PTRL	Peak Time Rebate Low
RTE	Réseau de Transport d'Electricité
SM	Smart Meters

SOeS	Service de l'Observation et des Statistiques
SRHI	Self-Reported Habit Index
tC	Tonnes de Carbone
TCAM	Taux de Croissance Annuel Moyen
TIC	Technologie de l'Information et de la Communication
TicElec	Technologies de l'Information pour une Consommation Electrique Responsable
TOU	Time of Use
TWh	Térawatt-heure
UE	Union Européenne
UFE	Union Française de l'électricité

Liste des graphiques

Graphique 0. 1 : Consommation d'électricité par secteur de 1973 à 2013 (TWh).....	4
Graphique 0. 2: Répartition de la consommation finale d'énergie par secteur en France en 2012.....	6
Graphique 0. 3 : Structure de la consommation d'électricité par secteur dans le département des Alpes Maritimes (%).....	8
Graphique 1. 1 : Courbe de consommation d'une journée type (selon la saison).....	37
Graphique 1. 2 : Courbe de consommation d'une journée type.....	37
Graphique 2. 1 : Revenu imposable ou fiscal de référence.....	56
Graphique 2. 2 : Nombre d'occupants par tranches horaires (hors week-end).....	58
Graphique 2. 3 : Type de logement occupé.....	59
Graphique 2. 4 : Avis sur la contribution individuelle à la protection de l'environnement.....	66
Graphique 2. 5 : Perception des facteurs essentiels pour une consommation durable.....	66
Graphique 2. 6 : Conditions de l'engagement à la maîtrise de la consommation électrique ...	67
Graphique 2. 7 : Extinction des lumières dans les pièces inoccupées.....	69
Graphique 2. 8 : Utilisation d'ampoules basse consommation.....	70
Graphique 2. 9 : Degrés d'importance des critères d'achat de nouveaux matériels électroménagers (Avant TicElec).....	71
Graphique 2. 10 : Priorité des investissements des ménages durant l'expérience.....	73
Graphique 2. 11 : Report d'utilisation de certains appareils aux heures creuses.....	75
Graphique 2. 12 : Impacts de TicElec sur les pratiques énergétiques et les comportements...	76
Graphique 2. 13 : Raisons des changements de pratiques énergétiques classées par groupe ..	77
Graphique 3. 1: Consommation comparée des ménages (2012/2011) en kWh.....	83
Graphique 3. 2 : Consommations moyennes de 2011 et 2012 par ménage, selon les 2 feedback (kWh).....	86
Graphique 3. 3 : Consommations moyennes de 2011 et 2012 par ménage, selon les 3 feedback (kWh).....	87
Graphique 3. 4 : Persistance de l'effet moyen du Feedback direct à différents moment de la journée.....	103

Graphique 3. 5 : Changement du comportement de consommation des ménages avec Feedback direct « Real Time » (Comparaison Mars et juillet 2012)	104
Graphique 3. 6 : Changement du comportement de consommation des ménages avec Feedback direct « Real Time Plus » (Comparaison Mars et juillet 2012)	105

Liste des figures

Figure 1. 1 : Cycle d'apprentissage de Kolb appliqué à la réduction de consommation électrique	17
Figure 1. 2 : Les types de feedback selon EPRI.....	25
Figure 1. 3 : Déterminants de la demande énergétique du secteur résidentiel	34
Figure 1. 4: Facteurs déterminants la consommation électrique du secteur résidentiel	35
Figure 2. 1 : Déroulement du projet	49
Figure 2. 2: Dispositif TicElec	50
Figure 2. 3 : Branchement sur le compteur général	51
Figure 2. 4 : Prise nomade.....	51
Figure 2. 5 : Portail utilisateur – Accueil	52
Figure 2. 6 : Portail utilisateur – Données en temps réel	53
Figure 2. 7 : Portail utilisateur – Historique.....	53
Figure 2. 8 : Portail utilisateur – Paramètres	54
Figure 3. 1 : Groupes de facteurs impactant une maîtrise efficace de la demande électrique résidentielle	94

Liste des tableaux

Tableau 0. 1 : Taux d'équipement des ménages* en appareils électriques (%).....	7
Tableau 1. 1 : Enquêtes nationales et internationales sur la consommation et les pratiques énergétiques.....	18
Tableau 1. 2 : Economie d'électricité réalisé selon le type de feedback.....	27
Tableau 1. 3 : Economie par feedback, selon l'échantillon et la durée des études	29
Tableau 1. 4 : Economies d'électricité obtenues par feedback dans quelques pays	30
Tableau 1. 5 : Enquêtes sur les feed-back au niveau de la consommation électrique.....	31
Tableau 2. 1 : Catégorie socioprofessionnelle	57
Tableau 2. 2 : Abonnement électrique	60
Tableau 2. 3 : Connaissance des ménages de leur forfait d'électricité.....	61
Tableau 2. 4: Systèmes de cuisson et de chauffage.....	62
Tableau 2. 5 : Intérêt porté à la consommation électrique du chauffage et de la machine à laver.....	68
Tableau 2. 6 : Changement de source d'énergie pour le chauffage	69
Tableau 2. 7 : Classement des critères d'achat de nouveaux matériels électroménagers (Pendant TicElec).....	72
Tableau 2. 8 : Classements des appareils électriques selon leur consommation.....	72
Tableau 2. 9 : Nature des choix réalisés au niveau des derniers investissements domestiques et revenus	73
Tableau 2. 10 : Caractéristiques des ménages ayant investi dans de nouveaux équipements multimédia durant TicElec	74
Tableau 2. 11 : Les moments de la journée où les ménages consomment le plus	75
Tableau 3. 1: Economie d'électricité réalisé grâce aux différents types feedback.....	85
Tableau 3. 2: Economie par feedback, selon l'échantillon et la durée des études	87
Tableau 3. 3 : Statistique descriptive entre les années 2011 et 2012	97
Tableau 3. 4 : Régression de la fonction de réduction de la consommation entre les années 2011 et 2012.....	98

Tableau 3. 5 : Régression de la fonction de réduction de la consommation entre les années 2011 et 2012 par type de Feedback	100
Tableau 3. 6 : Changement des comportements de restriction selon le feedback	107
Tableau 3. 7 : Changement des comportements d'efficacité selon le feedback	108
Tableau 3. 8 : Changement des comportements de maintenance selon le feedback	109

Liste des annexes

Annexe 1 : Article en cours de publication	121
Annexe 2: Quelques projets à vocation incitative	135
Annexe 3: Evolution de la facture énergétique de la France (milliards d'Euros)	136
Annexe 4: Consommation finale d'énergie par secteur	137
Annexe 5: Evolution de la consommation finale d'énergie par secteur	138
Annexe 6: Consommation d'énergie du secteur Résidentiel par usage	139
Annexe 7: Evolution de la consommation finale d'électricité par secteur de 1973 à 2010 ...	140
Annexe 8: Evolution de Consommation finale d'électricité du secteur résidentiel-tertiaire .	141
Annexe 9 : Evolution du parc de chauffage	143
Annexe 10: Ventilation des consommations spécifiques d'électricité	144
Annexe 11: Consommation d'énergie des ménages en France et en région PACA	145
Annexe 12: Statistiques descriptives des variables quantitatives	147
Annexe 13: Age de l'échantillon	148
Annexe 14: Diplôme le plus élevé du foyer	148
Annexe 15: Statut des occupants des logements	148
Annexe 16: Composition des ménages	149
Annexe 17: Surface habitable des logements	149
Annexe 18: Nombre de pièces habitables	149
Annexe 19: Possession d'un chauffage électrique	150
Annexe 20: Implication des ménages dans la maîtrise de la demande d'électricité	150
Annexe 21: Avis des ménages sur la méthode de réduction de la consommation électrique	150
Annexe 22: Ampoules à basse consommation dans l'entourage des ménages	151
Annexe 23: Recours à la climatisation en été	151
Annexe 24: Achat de nouveaux appareils électroménagers	151
Annexe 25 :Pré-Questionnaire	152
Annexe 26: Questionnaire Principal	154
Annexe 27: Questionnaire Final	164

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis quelques années, le changement climatique est considéré comme le problème environnemental le plus important auquel fait face la communauté internationale. En 2004, le gouvernement britannique a été jusqu'à déclarer que : « *Le changement climatique est le problème le plus grave auquel nous sommes confrontés aujourd'hui* » (King, 2004, p. 177). La prise de conscience a été rapide et dès l'année 2009, la Commission européenne a estimé que ce phénomène est considéré comme étant le problème le plus critique pour une large majorité d'Européens (62%).

Ce changement climatique est principalement causé par l'émission de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, dont la principale composante émise est le dioxyde de carbone (CO₂), produit principalement par la combustion de combustibles fossiles, tel que le charbon et les hydrocarbures (produits pétroliers et gaz) et qui reste présent dans l'atmosphère pour une très longue période, car « *il n'existe pour l'instant aucun moyen de réduire les concentrations atmosphériques de ce gaz* » (Jardine, et al., 2004, p. 12).

Il engendre un effet dépressif sur la croissance économique (Stern, 2006), et impose à l'humanité une révision en profondeur de la façon dont l'énergie est utilisée, tant sur plan quantitatif, pour optimiser la quantité d'énergie utilisée pour produire un bien ou un service, que sur le plan qualitatif, pour produire un bien ou un service, par recours à des sources d'énergie qui engendrent une moindre pollution. Le monde est donc aujourd'hui face à l'obligation de consommer moins d'énergie et la consommer mieux. Il apparaît que « *l'effort collectif est donc devenu indispensable, voire impératif pour réduire les émissions de carbone et combattre le changement climatique* » (Ake, et al., 2011, p. 3).

Pour mesurer l'impact environnemental de la production ou de la consommation d'un bien ou d'un service et quantifier ainsi cette « *chose invisible, comme l'effet de serre* » (Ross, et al., 2010, p. 71), de nouveaux indicateurs ont fait leur apparition. Ainsi, tout acte, tout produit, tout service est désormais caractérisé par ce qui est appelé son « empreinte de carbone ». De plus, pour consommer moins et consommer mieux, des réglementations internationales visant

à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) ont été mises en place, suite à la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique (« Processus de Kyoto ») en 1997, qui a donné naissance à des groupes d'influence sur les gouvernements en vue de renforcer la législation relative aux émissions de GES et également de soutenir l'effort des ménages pour les réduire.

Pour l'ensemble des pays membres de l'Union Européenne, la consommation de l'énergie est la principale source d'émission de GES (79 %). Le secteur d'activité économique à plus forte émission est l'industrie (33,6 % des émissions), suivi par le secteur des transports (19,7 %) et le secteur résidentiel-tertiaire (13,9%). En France, c'est par contre le secteur des transports qui est le premier émetteur de GES, avec 28,1 % des émissions globales du pays. Le secteur résidentiel-tertiaire représente 17,5 % des émissions de GES de la France pour l'année 2011 (CDC Climat, 2013), soit un taux supérieur à la moyenne européenne.

C'est la raison pour laquelle le secteur « résidentiel-tertiaire » a occupé une place centrale dans les débats, dès les premières consultations du « Grenelle de l'environnement », qui a débouché sur la loi n° 2009-967 du 3 août 2009, dite « Grenelle 1 » et la programmation de sa mise en œuvre. Cette loi reconnaît que le parc de bâtiments existant en France constitue le principal gisement d'économies d'énergie, et donc de réduction des émissions de GES, et fixe un objectif de réduction de sa consommation de 38% en 2020 (UFE, 2013). Ce cadre réglementaire s'inscrit dans la continuité de la loi de programme du 13 juillet 2005 qui avait fixé les orientations de la politique énergétique française, avec pour objectif de faire baisser la consommation d'énergie par habitant (ou par unité de production), de l'ordre de – 2,5 %/an, d'ici à 2030.

Les gaz libérés par la combustion des hydrocarbures et du charbon, ainsi que par la réfrigération et la climatisation constituent la principale source de pollution et donc causes du changement climatique. Dans ce contexte, les stratégies de réduction des GES se sont fortement orientées, d'une part, vers la maîtrise de la consommation d'énergie, par recours à des systèmes intelligents, basés sur les technologies de l'information et de la consommation (TIC) permettant une gestion rigoureuse de la consommation énergétique ; et, d'autre part, vers le recours aux énergies renouvelables (énergies solaire et éolienne, ainsi que biocarburants entre autres). A l'échelle mondiale, ces stratégies devaient également permettre aux Etats de diminuer leur part de responsabilité dans le changement climatique et le réchauffement de la planète (Bee 2007).

Maîtrise de la demande d'énergie en France

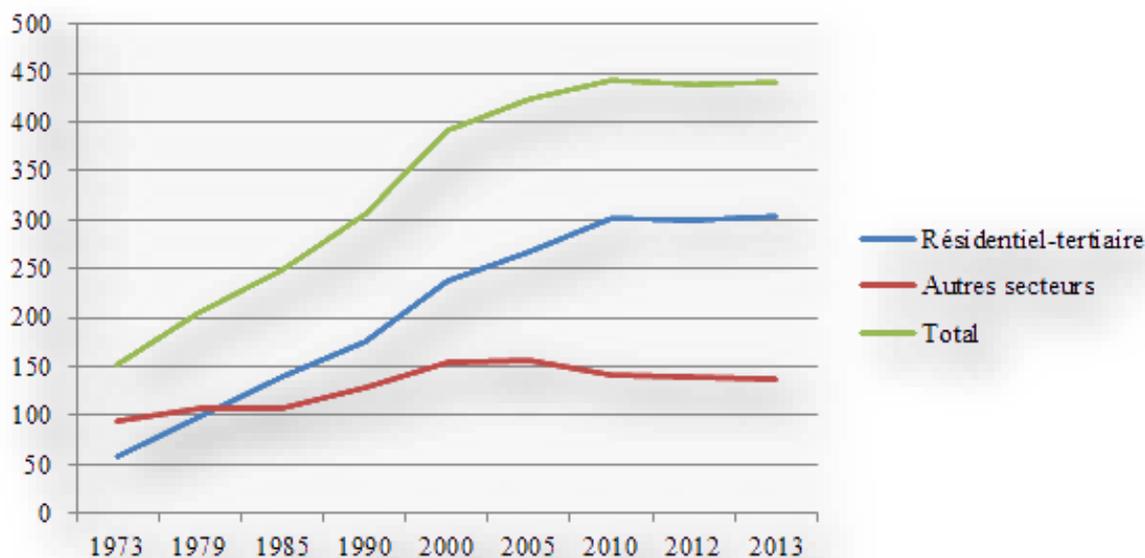
En France, le lien de causalité entre la consommation d'énergie et le PIB, montre que ce qui est appelé « intensité énergétique du PIB ¹ », c'est-à-dire la quantité d'énergie nécessaire pour produire une unité de PIB, diminue sans discontinuer. Traduit en termes d'élasticité, une telle situation signifie que la consommation d'énergie croît moins vite que ne croît le PIB (élasticité <1). Il est important de relever qu'en 2013, si pour les États-Unis l'intensité énergétique du PIB était de 0,158 tep/1000 dollars de PIB, elle était de 0,130 tep en France, ce qui traduit une meilleure performance énergétique du PIB français, qui reste néanmoins inférieure à celle de l'Allemagne qui ne consomme que 0,113 tep/1000 dollars de PIB (ENERDATA, 2014).

En France, malgré les résultats positifs enregistrés, il reste donc encore beaucoup à faire pour améliorer la performance énergétique, notamment pour la hisser au même niveau de celle de l'Allemagne. C'est la raison pour laquelle les programmes français de maîtrise de la consommation d'énergie et de réduction des émissions de GES, bien que ciblant tous les secteurs d'activité économique, mettent l'accent sur le secteur résidentiel-tertiaire qui représente 44,1% de la consommation finale d'énergie (en 2011) se caractérise par une croissance régulière².

Le transport (44,1%), le résidentiel et le tertiaire (32,1%) représentent à eux seuls, plus des trois quarts de la consommation finale d'énergie de la France (70% en 1990 à 76,2% en 2011, soit une hausse de 6 points en deux décennies), tandis que le secteur de l'industrie vient en quatrième position et a même enregistré une baisse de six points sur la même période (UFE, 2013). Pour ce qui est de l'énergie électrique, le secteur résidentiel-tertiaire, domine nettement la consommation des autres secteurs, depuis 1980 (cf. Graphique 0. 1).

¹ L'intensité énergétique est un indicateur qui calcule le rapport entre la consommation d'énergie d'un pays et son PIB (produit intérieur brut), afin de mesurer la performance d'« efficacité énergétique » de l'économie nationale (ou d'un secteur, en considérant sa valeur-ajoutée). Une Economie à forte intensité énergétique signifie donc qu'elle fait appel à beaucoup d'énergie pour atteindre un niveau de PIB donné.

² Des calculs faits en 2012, ont montré que lorsque la consommation du secteur résidentiel-tertiaire est départagée entre le résidentiel et le tertiaire, le secteur des transports devient le secteur qui consomme le plus d'énergie en France et représente le tiers de la consommation d'énergie finale, immédiatement suivi par le secteur résidentiel (SOeS).

Graphique 0.1 : Consommation d'électricité par secteur de 1973 à 2013 (TWh)

Source : (SOeS, 2015)

C'est cette prédominance de la consommation d'énergie du résidentiel-tertiaire qui a amené les débats du « Grenelle de l'environnement » à se focaliser sur l'amélioration de la performance énergétique des habitations et bâtiments, considérée par la France comme une voie incontournable pour atteindre le triple objectif de réduction de la demande d'énergie, de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de développement des énergies renouvelables.

De nombreuses difficultés persistent pour aller vers la maîtrise de la demande d'électricité par les ménages (UFE, 2013), qui représente encore près d'un quart de la consommation finale d'énergie en France (24% en 2012). Pour comprendre son origine, il faut analyser l'usage qui en est fait par les consommateurs, car c'est ce paramètre qui constitue l'une des variables majeures de la demande électrique du secteur résidentiel. Mis à part les usages spécifiques, pour lesquels le ménage ne peut utiliser que l'énergie électrique pour satisfaire le besoin de certains services domestiques, l'utilisateur a le choix de recourir à différents équipements et appareils. Que l'usage³ soit thermique (chauffage et cuisson), d'eau chaude, de force motrice (appareils à moteurs électriques) ou de confort (climatisation, domotique), la fourniture de ces services requiert la consommation d'une certaine quantité d'énergie, variable selon

³ Sur le plan des usages, c'est-à-dire la décomposition des consommations d'énergie finale associée aux divers services auxquels il est fait appel par les ménages dans leur logement, le Centre d'Etudes et de Recherches Economiques sur l'Energie (CEREN) distingue le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire (ECS), la cuisson et l'électricité spécifique.

l'équipement que le ménage utilise. De plus, en tenant compte des variables climatiques, la consommation peut même fortement augmenter, d'une saison à l'autre et d'une région à une autre, car « *le contexte physique dans lequel la demande de service est exercée sur l'équipement peut influencer le besoin d'énergie de celui-ci pour répondre à un même service* » (Allibe, 2012, p. 43).

De là est apparue la nécessité d'agir sur les comportements des ménages en agissant sur leur mode de consommation. Ce constat a conduit les chercheurs à réaliser un certain nombre de travaux empiriques dans le domaine du comportement. De nouvelles méthodes d'actions sur les comportements sont menées et les plus avancées portent sur l'impact du feedback sur la consommation d'énergie des ménages.

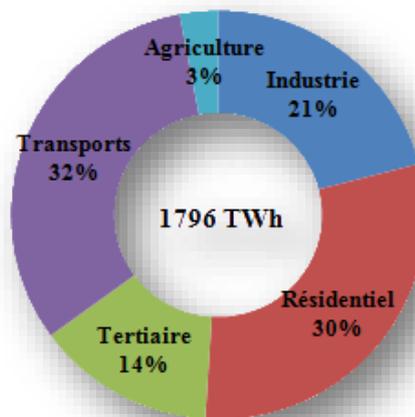
Consommation d'énergie des ménages en France et en Région PACA

En France, la structure de la consommation d'énergie par usage montre que le chauffage est le poste dominant et représente plus des deux tiers de la consommation d'énergie du secteur résidentiel, loin devant les usages pour la cuisson, l'eau chaude et l'électricité spécifique⁴. L'analyse par source d'énergie montre qu'en valeur absolue, la consommation finale d'électricité est passée de 151 TWh en 1973 (dont 57 TWh pour le secteur résidentiel-tertiaire, soit 37,7%) à 441 TWh en 2013 (dont 303 TWh pour le secteur résidentiel-tertiaire, soit 68%) (SOeS, 2015). En valeur relative, sa part dans la consommation finale d'électricité a doublé (37,7% à 68%), au point qu'en 2013, elle se situe au-dessus de la moyenne de l'espace européen où elle compte pour environ 60%. Selon le rapport de la Commission Européenne, « *final residential electricity consumption accounted for 29.71% of total final electricity consumption in the year 2010* » (Bertoldi, et al., 2012, p. 18).

L'analyse de la consommation par secteurs montre quant à elle que le secteur résidentiel (tertiaire non compris) absorbe à lui seul, 30% de la consommation finale et vient immédiatement après le secteur des transports qui représente près du tiers de la consommation d'énergie finale en France en 2012 (32%), suivi par l'industrie (21%) (cf. Graphique 0. 2).

⁴ L'électricité spécifique correspond à l'électricité nécessaire pour les services qui ne peuvent être rendus que par le recours à l'énergie électrique, tels que l'éclairage et l'électroménager. Elle ne prend pas en compte l'eau chaude, le chauffage et la cuisson, qui peuvent utiliser d'autres sources d'énergie.

Graphique 0. 2: Répartition de la consommation finale d'énergie par secteur en France en 2012



Source : (UFE, 2013)

Historiquement, la consommation domestique d'électricité a donc très fortement augmenté et cette hausse est liée à la multiplication des usages spécifiques de l'électricité (bureautique, hi-fi, consoles de jeux, etc.) par les ménages français. Selon le Commissariat général au développement durable (Service de l'observation et des statistiques, 2011), la consommation d'électricité pour les usages spécifiques (services qui ne peuvent être rendus que par recours à l'électricité, tels que l'éclairage et l'électroménager), a été multipliée par 2 entre 1985 et 2008, en raison de la progression de l'équipement électrodomestique (électroménager, multimédia, climatisation, etc.). Cette multiplication d'appareils électriques a été à l'encontre de la performance énergétique du secteur résidentiel.

Même si la performance de nombreux appareils électroménagers s'est considérablement améliorée, la consommation domestique d'électricité par habitant a fortement augmenté en 20 ans. Tous usages confondus, la consommation domestique⁵ d'électricité par habitant est passée de 1560 kWh/an/habitant en 1985 à 2750 kWh/an/habitant en 2009. Il faut rappeler que le chauffage électrique a pendant longtemps dominé le chauffage au gaz. Jusqu'en 2008, près de 70% des logements nouvellement construits étaient encore équipés en chauffage électrique, qui a connu un succès rapide après que les pouvoirs publics français aient décidé d'intensifier leur programme électronucléaire dès le premier choc pétrolier (1973), pour réduire leur dépendance énergétique. Ce mode de chauffage est ainsi devenu compétitif par rapport au chauffage au fuel

⁵ La consommation domestique par habitant correspond au rapport entre la consommation domestique d'électricité (l'électricité livrée aux particuliers) et le nombre total d'habitants (population).

et au charbon. Sa facilité d'usage lui a permis de devenir le moyen de chauffage le plus répandu. C'est ainsi qu'en 2011, le chauffage électrique représentaient environ 31 % du parc français de logements individuels et collectifs (ADEME, 2012). Ce type de chauffage contribue fortement aux « pics » de consommation électrique observés aux heures de pointe (à partir de 19h), ce qui entraîne parfois des coupures sur le réseau de transport de l'électricité (RTE) d'EDF, comme cela est le cas en région PACA, en période de grand froid.

Concernant l'équipement des ménages français, comme le montre le tableau ci-dessous, selon les statistiques officielles de l'INSEE (2010) et (INSEE, 2015), il se résumait en 1985 au lave-linge, au réfrigérateur et au téléviseur. Sont ensuite apparus d'autres types d'équipement : lave-vaisselle, fours à micro-onde, magnétoscopes et lecteurs DVD, consoles de jeux vidéo, ordinateurs et téléphones portables. Les ménages ont même marqué une tendance à multiplier le nombre de téléviseurs dans leur foyer. Pour ces usages spécifiques de l'électricité par les ménages, les plus grands postes de consommation sont le froid (réfrigération, congélation) qui vient en tête (27,6%), suivi par l'audiovisuel (17,1%), le lavage (16,2%), l'éclairage (13,5%) et l'informatique (9%).

Tableau 0. 1 : Taux d'équipement des ménages* en appareils électriques (%)

	1970	1980	1990	2000	2010	2013
Télévision	70,4	89,8	93,7	96,5	97,8	97
Magnétoscope (yc lecteur DVD)	0	0	27,8	67,4	82,1	77
Four à micro-ondes	0	0	12,1	60,6	86,6	88
Réfrigérateur	79,9	94,9	97,6	100	100	100
Micro-ordinateur	0	0	8,9	27	69,7	77
Lave-linge	56,9	79,2	85,0	93	95	96
Téléphone portable	0	0	0	44,1	84,5	89

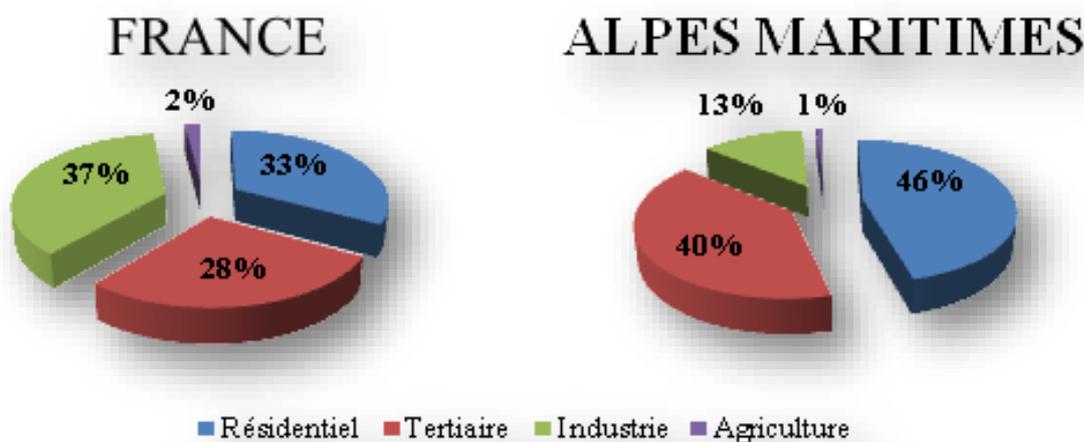
Source : (INSEE, 2006) & (INSEE, 2015)

En termes de dépenses d'énergie des ménages, selon l'INSEE, la part du budget consacrée à l'électricité est plus élevée en Région PACA par rapport à l'ensemble de la France métropolitaine (62 % vs 52 %), viennent ensuite les dépenses de gaz naturel (15 % vs 21%), et celle du fioul (12 % vs 17 %), tandis que les dépenses en autres ressources énergétiques (butane, propane, bois, charbon ou autres) arrivent en dernier et représentent entre 1 et 6 % du budget consacré par les ménages à l'énergie (INSEE, 2010). Ces statistiques ont également relevé que

plus un ménage a un revenu est élevé, plus il consomme de l'énergie, par augmentation de son taux d'équipement en appareils électroménagers.

Au niveau de la Région PACA, selon le bilan de l'Observatoire Régional de l'Energie (ORE, 2011), la consommation énergétique finale représente 8% de la consommation de toute la consommation énergétique finale de la France. La consommation annuelle d'énergie finale du secteur résidentiel-tertiaire a connu une croissance moyenne de 1,5 % par an, soit un taux deux fois plus rapide que celui de la population (près de 5 millions d'habitants en 2008). La consommation du secteur « Habitat » représente un tiers de cette consommation finale de la Région et se caractérise par la prédominance de l'usage chauffage (75%). Cette consommation du chauffage est suivie de l'audiovisuel (5%), du froid (6,8%), du lavage (3,7%), de l'informatique (3,6%), de l'éclairage (3,2%) et des autres usages (3,6%).

Graphique 0. 3 : Structure de la consommation d'électricité par secteur dans le département des Alpes Maritimes (%)



Source : (RTE, 2013a)

Il faut relever que l'ORE considère que les ménages de la région PACA privilégient le recours à l'électricité et que le chauffage électrique est plus fréquent dans cette région que dans le reste de la France. Ainsi, 36,5 % des logements de la Région sont équipés de chauffage individuel électrique contre 27 % pour toute la France (Métropole). Pour le département des Alpes Maritimes (06), comme le montre le Graphique 0. 3 ci-dessus, le secteur résidentiel représente 46% de la consommation finale d'électricité du Département, soit plus que la moyenne de la France (33% de la consommation finale d'électricité).

Projets portant sur le comportement des ménages

L'offre abondante d'appareils, souvent étiquetés économes en électricité, et objet d'un marketing agressif, incite les ménages à se suréquiper, à renforcer leur confort, conduisant ainsi au rebond de la demande. La résistance au changement de comportement était donc une réalité que les pouvoirs publics n'avaient pas prise en compte à sa juste mesure. Zelem (2010) va jusqu'à parler d'une illusion qui repose sur l'idée qu'il suffit d'introduire une technologie moins énergivore, une étiquette label ou une réglementation plus sévère, pour que le consommateur l'adopte pour parvenir aux changements escomptés.

Certains travaux ont été menés, avec pour objectif commun d'introduire des incitations visant à transformer les comportements, par recours à des outils relevant de la psychologie sociale et des enseignements du « *Behavioral change* ». Un certain nombre d'expériences ont été menées en France, mais dont les résultats n'ont pas été publiés (cf. Annexe 2). Dans la Région PACA, une opération a été mise en place à destination des ménages par l'Entreprise de transport d'électricité (RTE)⁶, avec pour objectif de réduire la hausse de la demande d'électricité aux périodes de pointe. Ce décalage des consommations (dit effacement aux heures de pointe) suggéré par EDF à ses clients ne signifie pas toujours pour autant une forte baisse de la facture du consommateur, notamment ceux pour lesquels un tarif unique du kWh est la formule choisie dans le contrat d'abonnement. Dans cette approche, il n'y a pas de messages clairs qui encouragent la réduction de la consommation ou qui incitent les ménages à se convertir au gaz naturel (vendu par GDF) en lieu et place de l'électricité pour certains usages pour lesquels une telle substitution est possible, notamment le chauffage.

Limites des modèles de consommation des ménages

Selon le Centre d'Analyse Stratégique (2013), il est encore difficile pour le consommateur de discerner les appareils et les usages les plus énergivores. Les instruments de restitution d'information disponibles (le compteur et la facture) ne lui apportent qu'une information limitée à la consommation globale. Le Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de vie (CREDOC) considère que la facturation mensuelle fixe, établie sur une estimation de la consommation, a fait que nombre d'usagers connaissent encore

⁶ Filiale d'EDF

mal le prix de l'électricité (CREDOC, 2013). Ceci confirme donc la nécessité de fournir aux consommateurs des informations détaillées, pertinentes et chiffrées sur leurs propres habitudes de consommation d'énergie (*feedback*) et de viser à fixer au changement de comportement des objectifs, ou de modéliser le comportement souhaité (Abrahamse, et al., 2005).

Certains auteurs accordent une importance majeure à la nécessité de compréhension du comportement et de sa modélisation. Les travaux sont nombreux sur ce thème. Que ce soit Wilhite, *et al.*, (1999), Darby (2006), Faruqui, *et al.*, (2010) ou encore Schleich, *et al.*, (2013), les chercheurs soulignent tous la nécessité de fournir au consommateur plus de lisibilité sur sa consommation d'électricité, en recourant aux démarches les mieux acceptées, afin d'avoir plus de chances qu'il les adopte.

En effet, force est de constater que souvent, l'utilisateur connaît mal l'ensemble des facteurs qui déterminent le montant de ses dépenses d'énergie. Il lui devient ainsi difficile de bien cerner la démarche à adopter, tant à l'achat des équipements ménagers, que lors de leur utilisation, pour parvenir à faire des économies, sans pour autant renoncer à son confort. Face à la multitude d'appareils électriques installés, il est donc difficile pour le consommateur de discerner les attitudes à adopter en recourant aux différents appareils pour satisfaire ses usages ménagers et son besoin de confort.

La facture estimée, que les distributeurs ont adoptée pour limiter les relevés par leur personnel et donc pour réduire leurs frais d'exploitation, n'apportent aucune information utile au consommateur. Même lorsque elle est mensuelle et basée sur une consommation réelle, donc non pas sur une simple estimation, utilisée comme seul *feedback*, une telle facture demeure nettement insuffisante pour amener le consommateur à gérer rationnellement sa consommation d'électricité, même s'il est nécessaire de baser la facture sur des index réels et de mieux informer les utilisateurs sur leur consommation et les possibilités de réduire le montant de leur facture (Geoffron, 2011).

Cette facture estimée ne peut donc pas être considérée comme un *feedback* utile, car il est totalement déconnecté de la véritable consommation du ménage. Avec une facture découpée en tranches, sans rapport avec la réalité, l'utilisateur ne perçoit que l'aspect dépense, sans avoir en main les paramètres sur lesquels il peut agir pour satisfaire ses usages à moindre coût, sans remettre en cause son confort. Un tel document ne véhicule aucun message ou signal qui

pourrait amener l'utilisateur à réduire sa consommation. C'est ce qui a fait dire au Centre de Recherche pour l'Étude et l'Observation des Conditions de vie, dans une récente étude (CREDOC, 2013) que la facturation mensuelle fixe, établie sur une estimation de la consommation, a fait que nombre d'utilisateurs connaissent encore mal le prix de l'électricité.

Le manque d'information des consommateurs sur leur consommation demeure donc l'une des faiblesses des stratégies de maîtrise de l'énergie, en termes d'atteinte des résultats escomptés. Quasiment toute la littérature sur le feedback préconise la mise à la disposition des consommateurs des informations pertinentes qui reflètent leurs propres habitudes de consommation d'énergie. De nombreux auteurs considèrent que beaucoup d'interventions ont été utilisées pour encourager les ménages à maîtriser et à réduire leur consommation, avec des degrés de succès divers selon les stratégies employées, dont le feedback sur consommation, les fixations d'objectifs, ou encore les récompenses suite à leurs économies (Abrahamse, et al., 2005; Lloyd, 1993; Stern, 1992).

Ainsi, une combinaison d'informations personnalisées sur les possibilités de réduire la consommation d'énergie, les retours d'information sur la consommation (feedback)⁷ et l'établissement d'objectifs, se traduiraient par des changements dans la consommation d'énergie, par le biais des changements dans les comportements vis-à-vis de l'énergie, ainsi que la possibilité de changer les équipements, en optant pour des appareils à moindre consommation d'énergie, donc moins « énergivores ».

Ce feedback, qui est considéré comme « *actions taken by (an) external agent(s) to provide information regarding some aspect(s) of one's task performance* » (Kluger & DeNisi, 1996, p. 255) sera traité tout au long de notre travail de recherche. La principale question que nous poserons dans notre thèse et à laquelle nous essayerons d'apporter une réponse, est de savoir quel est l'impact des différents feedback sur le comportement du consommateur, pour aller vers une baisse potentielle de sa consommation d'énergie électrique et corollairement une diminution de ses émissions de GES. Cette question sera illustrée par un travail empirique mené dans la ville de Biot dans les Alpes Maritimes, dans le cadre du projet « Technologies de l'Information pour une Consommation Electrique Responsable » (TicElec).

⁷ Le retour d'information sur la consommation (feedback) peut prendre diverses formes, verbale ou écrite, en ligne ou hors ligne, et à travers divers dispositifs. L'information sur la consommation de l'électricité fournie aux clients peut être présentée sous plusieurs formes, mais a toujours été présentée en kWh et en somme à payer.

Tout en prenant en ligne de compte les travaux déjà réalisées sur la question du feedback, notre recherche ira au-delà et innovera en termes de méthodes. Ainsi, un groupe de ménages n'aura comme feedback que les informations fournies par le compteur et la facture d'électricité, tandis que deux autres groupes seront dotés d'un matériel électronique et informatique de mesure et de restitution de leur consommation en temps réel (pack smart). De plus, notre recherche aura la particularité de prendre en compte un échantillon constitué d'une population en majorité à revenu élevé, ce qui permettra, en tant qu'hypothèse comportementale, de cerner la réactivité de cette catégorie socioprofessionnelle au signal de la maîtrise de leur consommation que leur fournira le feedback dont ils bénéficieront.

La méthodologie retenue va reposer sur une randomisation qui permettra ainsi de comparer les résultats obtenus pour chacun des trois groupes de ménages faisant partie de l'échantillon. Les deux groupes qui seront équipés du *Smart Meter* vont bénéficier d'un feedback direct dont l'information va au-delà de l'information fournie par le compteur et la facture de consommation. Le groupe qui bénéficiera d'un feedback indirect (non équipé de *Smart Meter*) sera en situation de *self monitoring* et sa consommation d'électricité sera analysée à partir des données fournies par leur compteur général installé par le fournisseur d'électricité et la facture que ce dernier leur délivre périodiquement.

Cette recherche se distingue par les trois grands défis qu'elle vise à relever. Le premier est celui de la commune de Biot qui cherche à travers cette expérience à créer et à rendre durable des actions éco-citoyennes par le biais d'une dynamique communautaire autour du projet. Le second est de nature technologique et auquel aura contribué un bureau d'études qui a conçu une solution technique originale et non intrusive répondant aux attentes des ménages et compatible avec les habitats, les besoins et les usages des ménages. Enfin, le troisième défi, d'ordre académique a contribué à la méthodologie et à la campagne de mesure et d'analyse des résultats des trois feedback, dans le cadre de cette recherche adaptée au contexte énergétique de la Région PACA et qui répond aux objectifs de la stratégie française de maîtrise de la demande d'énergie.

Cette recherche pourrait donc être considérée comme pionnière, car elle va au-delà des observations de changements qualitatifs obtenus par d'autres travaux dans ce domaine, tandis que notre travail a pour but d'aboutir à des évaluations quantitatives chiffrées des réductions de consommation d'énergie électrique dans le secteur résidentiel.

Organisation de la thèse

Pour pouvoir répondre à cette question, notre recherche a été articulée en trois parties :

La **première partie** de notre recherche consiste en une Revue de la littérature sur le feedback et le changement d'habitudes⁸. Elle traitera successivement des solutions proposées pour un changement d'habitude efficace et durable ; du Smart Meter et la réduction de la consommation grâce au feedback (différents types de feedback et réductions de consommation obtenue par feedback) ; des déterminants de la demande énergétique du secteur résidentiel et enfin de l'étalement de la consommation journalière et son effacement aux heures de pointes.

La **seconde partie** porte sur l'analyse des résultats de notre expérience sur le terrain, dans le cadre de notre intégration au sein d'un projet initié en Région PACA (projet TicElec), qui est une expérimentation visant à mieux comprendre les déterminants de la maîtrise de la consommation électrique par les ménages et à les évaluer quantitativement. Il faut dire que l'enjeu est d'une importance particulière dans cette Région, compte tenu de ses difficultés de satisfaire toute la demande d'électricité durant certaines périodes de l'année. Le projet consistait à équiper des ménages de la Commune de Biot d'une solution technologique qui allait leur permettre d'identifier l'énergie électrique qu'ils consomment et d'étudier les voies et moyens d'agir sur leurs habitudes. De tels projets d'intervention sur un nombre restreint de ménages pendant une durée déterminée, avaient déjà été mis en place en nombre à l'étranger, notamment au Japon, en Australie, au Royaume uni et aux Pays bas, et l'opération menée à Biot constitue une expérience originale en France, notamment sur le plan académique. Dans cette partie portant sur le recueil de données et de description du protocole, la mise en place technique et matérielle du projet ; l'échantillonnage et la phase d'expérimentation (profil des ménages de l'échantillon) seront explicitées de manière détaillée.

Pour terminer, la **troisième partie** mesurera l'impact du feedback sur la maîtrise de la demande d'électricité ainsi que les changements d'habitudes de consommation chez les ménages étudiés. Elle portera sur l'analyse de la consommation électrique et traitera ensuite successivement de la modélisation de la réduction de consommation électrique et de l'analyse

⁸ Les habitudes « *habits* » comportent plusieurs dimensions et sont définies comme un comportement reposant sur une intention qu'il est possible de contrôler mais à un degré limité à cause de l'absence (ou de l'insuffisance) de prise de conscience (Verplanken & Orbell, 2003).

des changements d'habitudes de consommation. Nous réaliserons, dans un premier temps une comparaison de la consommation entre deux groupes avec feedback direct et un groupe suivi selon la procédure du « self monitoring », ainsi qu'une régression mathématique de la fonction de consommation, afin de déterminer la représentativité de la variable feedback dans le processus de maîtrise de la demande. Dans un second temps, nous nous focaliserons sur les groupes de ménages ayant reçu un feedback direct (*Real-time* ou *Real-time plus*), en vue d'étudier les changements de leur consommation journalière, puis nous testerons le degré de changement de leur comportement afin de déterminer quels sont les habitudes qui ont le plus été affectées par chacun de ces deux types de feedback.

**CHAPITRE I : DIVERSES FORMES DE
FEEDBACK ET CONSOMMATION
ÉLECTRIQUE : UNE REVUE DE LA
LITTÉRATURE**

Introduction

Les ménages sont peu informés sur leur mode d'utilisation de l'électricité et leur impact environnemental. L'électricité étant invisible, les consommateurs ont souvent du mal comprendre quand ils surconsomment (Thaler & Sustein, 2009). Le feed-back informationnel est apparu comme un instrument répondant à ce besoin d'identifier et de comprendre les fondements de la consommation électrique.

A titre d'exemple, la facture d'électricité est un document traduisant une simple transaction (vente de l'électricité), où le fournisseur vend des kWh à un acheteur qui ne comprend pas sur quelles bases est facturée la dite transaction, si ce n'est que l'électricité qu'il a consommée n'est pas facturée au même prix selon le moment où il l'a appelée, la consommation étant facturée par tranches, lorsque les abonnés n'ont pas souscrit un contrat à tarif unique où le kWh est vendu au même prix quel que soit le moment de la journée où il est consommé. De plus, la seule lecture des index de consommation figurant sur la facture d'électricité ne permet pas au consommateur de bien identifier la nature des changements requis ou encore de relier la réduction de la consommation d'un équipement à un changement de comportement (Wall & Crosbie, 2009).

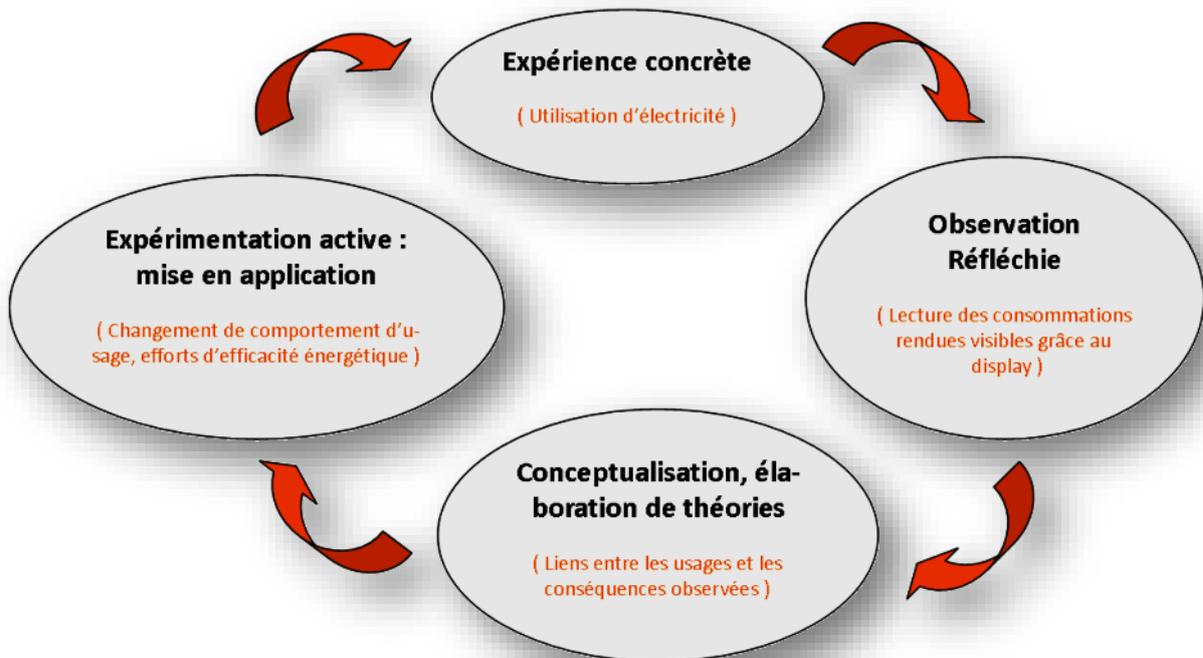
Il faut rappeler qu'en matière de fourniture d'électricité, la France présente une situation de quasi-monopole, dans la mesure où son statut « acheteur, transporteur et distributeur unique »⁹ fait d'EDF le seul fournisseur final que le consommateur connaisse. De plus, il n'existe aucun flux d'information, autre que la facture, entre ce fournisseur et le consommateur, basé sur l'apprentissage mutuel par l'information. Entre le fournisseur et le consommateur, il existe peu d'interface (compteur intelligent accessible au consommateur ou appareils de feedback) qui ferait de l'information liée à la consommation, un produit qui servirait à la fois à informer le fournisseur et le consommateur, sur le niveau et le mode de consommation.

Il est donc nécessaire pour le consommateur d'apprendre à mieux consommer et comprendre sa consommation électrique. A ce titre, Kolb montre l'apprentissage inductif

⁹ EDF transporte et distribue aussi bien sa production que celles des producteurs indépendants

nécessaire pour accumuler de l'expérience. Le « Cycle de Kolb¹⁰ » appliqué à la consommation de l'électricité, permettrait de parvenir à une modification consciente, responsable et durable des comportements du consommateur. Il est présenté dans la Figure 1. 1 ci-dessous :

Figure 1. 1 : Cycle d'apprentissage de Kolb appliqué à la réduction de consommation électrique



Source: (Frachet, 2013, p. 98)

Il existe cependant, de manière éparse, quelques enquêtes sur la consommation et les pratiques énergétiques, ainsi que sur les feed-back au niveau de la consommation d'électricité. Nous constatons également qu'il existe une différence sensible entre les résultats des grandes enquêtes internationales sur les pratiques énergétiques (Tableau 1. 1) qui visent à travers le recours à un panel représentatif à identifier par exemple les sensibilités environnementales permettant l'adoption des énergies renouvelables ou d'autres énergies propres. Les données renseignées sont importantes et se réalisent en coupe instantanée (une fois pour toute), c'est à dire sans un « avant » et sans un « après ». Ces enquêtes, récapitulées dans le tableau ci-dessous, ont chacune leur propre output positif mais également leur propre limite. Elles comportent en général un grand nombre des questions et testent le plus souvent le « consentement à payer »

¹⁰ Le cycle d'apprentissage de Kolb est un concept psychologique qui valide l'utilisation de feedbacks directs pour parvenir à éduquer les consommateurs d'électricité

ou la « pression sociale » face à l'adoption d'une innovation permettant de contribuer à la protection de l'environnement.

Tableau 1. 1 : Enquêtes nationales et internationales sur la consommation et les pratiques énergétiques

Auteurs	Nature de l'enquête	Variables renseignées
(OCDE, 2008 et 2011)	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Qualité de l'eau, consommation d'Energie, choix du mode de transport personnel, consommation de produits bio, Production et recyclage des déchets ⊙ 10 000 ménages dans l'ensemble des pays de l'OCDE 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Consentement à payer pour les produits bio et l'énergie ⊙ Incidence de l'amélioration des infrastructures de transport ⊙ Variable tri en fonction de la disponibilité des infrastructures
(Welsch & Kühling, 2009)	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Enquête sur les déterminants de la consommation pro-environnementale ⊙ 494 individus testés sur la région d'Hanovre (Allemagne) ⊙ Test sur l'énergie et la consommation de produit bio en Allemagne ⊙ Biens habituels (alimentation) et achat de bien occasionnels (Energie renouvelable) 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Importance de la notion d'imitation ⊙ Notion de groupe de référence : (voisins, amis, et proches) ⊙ Test de la consommation passée sur la consommation actuelle (alimentation) ⊙ Test du statut social et de la consommation «ostentatoire » (énergie renouvelable)
(Litvine & Wüstenhagen, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Recherche auprès de la communauté de ST Gallen (Suisse) auprès de 1 163 consommateurs et sur leur capacité et volonté d'acheter de l'électricité verte 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Norme sociale ⊙ Altruisme et égoïsme comme facteur explicatif d'achat ⊙ Consentement à payer ⊙ Capacité à modifier les antécédents psychologiques et la connaissance du feedback

Source : Notre synthèse des enquêtes

Il y a lieu de souligner que si de tels protocoles sont relativement fréquemment utilisés en Europe et au Japon, ils ne sont pas encore en usage en France, ce qui souligne tout l'enjeu de notre thèse pour une meilleure maîtrise de la demande d'électricité par les ménages français.

1. Les solutions pour un changement d'habitude efficace et durable

Comme nous l'avons déjà souligné précédemment, l'analyse des comportements demeure encore le « point faible » des stratégies de maîtrise de l'énergie en France, dans la mesure où l'approche des comportements, même lorsqu'elle s'appuie sur l'analyse économique et des outils économétriques, a tendance à sous-estimer encore le recours aux techniques et aux technologies, notamment les technologies de l'information et de la communication (TIC) qui facilitent l'orientation des ménages vers un comportement plus réfléchi et potentiellement durable.

Lorsque l'objectif consiste à réduire la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel, un certain nombre d'informations préalables demeurent essentielles. Il faut en effet avant toute chose, bien identifier les usages des sources d'énergie disponibles au niveau des ménages, puis cerner les types de comportements associés à ces différentes sources d'énergie identifiées. L'identification couvre les utilisations finales liées aux usages tels que le chauffage de la maison, le chauffage de l'eau, le refroidissement de l'espace habité, les services offerts par les différents appareils électroménagers, les types d'éclairage utilisés, et les utilisations des TIC, notamment les équipements informatiques utilisés par les ménages dans leur vie courante. La deuxième tâche consiste ensuite à identifier les types d'interventions techniques qui peuvent correspondre aux comportements modifiables chez le consommateur, susceptibles de réduire sa consommation.

Le premier type de comportement à observer est le mode de vie « *Energy Stocktaking Behaviors and Lifestyle Choices* » (Ehrhardt-Martinez & Garrison-Institut, 2012) ; car il est considéré comme un facteur majeur qui détermine la consommation énergétique. Il s'agit notamment d'analyser les comportements d'économie d'énergie qui se manifestent très fréquemment chez le consommateur et qui peuvent induire des économies d'électricité à un coût faible, voire nul, tel que le choix de vivre dans un espace qui répond à ses besoins de confort, mais de superficie moins grande. L'autre comportement à coût faible ou nul à analyser est celui qui est relatif aux gestes d'économie d'énergie à forte répétition journalière, ces derniers étant généralement qualifiés de comportements habituels ou « *Habits* », et qui sont également liés à des styles de vie. Les exemples incluent des routines associées telles que l'extinction de l'éclairage, des ordinateurs, ainsi que des autres appareils après leur utilisation,

plutôt que les laisser en position de veille qui les maintient en permanente en connexion au réseau électrique, donc en situation de consommation d'électricité, même si c'est en faible quantité (consommation des transformateurs et des bobinages des appareils). Le dernier type d'actions, cité par Laitner, *et al.*, (2009a) porte sur le niveau de compréhension des comportements peu fréquents et généralement liés aux choix de technologies et aux décisions d'achat de produits et d'appareils économes en énergie, ou encore de travaux portant sur la structure de l'habitation (isolation, double vitrage, etc.).

De manière générale, les habitudes « *habits* » comportent plusieurs dimensions et sont définies comme un comportement reposant sur une intention qu'il est possible de contrôler mais à un degré limité à cause de l'absence (ou de l'insuffisance) de prise de conscience (Verplanken & Orbell, 2003). Maréchal (2010) précise à ce propos que certaines habitudes peuvent être profondément ancrées et liées à certains comportements fréquents et répétés. Veblen (1899) définissait le comportement comme une manière de répondre aux stimuli que les circonstances apportent en changeant (« *They are of the nature of an habitual method of responding to the stimuli which these changing circumstances* » (Veblen, 1899, p. 143)). Dans le cadre de notre recherche, les habitudes énergétiques sont des pratiques et des comportements associés, qui peuvent favoriser la réduction de la consommation énergétique à l'échelle individuelle.

Les économies sont généralement obtenues grâce à trois catégories d'actions. Nous notons tout d'abord, des comportements de restriction qui se traduisent par de simples changements dans les routines et les habitudes (*curtailment behavior*) et qui permettent d'économiser de l'énergie, par exemple par l'extinction des lumières dans les lieux inoccupés et/ou par le report de certaines consommations des heures pleines vers les heures creuses (Sweeney, et al., 2013) .

Il y a également des comportements d'efficacité (*efficiency behavior*) qui se traduisent par des comportements de recherche de l'efficacité par recours à des appareils à faible consommation en achetant des appareils plus performants, qui offrent le même service mais à moindre coût, comme le recours à des lampes basses consommation (Gardner & Stern, 2002) ;

Enfin, des comportements de maintenance (*maintenance behavior*) qui permettent d'économiser de l'énergie par changement du mode de chauffage ou du mode de cuisson, ou encore par des travaux d'isolation du logement (Ölander & Thøgersen, 1995).

L'objectif final, commun à tous ces travaux, est de mettre à la disposition des consommateurs des informations qui analysent leurs propres habitudes de consommation d'énergie (*feedback*). Le fait que les gens disposent de plusieurs voies et moyens de réduction de leur consommation d'énergie signifie que certains ménages sont susceptibles de poursuivre la recherche des économies d'énergie grâce à des décisions d'investissement en équipement, dont les technologies sont porteuses d'économies d'énergie, tandis que d'autres préfèrent faire le bilan de leur mode de consommation d'énergie et se limitent à procéder à des ajustements dans leurs pratiques quotidiennes en vue de réduire leur consommation.

Cette stratégie de feedback constitue cependant une démarche qui nécessite un suivi régulier, de manière à changer durablement les comportements liés aux modes de consommation et aux usages de l'électricité. Cette démarche nécessite des efforts mais permet de parvenir à susciter une volonté permanente de changement. Selon Abrahamse, *et al* (2005) elle doit viser à fixer des objectifs au changement de comportement, ou de modéliser le comportement souhaité.

Les résultats dépendent néanmoins de la nature du feedback reçu par le consommateur. C'est dans cet esprit qu'une étude récente (EPRI, 2009) s'est appuyée sur la distinction entre les formes directes et indirectes du feedback, déjà citées près d'une décennie auparavant par Darby (2000). Certains auteurs traitent du feedback indirect (simple, avec facturation améliorée, ou encore avec facturation hebdomadaire), tandis que d'autres études explorent l'effet du feedback direct (informations en temps réel sur la consommation d'énergie au niveau des ménages ou informations en temps réel par recours à un appareillage installé à domicile). Selon le type de feedback, la taille de l'échantillon, la durée des expériences, ainsi que le contexte, les résultats obtenus peuvent varier de manière significative.

2. Le Smart Meter et la réduction de la consommation grâce au feedback

La justification théorique de la nécessité du feedback remonte à près de trois décennies et se retrouve dans différents courants de recherche. Pour Kluger et DeNisi (1996), les feedback sont des « *actions taken by (an) external agent(s) to provide information regarding some aspect(s) of one's task performance* » (Kluger & DeNisi, 1996, p. 255). De leur côté, les économistes comportementaux considèrent le feedback comme une aide (« *nudge* ») fournie au consommateur en vue de rationaliser sa consommation d'énergie, mais en ajoutant que les informations sur les comportements sont soit manquantes, soit peu précises (Thaler & Sustein, 2009). Pour les psychologues, les effets positifs de feedback sont des processus d'attention, de motivation et d'apprentissage (Kluger & DeNisi, 1996), et sur le fait que le feedback peut renforcer la perception d'auto-efficacité par rapport à l'exécution d'un comportement (Bandura, 1986). Kluger et DeNisi (1996) considèrent quant à eux que lorsque le feedback fournit des informations qui appuient l'apprentissage, des progrès impressionnants de performance peuvent être atteints. Toutefois, ils avertissent que cet effet peut être de courte durée et qu'il peut disparaître si des informations sur la performance sont supprimées (Grønhoj & Thøgersen, 2011).

Il faut mentionner que les consommateurs d'énergie peuvent recevoir deux types principaux de feedback concernant leur consommation :

- **Un feedback indirect fourni après consommation (donc à postériori) :** qui porte sur l'amélioration de la facturation et des conseils spécifiques aux ménages. Ce feedback utilise des techniques statistiques pour estimer (et parfois désagréger) la consommation totale d'énergie des ménages par usages et par type de ménage.
- **Un feedback direct fourni en quasi temps réel :** qui fournit des informations sur la consommation d'énergie du ménage au moment même de sa consommation.

A l'heure actuelle, la plupart des feedback sont fournis par les Opérateurs de service public (EDF dans le cas de la France). Il s'agit d'un feedback simple, c'est à dire indirect. Mais, il a été relevé que ce feedback simple n'incite pas les consommateurs à réduire leur consommation (Ehrhardt-Martinez, et al., 2010), par manque de visibilité sur sa consommation, alors que si le ménage installe des thermostats intelligents ou des afficheurs cela lui permettrait

de mieux gérer la consommation d'énergie, car si le consommateur résidentiel peut visualiser les informations disponibles, il verra à quel point l'énergie consommée se réduirait (Fitzpatrick & Smith, 2009; Ehrhardt-Martinez, et al., 2010; Faruqui, et al., 2010).

Il y a lieu de rappeler que les recherches sur l'impact du feedback portant sur la consommation électrique résidentielle remontent au choc pétrolier de 1973. Il s'agit notamment des travaux de Seaver & Patterson (1976) qui ont examiné l'effet de la facture pétrolière élevée du Pays sur l'évolution de la consommation de fuel ; de ceux de Hayes et Cone (1977) qui ont exploré aux Etats-Unis l'utilisation du feedback jour/semaine dans un ensemble résidentiel d'une centaine de logements ou encore de ceux de Seligman *et al* (1978) qui ont mené des recherches sur la consommation d'énergie des ménages, suite à la hausse des prix du pétrole sur le marché international.

Après 1980, la plupart des travaux de recherche ont été axés sur l'impact du feedback jour/semaine, tandis que d'autres chercheurs ont engagé les premières recherches sur le feedback en temps réel, avec une transmission aux ménages d'informations pouvant leur permettre d'améliorer leur facturation dans le sens de la baisse. Ces études se concentrent sur les formes directes du feedback à l'aide de dispositifs installés au domicile des consommateurs, afin de leur fournir des informations en temps réel pour chacun de leurs appareils électroménager (Allen & Janda, 2006; Carroll & Brown, 2009; Carroll, et al., 2009; Case, et al., 2008; Horst, 2006; MacLellan, 2008; Martinez & Geltz, 2005; Parker, et al., 2006; Parker, et al., 2008; Pruitt, 2005).

En termes de résultats obtenus, selon Allan & Janda (2006) et Parker *et al* (2006), le feedback permet de parvenir à une économie de 0 à 7%. Selon d'autres, comme Mac Lellan (2008) ; Mountain (2006 et 2008) et Scott (2008) les économies peuvent aller de 0 à 18%. De leur côté, Abrahamse *et al.* (2007) ont exploré l'utilisation d'un feedback via le réseau Internet et qui a aidé les ménages européens à obtenir une économie moyenne de 5,1%. Aux Pays-Bas, Benders *et al* (2006) ont également travaillé sur une application via le Web et qui a permis une réduction moyenne de 8,5 %. Tandis qu'au Japon, les travaux (Ueno, et al., 2005; Ueno, et al., 2006a) parlent d'une économie moyenne atteignant 18 %.

La revue de la littérature montre que de nombreuses recherches se sont penchées sur le feedback et il en a découlé de nombreuses définitions, que nous listons ci-dessous. Notre

expérience de terrain sera quant à nous guidée par un choix de feedback qui nous permettra l'obtention de résultats quantifiés et de comparer l'impact d'un nombre limité de feedback pertinents, indirects et directs, sur les consommateurs de la ville de Biot, dans les Alpes-Maritimes, ainsi que sur la relation entre la nature de l'information qui leur est transmise et leur comportement.

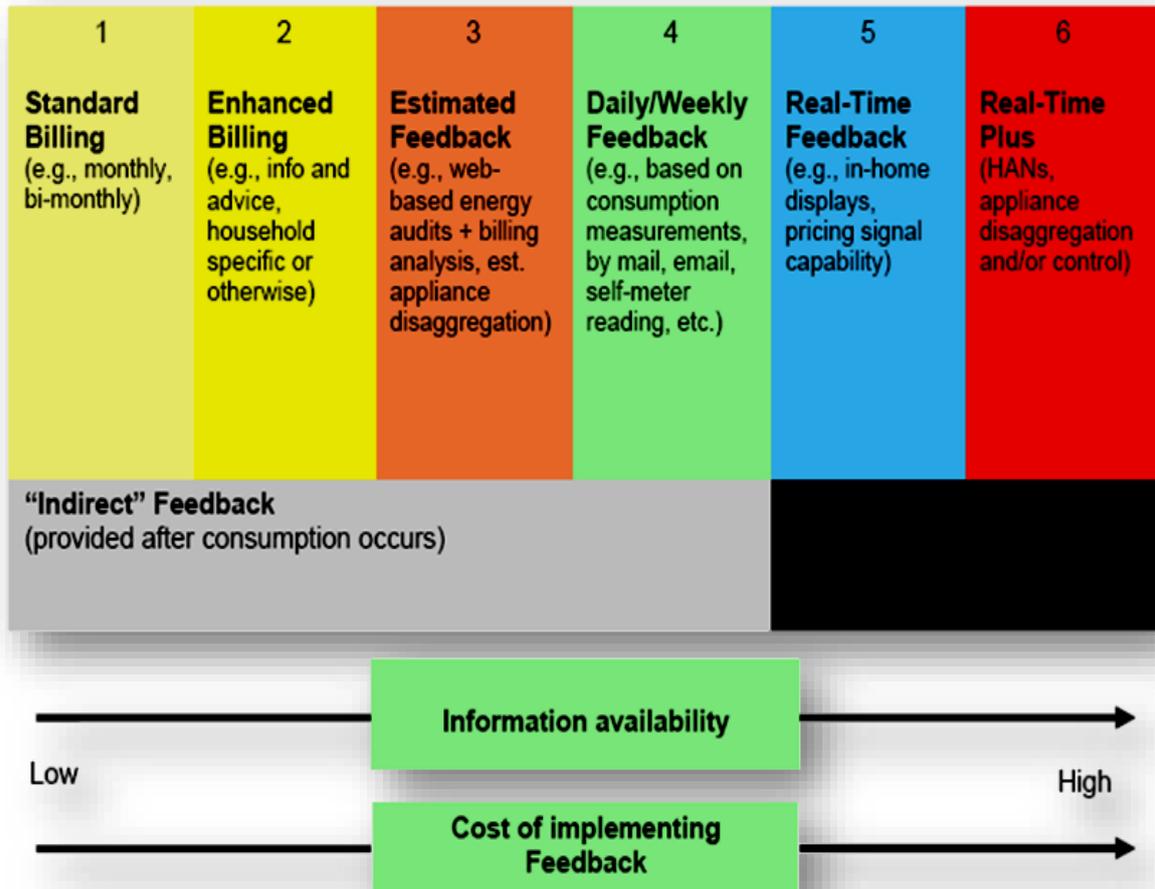
2.1. Les différents types de feedback

En 2000, Darby avait déjà identifié cinq types de feedback : le direct, l'indirect, le feedback par inadvertance, l'utilitaire contrôlé, et enfin les audits énergétiques. Selon lui :

- **Le feedback direct** est fourni à la demande. Il nécessite des écrans à domicile pour générer un feedback interactif par utilisation d'ordinateurs ;
- **Le feedback indirect** implique le traitement de données envoyées aux consommateurs par les fournisseurs d'électricité. Les consommateurs sont censés apprendre de feedback indirect par le biais de la lecture et de la réflexion.
- **Le feedback par inadvertance** est une forme moins systématique de l'apprentissage concernant une nouvelle énergie ou un nouvel équipement.
- **L'utilitaire contrôlé** n'est pas orientée vers l'apprentissage de la part du consommateur, mais de la part du fournisseur d'électricité.
- Enfin, la cinquième catégorie porte sur **les audits énergétiques** considérés comme un feedback qui fournit à un moment précis des informations de base, contrairement à l'information issue de mesures en continu.

Plus récemment, une étude de l'Electric Power Research Institute (EPRI, 2009) a de son côté, développé un système de classification différent, mais qui s'appuie sur les travaux de Darby, tout en présentant une autre caractérisation des feedbacks (Figure 1. 2).

Figure 1. 2 : Les types de feedback selon EPRI



Source: (EPRI, 2009).

L'EPRI (2009), cité par Ehrhardt-Martinez, *et al.*, (2010) ; admet ainsi la différence entre un feedback direct et un feedback indirect, mais son approche identifie cette distinction sur la base de la disponibilité de l'information fournie par un type particulier de feedback et introduit également son coût de mise en œuvre. L'EPRI distingue de son côté quatre types de feedback indirects et deux types de feedback directs. Leurs feedback indirects comprennent la facturation standard, la facturation améliorée, les commentaires et le feedback estimé jour / semaine, tandis que leurs feedback directs comprennent les informations en temps réel sur la consommation globale, et fournissent en plus la consommation de chaque appareil.

Les différents feedback introduits par EPRI sont ainsi résumés :

- **Standard Billing (facturation standard)** : Elle comporte l’affichage de la consommation mensuelle en kilowattheure (kWh), du tarif unitaire (\$/kWh), le coût total correspondant et les autres frais de facturation, ainsi que le montant total de la facture. Cette forme de feedback ne comporte ni statistiques comparatives ou des ni informations détaillées sur l’historique de consommation ;
- **Enhanced Billing (facturation améliorée)** : Elle fournit des informations détaillées sur les habitudes de consommation d’énergie, des statistiques comparant soit l’usage le plus courant d’électricité avec l’historique de consommation et / ou une comparaison à d’autres ménages de type comparable ;
- **Estimated Feedback (commentaires)** : Cette méthode utilise des techniques statistiques de désagrégation de la consommation totale d’énergie (en fonction d’un ménage considéré comme client type), les renseignements fournis par le compteur, et enfin les données de facturation. Le feedback obtenu fournit un compte rendu de la consommation d’électricité engendrée par les gros appareils ménagers ;
- **Daily/Weekly feedback (feedback estimé jour / semaine)** : Les rapports utilisent des données moyennes et comprennent des études sur la consommation auto-relevée par les ménages, comme le fait EDF en France ;
- **Real-Time Feedback (feedback direct en temps réel)** : Il consiste en dispositifs d’affichage de l’énergie de la maison, qui fournissant en temps réel ou en temps quasi réel la consommation d’énergie et les données sur les coûts de l’énergie au niveau global des ménages ;
- **Real-Time Plus (feedback temps réel plus)** : Ce feedback est identique au feedback direct ci-dessus, mais fournit en plus au ménage les données sur les coûts d’énergie pour chaque appareil consommateur dont dispose le ménage.

Concernant ce dernier type de feedback, selon les travaux d’Ehrhardt-Martinez *et al* (2010), l’étude et la comparaison de 57 projets et études sur le feedback, ont montré que le

« *feedback direct plus* » a donné de meilleurs résultats d'économie d'électricité (environ 14%), suivi du feedback direct en temps réel (environ 11%), ainsi que le montre le Tableau 1. 2 ci-dessous:

Tableau 1. 2 : Economie d'électricité réalisé selon le type de feedback

Type de feedback	Economie moyenne	Economie médiane
Enhanced Billing	5,2 %	5,5 %
Estimated Feedback	6,8 %	6,8 %
Daily/Weekly feedback	11,0 %	10,8 %
Real-Time Feedback	8,6 %	6,9 %
Real-Time Plus	13,7 %	14,0 %

Source : (Ehrhardt-Martinez, et al., 2010)

Ce qui peut traduire la particularité de notre recherche est le fait de nous positionner dans la lignée d'un ensemble de travaux recensés (voir Tableau 1. 5) comme ceux de Grønhøj & Thøgersen (2011), Mountain (2006) et Brandon & Lewis (1999) ou encore de Schleich *et al* (2013), tout en allant plus loin, en agissant sur la durée de l'expérience et la fréquence des relevés de consommation. Concernant les types de feedback utilisés, notre démarche nous a amenés à considérer le « *Indirect Feedback* », le « *Real-Time Feedback* » et le « *Real-Time Plus Feedback* », dans le but de comparer les résultats obtenus avec et sans feedback direct et ensuite selon le feedback direct utilisés.

2.2. Les réductions de consommation obtenue par feedback

Les initiatives de feedback reposent sur l'idée qu'elles ont le pouvoir de façonner le comportement individuel (Abrahamse, et al., 2005; Ehrhardt-Martinez, et al., 2010). Néanmoins, les études menées jusque-là ont montré que l'efficacité d'un programme de feedback dépend de certaines caractéristiques qui sont sa fréquence, sa nature (feedback direct ou indirect) et sa capacité de permettre au consommateur d'évaluer sa propre performance (Abrahamse, et al., 2005; Darby, 2006b; Fischer, 2007; Van Houwelingen & Van Raaij, 1989).

Concernant la fréquence, des études suggèrent qu'un feedback plus fréquents tend à gagner en efficacité (Abrahamse, et al., 2005; Darby, 2006b; Fischer, 2007; Grønhøj & Thøgersen, 2011). D'autres études ont montré que la disponibilité d'ordinateurs à domicile

permet de réduire la consommation d'énergie d'environ 12 % de plus par rapport à un groupe témoin qui n'a pas un tel équipement informatique à domicile (Houde, et al., 2013; Schleich, et al., 2013; Van Houwelingen & Van Raaij, 1989). De leur côté, Farhar & Fitzpatrick (1989) ont constaté que les économies d'électricité grâce au feedback peuvent varier de 5 à 20%.

Des études plus récentes indiquent que de plus grandes économies sont possibles (EPRI, 2009), mais que celles qui sont liées au feedback direct sont généralement de 5 à 15% (Darby, 2006b; Grønhøj & Thøgersen, 2011). Schleich *et al* (2013) avancent qu'un feedback indirect procure une économie d'énergie allant jusqu'à 4,5 %, ajoutant même que le mode de transmission de l'information (voie postale ou courrier électronique) ne changeait rien à la réduction de la consommation.

Dans l'exemple du changement d'habitude d'utilisation du chauffage, Darby (2006b) va plus loin en déclarant que concernant le chauffage (le poste de dépense le plus élevé chez les ménages), le feedback indirect est plus approprié que la feedback direct. L'auteur déclare par ailleurs, que le potentiel d'économies des ménages très motivés peut aller de 10 à 20%.

Cette revue de la littérature nous permet donc de constater que :

- Les plus importantes études réalisées dans le monde sur le feedback l'ont été aux Etats-Unis, au Canada, en Autriche, au Japon, en Australie, aux Pays-Bas, en Finlande, au Danemark et au Royaume-Uni. En France, de telles études sont tout juste à leur début et nous ne disposons pas de données quantitatives à ce sujet.
- Les résultats de plusieurs de ces études sur le feedback permettent des résultats variables selon leur durée et la taille de l'échantillon.
- Concernant la taille globale des échantillons d'études, la plupart ont, en moyenne entre 60 et 600 participants. La taille a en effet des implications importantes sur les économies d'énergie liées au feedback. Des études avec de grandes tailles d'échantillon (plus de 100 ménages) ont montré un niveau d'économies d'énergie plus élevé que les études avec de plus petits échantillons. Mais, la taille des échantillons étudiés varie en général de 60 et 600 participants. Comme le montre le Tableau 1. 3, des études avec de grandes

tailles d'échantillon (plus de 100 ménages) montrent un niveau d'économies d'énergie plus élevé.

- Concernant la durée des études, elle se situe en général entre 2 et 12 mois (en moyenne 5 mois). L'étude de la relation entre la durée des études d'économies d'énergie liées au feedback et le type de feedback reçu, a montré que les économies d'énergie étaient plus élevées pour les études courtes (10,1%) que pour les études plus longues (7,7%), sauf pour le feedback jour/semaine, pour lequel une durée supérieure à 6 mois permet de gagner 6,5 points d'économies en plus, comme indiqué dans le Tableau 1. 3 ci-dessous.

Tableau 1. 3 : Economie par feedback, selon l'échantillon et la durée des études

Type de feedback	Taille de l'échantillon		Durée des études	
	Moins de 100 ménages	Plus de 100 ménages	< 6 mois	> 6 mois
Enhanced Billing	-	5,2%	6,6%	5,1%
Estimated Feedback	-	6,8%	6,8%	-
Daily/Weekly feedback	12,4%	8,7%	10,1%	16,5%
Real-Time Feedback	10,7%	6,7%	11,5%	7,3%
Real-Time Plus	12,2%	-	12,2%	-

Source : Notre recherche

Toutefois, Houde *et al* (2013) montrent dans une étude sur 1743 ménages participants qui a duré 8 mois, que le feedback en temps réel a plus d'impact sur la consommation électrique au bout de 3 mois. En 2009, Alcott a, quant à lui, constaté que pour des ménages recevant un feedback trimestriel, une décroissance, mois après mois, des quantités d'énergie économisées, contrairement aux ménages qui recevaient un feedback mensuel. De même, Van Houwelling *et al* (1989) ont constaté dans une étude de 12 mois aux Pays-Bas sur les effets de feedback en temps réel, que les démonstrations à domicile ont réussi à réduire la consommation d'énergie de 12,3 %, mais que lorsque les équipements ont été retirés des domiciles des ménages à la fin de l'étude, les économies d'énergie n'ont pas persisté (Van Houwelingen & Van Raaij, 1989). Certaines études plus longues (dans le but de mesurer la persistance) ont, quant à elles, montré que les économies d'énergie ne se poursuivent pas dans le temps (Mountain, 2006; Mountain, 2008; Nielsen, 1993).

Quant au contexte, les effets de feedback sont également susceptibles d'en être influencés. Comme le montre le Tableau 1. 4, il semble y avoir une variation d'une région du monde à l'autre. La moyenne la plus élevée des économies d'énergie par feedback se situe en Europe (10 %), tandis que la plus faible a été enregistrée au Canada (7,3%).

Tableau 1. 4 : Economies d'électricité obtenues par feedback dans quelques pays

	Rang d'économie	Moyenne d'économie
Etats Unis	Entre -5,5 et 32%	8,8%
Canada	Entre 0 et 18,1%	7,3%
Europe	Entre 5 et 21%	10%
Autres	Entre 3,7 et 12%	8,2%

Source: (Ehrhardt-Martinez, et al., 2010)

Dans le cadre de notre recherche, en termes de durée de l'expérimentation et de périodicité des relevés, nous avons été plus loin, dans la mesure où les données de notre travail reposent sur un panel qui a été mobilisé sur une durée de 12 mois (de Septembre 2011 à Aout 2012), avec des données de consommation de fréquence bien plus élevée que les autres expériences menées jusque-là (relevé automatique toutes les deux minutes). Cette recherche se veut donc être plus fine que celles de Herter *et al* (2007) qui s'est appuyée sur des fréquences de relevés plus longues (toutes les quinze minutes) ; ou celles de Ayres *et al* (2009) qui a considéré des données journalières ; ou encore celles de Abrahamse *et al* (2007) qui se sont limités à des données mensuelles.

Le Tableau 1. 5 ci-dessous récapitule les caractéristiques des expérimentations menées dans le cadre des différents travaux de recherche cités.

Tableau 1. 5 : Enquêtes sur les feed-back au niveau de la consommation électrique

Auteurs	Discipline	Groupe / Type de Feedback	Objectifs	Nature du protocole	Résultats des feed-back
(Abrahamse, et al., 2007)	Psychologie & sociologie	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Groupe de Contrôle (66 ménages) ⊙ Groupe avec une « Enhanced Billing - Facturation améliorée » (137 ménages) 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Réduction de la consommation 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Test sur 203 ménages au Pays Bas (commune de Groningen) ⊙ Durée 5 mois 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Réduction de 5,1% de la consommation dans le groupe avec Feedback ⊙ Le groupe de contrôle a augmenté de 0,7 % sa consommation.
(Benders, et al., 2006)	Neuroscience & Sciences Biologiques	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Groupe de Contrôle (53 ménages) ⊙ Groupe avec un « Estimated Feedback – Commentaire » (137 ménages) 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Réduction de la consommation 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Test sur 190 ménages au Pays Bas 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Réduction entre 11 et 12% dans le groupe avec Feedback ⊙ Le groupe de contrôle n'a eu aucun changement
(Brandon & Lewis, 1999)	Psychologie environnemental & Sciences Economiques	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Ménages avec un « Daily/Weekly feedback - Feedback estimé jour / semaine » 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Réduction de la consommation 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Test sur 120 ménages au Royaume Unis 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Réduction de 4,3%
(Case, et al., 2008)	Sciences économiques / Innovation	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Groupe de contrôle (675 ménages) ⊙ Groupe avec un « Real Time – Feedback temps réel » (625 ménages) dont 375 ménages bénéficient en plus d'un système de recyclage de l'air conditionné 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Réduction de la consommation ⊙ Effacement des pics de consommation 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Test sur 1500 ménages aux Etats Unies (Maryland) ⊙ Durée : 4 mois 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ DPP + orb (Tarification dynamique heures creuse heures pleines + Feedback) = - 0.03% ⊙ PTRL+orb (Remise tarifaire basse sur les heures critiques + Feedback) = + 0.5%, ⊙ PTRH+orb (Remise tarifaire haute sur les heures critiques + Feedback) = + 0.6%
(Elliott, et al., 2006)	Sciences économiques / Innovation	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Groupe de Contrôle (118 ménages) ⊙ Groupe avec une « Estimated feedback - Commentaires » (152 ménages) 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Effacement des pics de consommation 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Test sur 270 ménages aux Etats Unies (Californie) 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Non significatif

(Grønhøj & Thøgersen, 2011)	Sciences économiques & Sciences de gestion	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Groupe de contrôle (163 ménages) ⊙ Groupe avec un « Real Time Plus – Feedback temps réel plus » (20 ménages) 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Réduction de la consommation 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Test sur 183 ménages au Danemark ⊙ Aperçu des appareils éteint, en veille, allumé ⊙ L'échantillon ne réside que dans des villas 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Réduction de 8,1% dans le groupe avec Feedback ⊙ Réduction de 0,8% dans le groupe de contrôle ⊙ Changement du nombre d'ampoules basse consommation et appareils en veille
(Mountain, 2006)	Sciences économiques / Innovation	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Groupe de Contrôle (10 ménages) ⊙ Groupe avec un « Real Time Feedback - Feedback en temps réel » (58 ménages) 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Réduction de la consommation 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Test sur 68 ménages au Canada (New Foundland) 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Réduction de 18,1% dans le groupe avec Feedback
(Schleich, et al., 2013)	Sciences économiques / Innovation	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Groupe de Contrôle (750 ménages) ⊙ Groupe avec un « Daily/Weekly feedback - Feedback estimé jour / semaine » soit par voie postal soit par voie électronique. (750 ménages) 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Réduction de la consommation 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Test sur 1500 ménages en Autriche ⊙ Durée : 1 an 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Réduction de 4,5% dans le groupe avec Feedback ⊙ Pas de différence entre le Feedback postal et électronique. ⊙ Pas d'impact du FB sur 50% de l'échantillon
(Sexton, et al., 1987)	Sciences économiques / Sciences Sociales	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Groupe de contrôle (413 ménages) ⊙ Groupe avec un « Real Time – Feedback temps réel » (68 ménages) 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Réduction de la consommation ⊙ Effacement des pics de consommation 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Test sur 481 ménages aux Etats Unies (Californie) 	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ La demande d'électricité a augmenté de 5,5% dans l'ensemble, dont 12% dans les périodes creuses. ⊙ La demande a diminué de 1,2% pendant les périodes de pointe.

Source : Notre synthèse des enquêtes

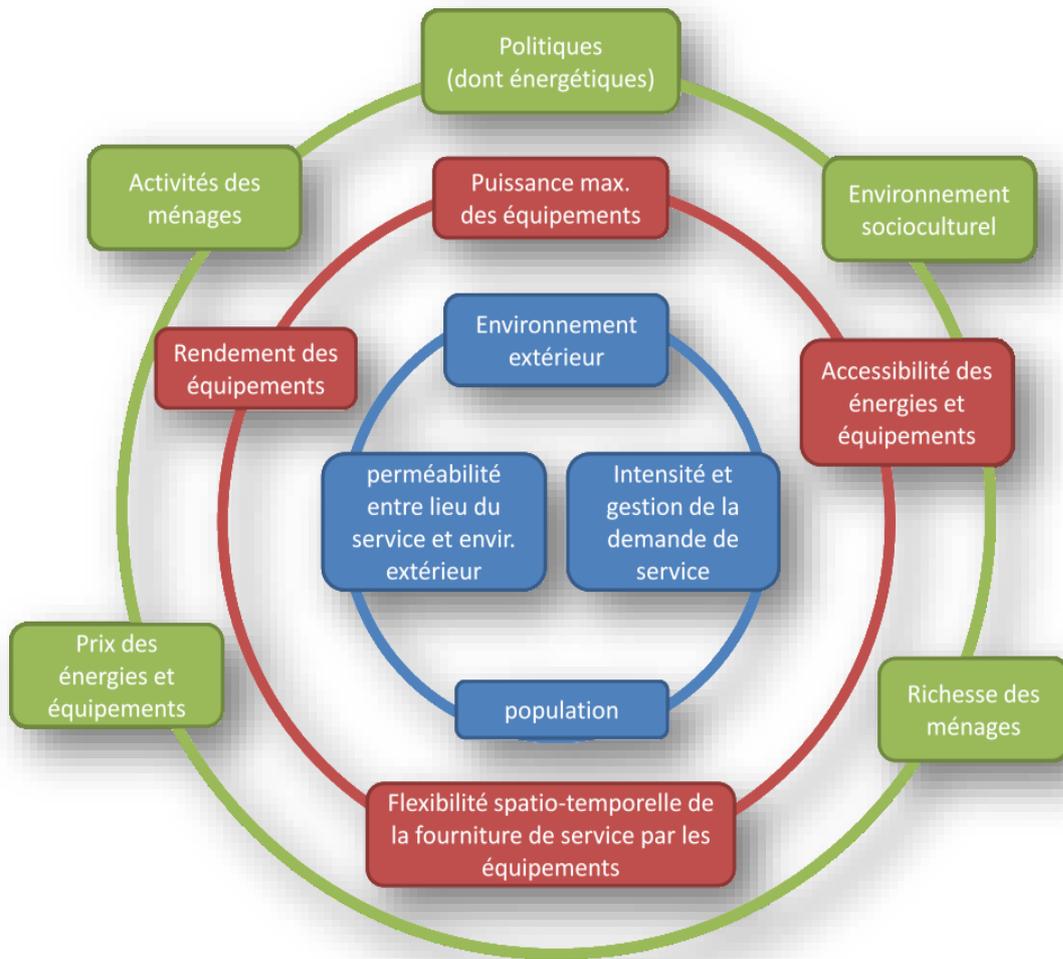
3. Déterminants de la demande énergétique du secteur résidentiel

La demande énergétique du secteur résidentiel est déterminée par le choix de plusieurs variables. La consommation d'énergie résulte d'abord du choix d'un équipement ou d'un appareil pouvant rendre un service à l'utilisateur, sachant que la fourniture de ce service requiert la consommation d'une certaine quantité d'énergie (Cayla, 2011). Ainsi, dans le cas du chauffage, si le service dont a besoin le ménage est de maintenir une température intérieure du logement à un niveau donné, la quantité d'énergie dont ce ménage aura alors besoin sera fonction des facteurs suivants : i) le volume du logement ; ii) la performance de l'isolation thermique de l'enveloppe du logement ; et iii) la température à l'extérieur du logement.

La consommation d'énergie dépendra également du rendement de l'équipement de chauffage utilisé (rapport de l'énergie utile sur l'énergie consommée), ainsi que du type d'énergie consommée par cet équipement. Cet ensemble de ces facteurs va permettre de pouvoir calculer la quantité d'énergie consommée pour bénéficier de l'usage chauffage, pendant une durée donnée.

Ce sont là quelques-uns des facteurs appelés « déterminants directs », représentés par les cercles bleu et rouge de la Figure 1. 3. Ils sont de nature physique et regroupent l'ensemble des variables nécessaires à connaître pour pouvoir calculer avec précision la consommation d'énergie pour un usage donné, à l'échelle d'un logement. A ces déterminants directs sont liés d'autres déterminants non physiques, appelés « déterminants indirects » (représentés par le cercle vert de la Figure 1. 3) rattachés à plusieurs variables, tels que le contexte économique ; ii) le contexte politique ; iii) le contexte socioculturel, comme le mode de vie, les attitudes, ou encore la conscience environnementale du ménage (Allibe, 2012).

Figure 1. 3 : Déterminants de la demande énergétique du secteur résidentiel



Source : (Allibe, 2012, p. 44)

Il y a également lieu de relever l'impact des facteurs exogènes, comme les divers outils incitatifs mis en place par les pouvoirs publics, destinés à déclencher des réactions comportementales permettant de parvenir à la modification des usages électriques par les consommateurs. En plus des leviers fiscaux, les tarifications sont considérées comme des signaux porteurs d'un message incitatif. A ces instruments incitatifs s'ajoutent le feedback, un autre facteur exogène ayant pour but d'informer le consommateur sur son mode de consommation et les impacts de sa consommation sur sa dépense énergétique et sur sa part dans les émissions de GES. Tous ces outils visent à aider le consommateur à agir sur son comportement pour réduire la quantité d'énergie consommée, pour réduire le coût de sa consommation et pour limiter son empreinte carbone par recours à des sources d'énergie non polluantes et à des équipements à technologie propre.

Nous pouvons donc dire, en se basant sur la littérature économique et sociale, que les facteurs qui influencent la consommation électrique du secteur résidentiel peuvent être répartis en trois catégories : les facteurs sociodémographiques, les facteurs techniques et thermiques et, les facteurs technologiques (cf. Figure 1. 4).

Figure 1. 4: Facteurs déterminants la consommation électrique du secteur résidentiel



Source : Notre recherche

Concernant la consommation d'énergie électrique, la question que l'on peut donc se poser à ce stade de la revue de la littérature est de savoir quels sont les déterminants de la consommation électrique qui pourraient le mieux agir sur la maîtrise de la demande d'électricité et surtout lesquels seraient être impactés par le feedback direct et indirect. Ces questions seront donc traitées statistiquement pour notre échantillon et seront prises en compte dans notre modèle, développé dans le chapitre 3.

4. Etalement de la consommation et effacement aux heures de pointes

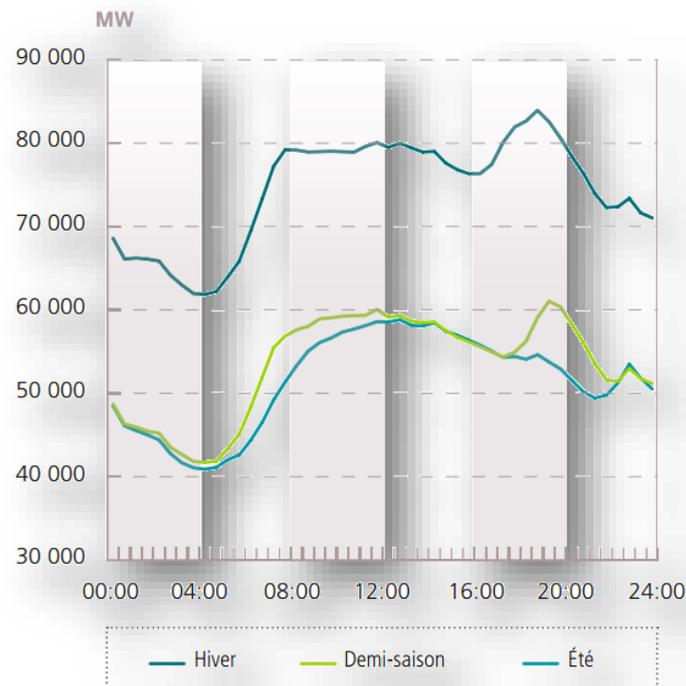
Les travaux de Houde *et al* (2013) révèlent le degré de changement de consommation électrique durant la journée grâce au feedback. Leur objectif était d'établir une distinction entre les périodes d'activité hautes et basses au niveau de consommation journalière du ménage. Partant de là, il y a lieu de déterminer ces périodes d'activité hautes (appelées aussi heures de pointe), afin de changer les habitudes de consommation en les reportant aux heures de basse activité (dites heures pleines et heures creuses).

En effet, comme le montrent les Graphiques 1.1 et 1.2 ci-dessous, le cycle journalier est marqué par une période de moindre consommation la nuit et en dehors des périodes de chauffage, la pointe journalière se situe aux alentours de 13h, tandis que durant l'hiver un pic à 19 h est observé, heure à laquelle les ménages multiplient les usages électriques, notamment l'éclairage. Ainsi, les bilans prévisionnels de la RTE (2009) associent les pointes¹¹ aux usages des ménages nécessitant une forte consommation d'électricité et sont localisées à trois moments de la journée :

- ***pointe du matin*** : hausse de la consommation en début de journée.
- ***pointe du soir*** : hausse de la consommation en fin de journée.
- ***pointe de 19 h*** : augmentation prononcée de la consommation entre 19 h et 20 h (voir ci-dessous la courbe de consommation d'une journée type, selon la saison) :

¹¹ La notion de pointe fait référence à une mesure du maximum de la puissance électrique appelée sur le réseau. En observant une série de mesures quotidiennes, le mot *pointe* est souvent utilisé pour désigner la plus grande consommation de la journée (pointe journalière). Elle se distingue de la pointe annuelle, qui est enregistrée le jour le plus froid.

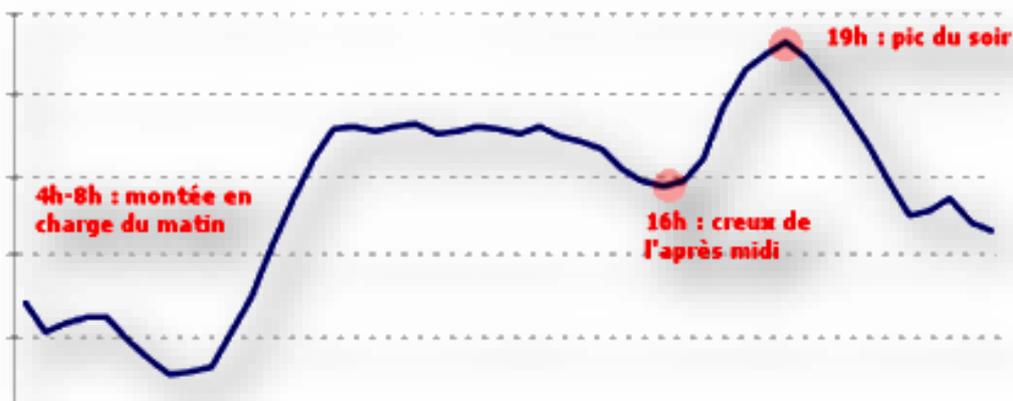
Graphique 1.1 : Courbe de consommation d'une journée type (selon la saison)



Source : (RTE, 2009, p. 42)

Nous pouvons donc distinguer trois principaux points horaires de forte consommation pour une journée type (toutes saisons confondues). Le créneau 4h-8h du matin, où nous notons une forte hausse de la consommation coïncidant avec l'heure de réveil, correspondant à l'allumage des lumières et de l'électroménager du petit déjeuner ; le creux de l'après-midi vers 16h ; et ensuite le pic de 19h coïncidant avec les retours du travail et l'allumage des lumières (et du chauffage en hiver) (cf. Graphique 1.2)

Graphique 1.2 : Courbe de consommation d'une journée type



Source : Notre Synthèse des documents EDF

Comme nous l'avons relevé dans les paragraphes précédents, de nombreuses études ont été réalisées sur l'impact des différents types de feedback sur la réduction de consommation, mais la particularité de ces dernières est qu'elles étaient axées sur la réduction de consommation de manière globale. Rares sont celles qui mettent également en relief et quantifient le niveau de la réduction de consommation aux heures de pointes, c'est-à-dire, l'étalement de la consommation et de l'effacement des heures de pointes, qui est aussi un enjeu national, allant vers la meilleure utilisation du système en place.

Il faut néanmoins relever que la focalisation sur les seules heures de pointe ne permet pas d'aboutir à des réductions sensibles de consommation d'électricité, car il s'agit plus d'un report horaire de la consommation que de sa réduction directe. Ainsi, Martinez & Gelts (2005) déclarent que « *that programs focused on reducing energy consumption during specific time periods save considerably less energy than programs focus on promoting energy conservation and efficiency at all times* » (Martinez & Geltz, 2005, p. 5). En d'autres termes, les projets qui traitent de la réduction de consommation durant toute la journée, grâce au feedback ont obtenu en moyenne, des réductions de 10% (tous types de feedback confondus), alors que les projets qui ont porté exclusivement sur l'effacement aux heures de pointes, n'ont obtenu que des économies globales moyennes d'environ 3%.

Les deux principaux programmes axés sur la réduction de la demande de pointe, ont obtenu des économies d'électricité faibles. En milieu des années 1980, Sexton *et al.* (1987) ont étudié 481 ménages en Californie qui participaient à une structure de tarification selon l'heure d'utilisation. Soixante-huit des ménages ont reçu en continu un affichage de leur consommation d'électricité (feedback direct) sur des moniteurs et leur consommation d'énergie a été suivie pendant une période de 12 mois. L'étude a révélé que le feedback n'a pas abouti à des économies d'énergie (cela a même paradoxalement entraîné une augmentation globale de 5,5% de la consommation d'électricité des ménages), mais que ce feedback a contribué à l'évolution de l'utilisation des heures de pointe en constatant un report d'utilisation vers des périodes hors pointe.

Dans une étude plus récente, Case *et al.* (2008) avaient testé l'impact du feedback direct sur la consommation d'énergie dans le cadre d'une étude portant sur 1500 ménages américains (Etat de Maryland). L'étude implique l'utilisation de deux tarifications de périodes critiques et de promotions en période de pointe. Les résultats ont montré une variation de 17% à 33% sur

les changements de consommation aux heures de pointes, mais que cette fois encore, l'impact sur la consommation globale a été peu concluante avec une réduction de seulement 0,5%.

Ainsi, tous ces résultats fournissent les constats et nécessitent de parvenir à concilier à la fois les impératifs nationaux de réduction de la demande en pointe et les attentes des consommateurs en matière de réduction de leur consommation, en vue de réduire le montant de leur facture d'électricité.

Cette revue de la littérature nous a ainsi permis de nous poser la question de savoir si les ménages bénéficiant d'un feedback direct dans notre étude menée sur la ville de Biot, seront impactés positivement sur, d'une part, leur consommation électrique globale (et donc leur facture), et d'autre part, sur le report d'utilisation de certains appareils impliquant ainsi un effacement durant les heures de pointes, de manière à parvenir à l'aplatissement de la courbe de consommation (dite courbe de charge), dans le sens de l'intérêt national.

Conclusion

La revue de la littérature a montré que le changement d'habitudes permet de réduire à la fois la consommation d'énergie et son impact environnemental. Elle a également montré que les conclusions sont presque unanimes sur la nécessité d'agir sur le comportement des usagers, de manière à parvenir à des économies d'énergie pérennes, pour éviter de faire face à l'effet rebond qui a induit un véritable paradoxe où l'objectif d'économie de l'énergie a plutôt poussé à son gaspillage par utilisation de plus de biens (équipements ménagers) et de services (internet, notamment), démultipliant ainsi les « points » de consommation d'énergie à l'intérieur des habitations.

En France, le manque d'information sur les modes de consommation des usagers constitue visiblement le point faible des stratégies de maîtrise de l'énergie, alors que depuis plusieurs années de nouvelles méthodes ciblant les comportements par recours à un retour d'information en temps réel vers le ménage, pour l'amener à gérer sa consommation d'énergie, de manière plus durable.

Le feedback sur consommation aux ménages serait une solution efficace envisageable selon la littérature. Mais les résultats varient selon le type d'information transmis, la durée et les outils de transmission. Certains types de programmes de feedback reposent sur des technologies smart (fournissant un feedback direct) tandis que d'autres ne le font pas (solution non-smart sous forme de feedback indirect). Néanmoins, de manière générale, le feedback sur consommation est devenu un moyen utile pour aller vers un changement de comportement et un apprentissage actif. Le feedback a révélé une économie d'énergie potentielle d'environ 4 à 12%, selon le type de feedback reçu et la littérature révèle qu'une fois que les consommateurs reçoivent des informations sur leurs habitudes de consommation d'énergie, il ya une grande variété de comportement possibles.

Les résultats des études existantes suggèrent que la plupart des premières économies réalisées grâce au feedback résultent des changements dans les comportements, donc non forcément par des investissements, bien que les ménages qui investissent dans des équipements

économiques réduisent encore plus leur consommation d'électricité, mais que ces actions n'apparaissent qu'à court terme.

Il a également été relevé que les stratégies d'économie d'énergie sont susceptibles de varier selon le niveau de revenus (Vassileva, et al., 2013) et que les ménages à revenu élevé sont plus susceptibles d'acheter des dispositifs de mise en veille automatique des appareils, de nouveaux appareils économes en énergie et d'installer des fenêtres isolantes. Les ménages à faible revenu sont quant à eux plus susceptibles d'adopter des comportements d'inventaire de leur consommation d'énergie pour agir essentiellement sur leurs habitudes et leurs routines de consommation.

Quant à l'impact des différents feedback sur la réduction et la maîtrise de la consommation, certains types de feedback semblent être plus efficaces que d'autres pour générer des économies d'énergie plus substantielles (cf. Tableau 1. 2, Tableau 1. 3 et Tableau 1. 5). Il est également important de noter que Darby (2006b) suggère que les formes indirectes de feedback ont tendance à être mieux adaptées pour aider les ménages à comprendre les effets des changements dans le chauffage des locaux et l'effet des investissements dans de nouveaux appareils et des mises à niveau de l'enveloppe de leur habitat (isolation des cloisons, fenêtres double-vitrage, etc.). D'autre part, les formes directes de feedback (en temps réel et en temps réel plus) ont tendance à être mieux adaptées à la compréhension des économies d'énergie associées à l'extinction des lampes, des téléviseurs et des ordinateurs après usage. Il a été relevé que les ménages à haut revenu, sont plus affectés par un feedback direct fourni par des instruments installés à l'intérieur de leur domicile (comme c'est le cas pour notre expérience), plutôt que par ceux qui sont installés dans des lieux communs d'un bâtiment, donc hors de portée, ce qui ne leur permet pas de modifier leurs habitudes (Vassileva, et al., 2013).

Pour ce qui est de l'effacement des pointes (pics) de consommation et du report d'utilisation de certains appareils vers les heures creuses, l'efficacité du feedback à générer des changements de comportement des ménages est considérablement influencée par le type de feedback fourni. Néanmoins, la littérature montre que les projets axés sur les économies aux heures de pointe se sont, en majorité traduits effectivement en déplacement de la consommation d'énergie à partir des périodes de pointe vers les périodes hors pointe, mais que les économies globales d'énergie restent nettement modestes.

A la suite de cette revue de la littérature, la question maitresse posée demeure encore celle de connaitre le rôle que peut jouer l'apport d'informations sur la maîtrise de la consommation d'électricité, au-delà de celle qui est fournie par le compteur général installé par le fournisseur d'électricité. Notre préoccupation fondamentale et permanente reste donc de savoir quel type de feedback va être le plus approprié pour agir sur le comportement de consommation, de manière efficace et surtout durable, afin de pérenniser la réduction de la demande d'électricité par les ménages, tout en se décalant des périodes de pointe.

Pour ce faire, notre méthodologie de recherche sera guidée par 4 questions majeures, auxquelles nous chercherons à répondre :

1 : Quel est l'impact du feedback sur le changement de consommation et le changement de comportement de consommation en France ?

2 : Quelle est la différence et le degré d'impact du feedback direct et indirect auprès de la population des Alpes Maritimes, précisément celle de la ville de Biot, avec un échantillon de moins de 100 ménages, échantillon observé sur une période supérieure à 6 mois ?

3 : Quels sont les déterminants de la consommation électrique qui peuvent impacter la maîtrise de la demande d'électricité et surtout quels sont les consommateurs qui seront les impactés par le feedback direct et indirect¹² ?

4: Au final, la question est de savoir si les ménages bénéficiant d'un feedback direct durant notre expérience menée sur la ville de Biot, seront impactés positivement sur, d'une part, la consommation électrique globale, et d'autre part, sur le report d'utilisation de certains appareils, induisant ainsi à la fois l'aplatissement de la courbe de leur consommation journalière et un effacement aux heures de pointe.

Dans ce second chapitre, nous allons traiter de l'expérimentation à laquelle nous avons participé pour les besoins de notre thèse, dans le cadre du projet TicElec, mené à Biot et il sera

¹² Nous devons signaler ici que concernant le feedback indirect, à défaut d'adopter les types de feedback relevés à travers la littérature (Standard Billing, Enhanced Billing, Estimated Feedback, Daily/Weekly feedback), nous allons tester une nouvelle approche que nous appellerons « Self monitoring » que nous classerons dans la catégorie de feedback indirect. Ce nouveau feedback que nous allons tester consistera à demander aux ménages de consulter eux même leur compteur électrique et de nous transmettre le relevé sur toute la période de l'étude, à intervalle de 2 mois.

successivement question de la méthodologie d'élaboration du questionnaire, du choix de l'échantillon, du déroulement de l'enquête et du traitement des résultats obtenus, ainsi que l'appréciation de l'impact du feedback généré, sur le changement de comportement de l'échantillon étudié et sur l'infléchissement de la consommation d'électricité.

CHAPITRE II : RECUEIL DES DONNÉES ET PROTOCOLE D'EXPÉRIMENTATION

Introduction

Afin d'appréhender le rôle que peut jouer l'apport d'informations (feedback) aux ménages sur la maîtrise de leur consommation d'électricité, au-delà de celle qui est fournie par le compteur général installé par le fournisseur d'électricité, une expérimentation a été menée auprès d'un échantillon de la population de la commune de Biot (Alpes Maritimes) de 65 ménages.

En plus du fait d'être une approche unique en France, dans la mesure où elle teste simultanément trois types de feedback, l'originalité de la recherche tient dans la mise en place d'un protocole visant à équiper les ménages d'une solution technologique originale permettant de fournir aux ménages une grande visibilité de l'énergie consommée, dans le but d'accroître la connaissance de leurs modes de consommation, leur permettant ainsi d'infléchir leur courbe de consommation et de décaler dans le temps les usages les plus coûteux, tant au niveau individuel qu'au niveau macroéconomique.

La méthodologie retenue repose sur une randomisation qui nous permet de faire des comparaisons entre trois groupes de ménages : un groupe non équipé et bénéficiant d'un self monitoring basé sur le compteur et la facture et deux autres groupes équipés de *Smart Meter* permettant d'avoir un feedback direct.

Cette expérimentation se distingue par les trois grands défis qu'elle vise à relever. Le premier est celui de la commune de Biot qui cherche à travers cette expérience à créer et à rendre durables des actions éco-citoyennes par le biais d'une **dynamique communautaire autour du projet**. Le second est de nature **technologique** relève de la société Ubinode, qui a conçu une solution technique originale et non intrusive répondant aux attentes des ménages et compatible avec les habitats, les besoins et les usages des ménages Biotois. Enfin, le troisième défi est d'ordre **académique** et porté par l'Université de Nice, en contribuant, au-delà des résultats déjà obtenus antérieurement par d'autres chercheurs, à la méthodologie et à la campagne de mesure et d'analyse des résultats des trois feedback, dans le cadre de cette recherche adaptée au contexte énergétique de la Région PACA et qui répond aux objectifs de la stratégie française de maîtrise de la demande d'énergie.

Ce second chapitre présente le projet TicElec et la démarche d'expérimentation adoptée et menée dans ce cadre, ainsi que les bases méthodologiques de la recherche menée. Il expose ensuite la mise en place technique et matérielle du projet, puis la méthode d'échantillonnage et les conditions de mise en place et de déroulement de l'enquête devant permettre d'exploiter ses résultats et de répondre à notre question de recherche.

Il sera ensuite présenté la phase d'expérimentation et le profil des ménages, à travers les caractéristiques de leurs logements, leurs situations d'abonnés à EDF (abonnement, tarif et installation du système de feedback) et enfin leur équipement électrodomestique, notamment leurs équipements de cuisson et de chauffage. Nous terminerons cette partie par la présentation des principaux résultats concernant les préférences et la sensibilité environnementale des ménages, ainsi que leur comportement et le mode d'utilisation des équipements qu'ils possèdent pour répondre à leurs usages d'électricité spécifique, c'est-à-dire les équipements qui ne peuvent fonctionner que par recours à l'électricité.

1. Présentation générale du projet

Le projet a officiellement débuté le 1^{er} Avril 2011 et a été clôturé le 24 Mai 2013. Il a connu 5 phases : le recrutement des ménages ; la rencontre avec ces derniers et leur affectation dans les différents types de feedback ; l'installation de la technologie « *Smart* » dans les groupes bénéficiant de feedback direct ; la collecte des données de leur consommation et enfin la phase de test et de traitement des résultats.

La phase de recrutement des ménages participant au projet a été basée sur le seul volontariat et a eu lieu entre le 2 Avril le 30 Septembre 2011. A cet effet, il a été fait appel aux moyens de communication de la Commune de Biot (affichage, site internet, magazine municipal, réseaux sociaux, tract pédagogique, etc.), ainsi qu'à des communiqués et des conférences de presse, de même que des affichettes (*flyers*) envoyées par poste, accompagnées d'une lettre de la Commune, dans le but de bien montrer l'implication de la Municipalité dans ce projet. Lors de cette étape nous avons réussi à enregistrer l'adhésion de 172 ménages, tous volontaires et prêts à participer à l'expérimentation. Ainsi, dès qu'un ménage s'inscrivait, il lui était remis un questionnaire à remplir et articulé en 7 questions. Les trois premières questions sont destinées à identifier le type de compteur électrique installé dans leur habitation, à vérifier l'existence d'une connexion internet, ainsi que de connaître la distance qui sépare le boîtier internet et le compteur d'électricité.

Ces étapes détaillées dans la figure 2.1 ci-dessous ont permis d'identifier les ménages qui ne réunissent pas les conditions nécessaires afin d'être équipés du dispositif de feedback via internet. Un groupe de ménages devait bénéficier du « *Self Monitoring* » (et devaient relever eux même leur consommation), un second du feedback direct de type « *Real-Time* » et le troisième avec feedback direct de type « *Real-Time Plus* ». La collecte de ce « pré-questionnaire » s'est achevée le 1^{er} octobre 2011 et a permis d'identifier 141 répondants. Cette étape a été suivie par l'étape d'affectation des ménages dans les différents groupes de feedback, ainsi que de leur rencontre afin de leur exposer le déroulement des étapes qui devaient suivre. Chaque groupe a été rencontré séparément les 18, 19 et 20 octobre 2011, et l'équipement smart a été remis aux 2 groupes devant bénéficier du feedback direct.

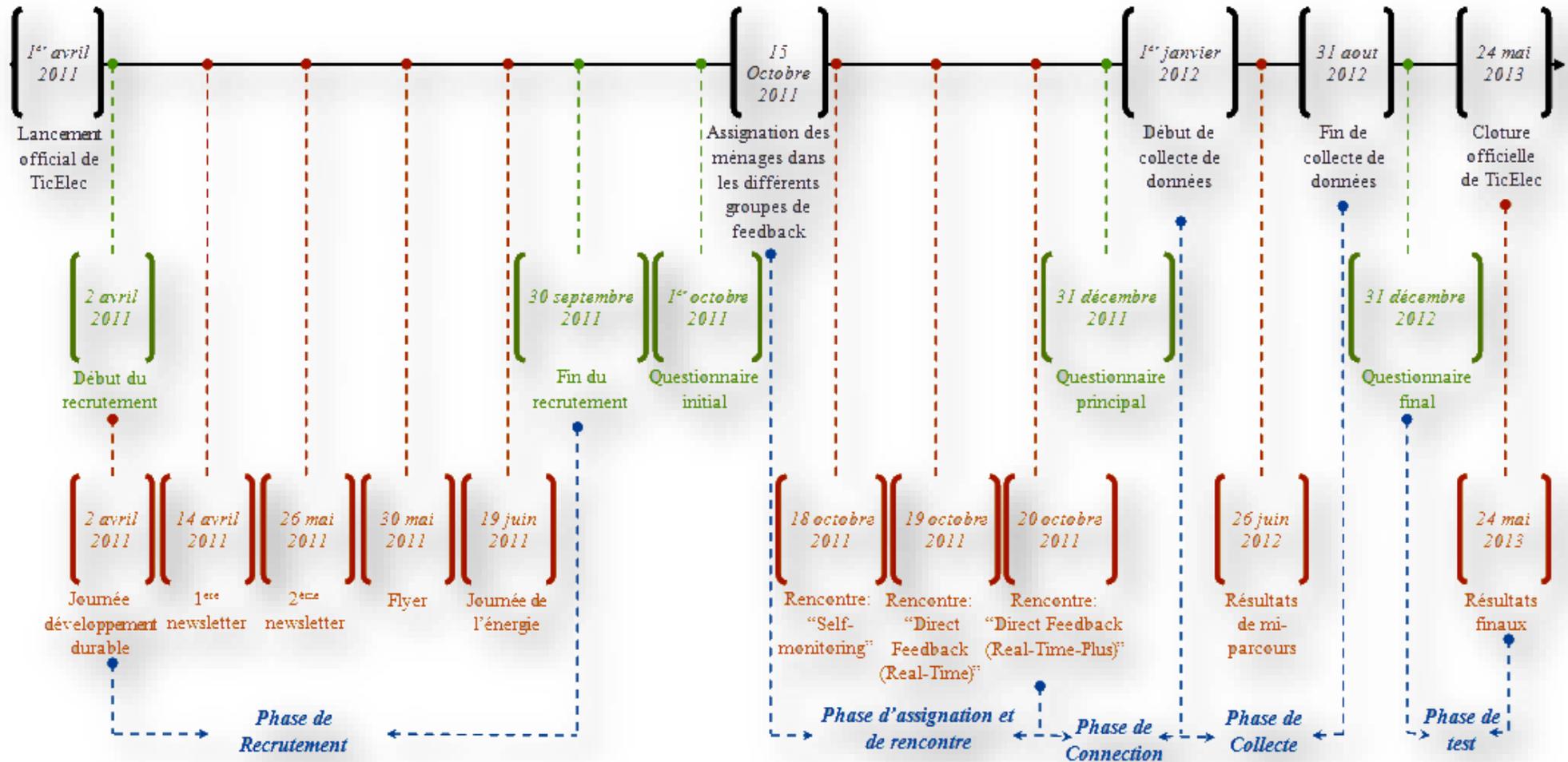
Les 124 ménages concernés par le feedback direct devaient procéder à l'installation et à la connexion, installation et connexion de l'équipement avant le 31 décembre. Ils devaient également remplir le questionnaire qui se composait de questions spécifiques, en rapport avec leur logement, leurs habitudes de consommation, la composition de leur foyer, ainsi que leur avis sur la protection de l'environnement et le développement durable (voir Annexe 26).

La phase de collecte de données de consommation a duré 8 mois (du 1 janvier 2012 au 31 août 2012) et durant cette étape, certains ménages ont abandonné le projet, soit pour des raisons familiales (déménagement, mésentente conjugale, ou autres), des raisons techniques (capteurs qui ne transmettaient pas l'information à cause de l'épaisseur des murs en béton ou tout simplement par démotivation. Ces abandons ont réduit l'échantillon à 80 ménages, pour lesquels toutes les données de consommations ont été recueillies. Durant cette étape, une rencontre de compte rendu de mi-parcours a eu lieu avec les ménages le 26 juin 2012 et qui a regroupé essentiellement des ménages du groupe non équipé du kit smart. Leurs questions et interventions ont traduit une sorte de frustration due au manque d'information sur leur consommation malgré la transmission par EDF du relevé bimestriel de leur compteur.

A la fin de cette étape, 80 ménages ont reçu le questionnaire (voir Annexe 27) composé de questions relatives à l'usage du matériel, les changements éventuels qui ont eu lieu dans leur logement ou dans la composition de leur foyer, la satisfaction du feedback reçu, les changements d'habitudes et les apprentissages acquis durant les 8 mois, ou encore la volonté de chacun à renouveler cette expérience à l'avenir. Les réponses à ces questionnaires ont permis d'élaborer un recueil complet de données et d'informations d'avant et après expérimentation de 65 ménages répartis comme suit : 35 ménages avec feedback indirect, 14 ménages avec feedback direct de type « Real-Time » et 16 ménages avec feedback direct de type « Real-Time Plus ».

A l'issue de l'expérimentation, le projet a été officiellement clôturé le 24 Mai 2013, à l'occasion d'une rencontre avec les ménages participants ainsi que les bailleurs du projet et durant laquelle il a été présenté un exposé détaillé sur les résultats du projet.

Figure 2. 1 : Déroulement du projet

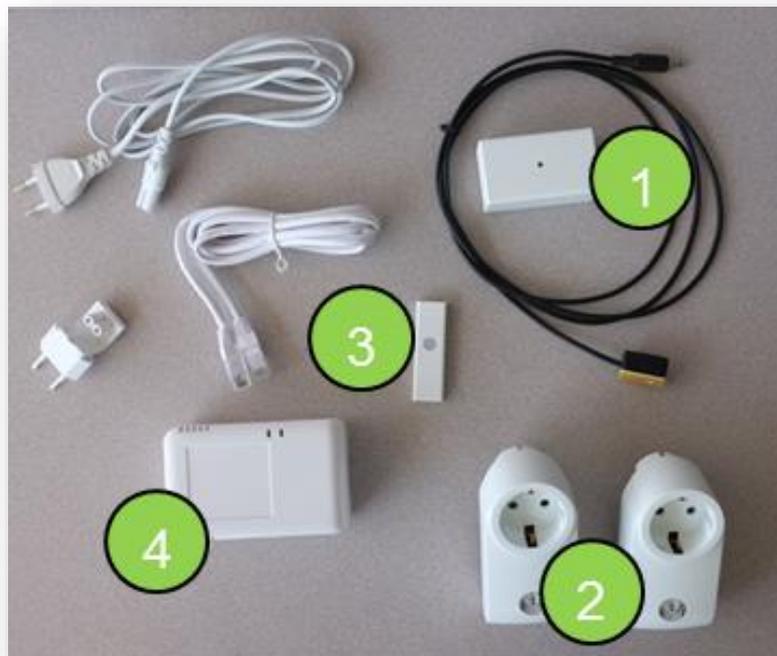


2. Mise en place technique et matérielle du projet

Les capteurs de mesure ont constitué le cœur du dispositif d'efficacité énergétique. Ils avaient pour rôle de restituer la « vie énergétique » détaillée de la résidence des ménages considérés. Ce dispositif se compose des éléments suivants :

1. Capteur du compteur général
2. Capteurs Prises nomades
3. Coordinateur ZigBee
4. Passerelles de communication

Figure 2. 2: Dispositif TicElec



Le premier capteur lit la consommation énergétique au niveau du compteur général, en se basant sur le clignotant disponible sur le compteur général et qui émet une lumière toutes les deux minutes. Chaque clignotement représente une mesure de la consommation. Ce capteur est constitué d'un lecteur optique et d'un module d'interprétation et de communication. Le lecteur optique est relié au module capteur qui interprète les signaux et les envoie sur le réseau.

Figure 2. 3 : Branchement sur le compteur général



Les autres capteurs sont des prises nomades intercalées entre la prise électrique et l'équipement dont la consommation est à mesurer. Ce type de capteur nomade peut être déplacé afin de rendre plus efficaces et plus pertinents le suivi et les mesures. Ils sont autoalimentés par le réseau sur lequel ils sont branchés.

Figure 2. 4 : Prise nomade



Concernant la plateforme (ou l'application), les ménages équipés avaient accès à un compte individuel propre à leur consommation. Cette application, d'accès sécurisé par mot de passe, est développée selon 4 axes (Accueil, En cours, Historique, et Paramètres) :

- **Home / Accueil** : le ménage accède à une vue instantanée et résumée de sa consommation :

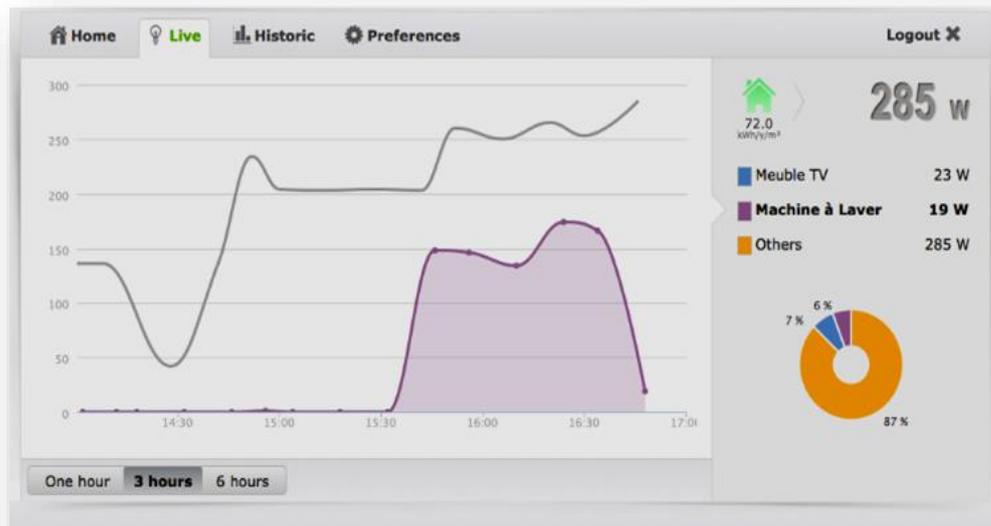
Figure 2. 5 : Portail utilisateur – Accueil



- Last Hour / Dernière heure : fournit informations concernant la consommation qui a été relevée par le compteur général sur la dernière heure.
- Week Trending / Tendence hebdomadaire : compare la consommation sur la semaine écoulée, à l'aide de trois couleurs : Vert (si la consommation a été la même ou diminué) ; Orange (si elle a augmenté de 5 à 15%) et Rouge (si elle a augmenté de plus de 15%). La période de référence est soit la veille, soit le même jour de la semaine précédente.
- Current Consumption / Consommation en cours : restitue la consommation actuelle enregistrée par le compteur général
- This Week Consumption / Consommation de la semaine : fournit la consommation cumulée depuis le début de la semaine en cours

- **Live / En cours** : fournit une vue plus détaillée de la consommation du ménage sur une période de temps de 3 heures ou de 6 heures. A noter qu'un capteur nomade peut également être sélectionné et dans ce cas la consommation qu'il relève sera comparée à celle que relève le compteur général de EDF.

Figure 2. 6 : Portail utilisateur – Données en temps réel



- **Historic / Historique** : fournit au ménage un visuel de son profil de consommation de la journée à la fois sur la journée (affichage de la consommation sur 24 heures), sur la semaine (affichage sur 7 jours) ou sur l'année (affichage de 12 mois de consommation).

Figure 2. 7 : Portail utilisateur – Historique



- **Préférences / Paramètres** : L'utilisateur a la possibilité d'identifier différents capteurs et de leur attribuer un nom. Il peut aussi fixer la période qui servira au calcul de l'indicateur « *Week Trending* ». Il peut également changer son mot de passe.

Figure 2. 8 : Portail utilisateur – Paramètres



3. Echantillonnage

Il s'agit ici de s'assurer que le feedback va avoir un effet sur la maîtrise de la demande d'électricité chez les ménages de notre échantillon. Pour cela, nous avons procédé à une affectation aléatoire (randomisation) des ménages dans les différents groupes d'échantillons à traiter. Ces groupes ont été définis, comme nous l'avons dit plus haut, selon le type de feedback qu'ils allaient recevoir, en nous basant sur les définitions de Darby et de l'EPRI (Darby, 2000; EPRI, 2009).

L'étude a duré 12 mois et a démarré en Octobre 2011 pour s'achever en Septembre 2012. Les données exploitées reposent sur trois sources :

- les 141 pré-questionnaires remplis recueillis entre juillet 2011 et septembre 2011 ;
- les 125 questionnaires initiaux recueillis entre août 2011 et décembre 2011 ;
- les 80 questionnaires recueillis entre octobre 2012 et décembre 2012.

L'analyse descriptive des données recueillies grâce au pré-questionnaire et aux deux questionnaires a permis de fixer les données suivantes :

- Profil des ménages ;
- Caractéristiques des logements ;
- Préférences et sensibilité environnementale ;
- Evolution des pratiques énergétiques des ménages.

L'étude de l'échantillon a révélé que près de un ménage sur deux disposait d'un compteur ancienne génération (électromécanique) et n'avait donc pas un compteur électronique qui pouvait être compatible avec la solution smart qui allait être installée à leur domicile et qui devait se situer à moins de 20 mètres du compteur. Lorsque les ménages qui pouvaient être équipés ont été identifiés, nous les avons aléatoirement affectés dans deux groupes. Les ménages qui ont un compteur digital ont ainsi été répartis en groupes de manière à ce que l'un puisse recevoir un « *Real-Time Feedback* » et l'autre un « *Real-Time Plus Feedback* ».

Les 3 groupes de l'échantillon de 65 ménages ont alors été ventilés ainsi :

Groupe 1: Groupe de contrôle avec un « *Self monitoring* » de nature indirect (35 ménages)

Groupe 2: Groupe équipé avec un « *Real-Time Feedback* » de nature direct (14 ménages)

Groupe 3: Groupe équipé avec un « *Real-Time Plus feedback* » de nature direct (16 ménages)

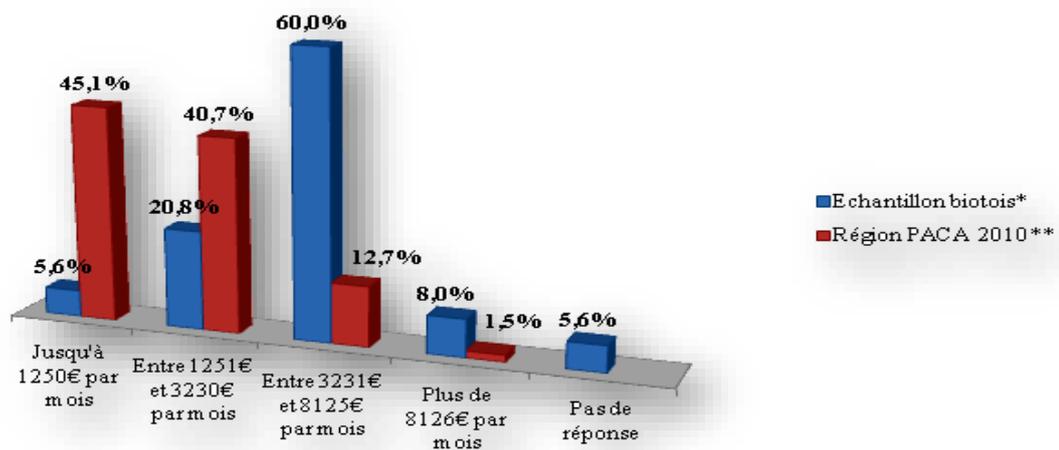
4. Phase d'expérimentation

4.1. Profil des ménages de l'échantillon

Notre échantillon est constitué, à plus de 95%, de personnes âgées de plus de 29 ans. La tranche d'âge de 30 à 39 ans représente un quart (24,8%) de l'échantillon et la tranche de 40 à 49 ans en constitue un tiers (32,8%). Les plus de 60 ans représentent 20,8% de l'échantillon (Cf. Annexe 12 & Annexe 13).

S'agissant des revenus, la spécificité de la population de Biot a fait que notre échantillon se retrouve constitué aux près des trois quarts (73,6%) (Cf. Annexe 12) de chefs de ménages qui ont un revenu supérieur à 3231€ (14,2% pour la population de toute la région PACA) et seuls 5,6% d'entre eux ont un revenu inférieur à 1250€ (45,1% pour la population de toute la région PACA). Il faut rappeler que selon les enquêtes réalisées par l'INSEE, la quantité d'énergie consommée par les ménages français représente un poste de dépense relativement important pour les ménages (en moyenne 4,8 % de leurs dépenses en 2006). Cette enquête avait même relevé que, plus le revenu d'un ménage est élevé, plus ce dernier consomme de l'énergie sans se préoccuper de son coût. Cette spécificité des habitants de Biot nous permet donc de voir le lien entre leur revenu et leur consommation d'électricité.

Graphique 2. 1 : Revenu imposable ou fiscal de référence



* n=125 ; Q41 Questionnaire principal

** Statistiques du Ministère de l'Economie et des Finances

Il est connu que plus le revenu s'accroît, moins les ménages sont sensibles à une hausse du prix de l'électricité et donc au montant de leur facture EDF. Le revenu est donc relié positivement à la consommation (Wall & Crosbie, 2009; Reiss & White, 2001). L'explication généralement avancée est que lorsque le revenu d'un ménage augmente, celui-ci tend à utiliser plus d'appareils électriques et y recourt souvent, sans considération du prix de l'électricité. Nous pouvons donc, à priori, nous attendre à ce que les ménages financièrement aisés de Biot soient moins sensibles aux incitations qui leur seront fournies par le feedback et que comme a conclu

l'INSEE (2010), plus le revenu est élevé, plus le ménage ne prend pas en considération le coût de l'énergie qu'il consomme.

Toujours à priori, un ménage ayant un tel revenu élevé peut également avoir un bon niveau d'instruction et être donc en mesure d'évaluer ce que la solution TIC proposée dans le cadre de l'expérimentation pourrait lui rapporter, s'il venait à l'adopter de façon durable.

En étudiant ce dernier, nous constatons que plus de 89% de la population de l'échantillon a fait des études supérieures et plus du tiers est titulaire d'au moins un diplôme de niveau « Bac+5 » (Cf. Annexe 14). Le croisement des deux données (revenu / diplôme) ont pu agir de manière positive sur le choix de s'associer à notre expérience et d'acquérir¹³ le type de matériel à l'issue de l'opération.

Pour ce qui est de la catégorie socioprofessionnelle, plus des deux tiers de la population de l'échantillon sont cadres supérieurs ou exercent des professions de haut rang.

Tableau 2. 1 : Catégorie socioprofessionnelle

Cadres et professions intellectuelles supérieures	84	67,2%
Retraités	14	11,2%
Artisans, commerçants et chefs d'entreprise	10	8,0%
Employés	10	8,0%
Professions intermédiaires	5	4,0%
Autres personnes sans activité professionnelle	1	0,8%
Pas de réponse	1	0,8%

n=125 ; Q45 Questionnaire principal

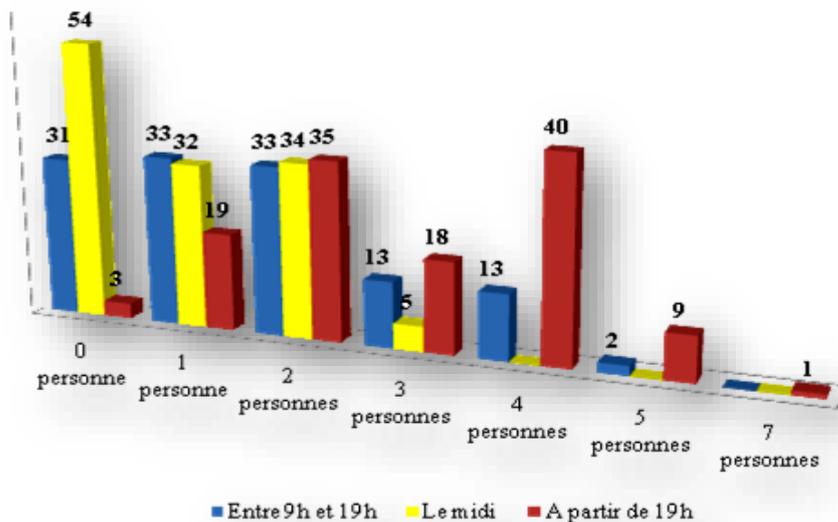
Concernant le statut d'occupation de l'habitation, plus de 80% des ménages de notre échantillon sont des propriétaires (Cf. Annexe 15) et nous savons que selon Sweeney *et al* (2013) les ménages qui sont propriétaires sont plus à-même de faire des économies d'énergie comparée à ceux qui sont des locataires. Cette situation nous a amenés à prendre en compte la variable Propriétaire/Locataire.

¹³ Il faut préciser qu'à la fin de l'expérience, le matériel devait être désinstallé et les ménages devaient acheter un équipement identique, s'ils veulent adopter durablement la démarche et sauvegarder les gains acquis.

Nous notons aussi que plus de 50% de notre panel est composé de 2 adultes et 60% de ces ménages n'ont pas d'enfants. Deux tiers des habitations des ménages de l'échantillon sont occupées par au moins 2 personnes âgées de plus de 12 ans (Cf. Annexe 12 & Annexe 16).

Cet intérêt pour le nombre d'adultes et d'enfant composant les foyers, nous mène à l'occupation du logement selon les tranches horaires. Aux heures de la pointe de la demande d'énergie électrique, donc à partir de 19 heures, plus des deux tiers des domiciles sont occupés¹⁴ par 3 personnes ou plus et la moitié par 4 personnes ou plus. Nous avons considéré que le nombre de personnes dans le ménage (adultes, enfants) n'est pas une variable neutre, car au-delà d'un âge minimal de 12 ans, l'âge devrait être relié positivement à la consommation d'électricité, notamment en période d'hiver. Ces variables ont donc été prises en compte dans notre questionnaire initial. Durant l'expérience, nous avons noté que 5 ménages¹⁵ ont accueilli 1 à 2 personnes supplémentaires (étudiant, locataire, naissance, ou retour au foyer d'un membre de la famille) et qu'à l'inverse 8 ménages¹⁶ ont connu des départs (étude, séparation familiale, ou autres causes non précisées).

Graphique 2. 2 : Nombre d'occupants par tranches horaires (hors week-end)



n=125 ; Q11, Q12 et Q13 Questionnaire principal

¹⁴ En termes d'occupation (c'est-à-dire si l'habitation est occupée les jours de la semaine ou pas), nous relevons que Wall et Crosbie (2009) avaient pris en considération cette variable sur la maîtrise de l'éclairage dans le cadre d'une étude sur un échantillon de ménages britanniques.

¹⁵ Cf. Q23 du questionnaire final dont n=80

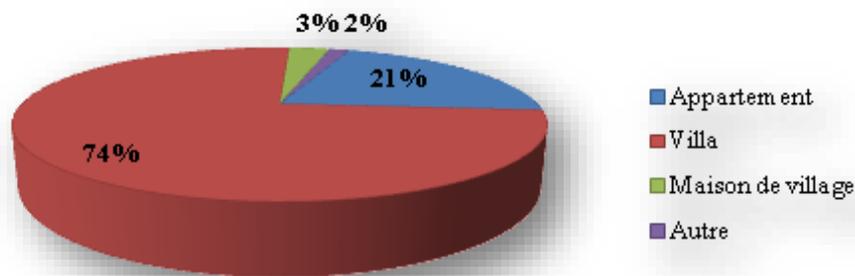
¹⁶ Cf. Q24 du questionnaire final dont n=80

4.2. Caractéristiques des logements

Un autre type de comportement qui devait être observé car il est jugé comme un facteur qui influence la consommation est le mode de vie et le comportement lié aux style de vie, cité par l'étude « *Energy Stocktaking Behaviors and Lifestyle Choices*» (Ehrhardt-Martinez & Garrison-Institut, 2012). Il s'agit d'analyser des comportements qui apparaissent très fréquemment et peuvent diminuer la dépense d'énergie, tel que le choix de vivre dans une habitation plus petite ou encore habiter dans un appartement au lieu d'une villa.

L'analyse des questionnaires a montré que plus des trois quarts des ménages de l'échantillon habitent dans une résidence (villa ou maison de village) et seul un cinquième loge en appartement ou autre.

Graphique 2. 3 : Type de logement occupé



n=125 ; Q1 Questionnaire principal

Les ménages étudiés vivent dans des habitations de superficie moyenne de 127,56 m², supérieure aux 91m² de moyenne nationale¹⁷. Nous constatons ainsi qu'un peu plus de la moitié (52%) de notre échantillon dispose d'une superficie habitable qui se situe entre 60 et 119 m². Moins d'un dixième habite dans une habitation de moins de 59 m² et près de 40% de la population de l'échantillon dispose d'une habitation de plus 120 m² (Cf. Annexe 12 & Annexe 17). En raisonnant par rapport au nombre de pièce, plus de 60% de notre échantillon dispose de 3 à 5 chambres habitables (4,8 pièces en moyenne), ce qui est supérieur à la moyenne nationale qui est de 4 pièces¹⁸ (Cf. Annexe 18).

¹⁷ (Casteran & Ricroch, 2008)

¹⁸ *Idem*

4.3. Abonnement, tarifs et installation du système smart

Sur l'échantillon initial de 125 ménages, 96,8%¹⁹ d'entre eux ne sont abonnés qu'EDF pour leur fourniture en électricité, et seuls 14%²⁰ sont abonnés chez cette compagnie pour être approvisionné en gaz et en électricité. Pour ce qui est du mode de paiement des factures, 88%²¹ ont opté pour un forfait mensuel, avec une régularisation en fin d'année. Le paiement mensuel de ce forfait est opéré par prélèvement d'office sur le compte bancaire de l'abonné.

Tableau 2. 2 : Abonnement électrique

Chèque	3	2,4%
Prélèvement automatique	111	88,8%
Virement postal ou bancaire effectué à réception de la facture	9	7,2%
Pas de réponse	2	1,6%

n=125 ; Q27 Questionnaire principal

Il a été demandé aux ménages s'ils connaissaient leur tarification. En comparant les déclarations des ménages de l'échantillon quant aux contrats souscrits avec le type d'abonnement auquel renvoient réellement les factures, nous avons constaté que seuls 78% des ménages se rappellent de l'abonnement qu'ils ont souscrit lors de leur raccordement au réseau et ce à quoi correspond exactement le libellé de leur facture forfaitaire mensuelle (cf. Tableau 2. 3). Nous sommes donc en mesure d'affirmer que l'information des ménages de l'échantillon était encore imparfaite.

¹⁹ Cf. Q25 du questionnaire principal

²⁰ Cf. Q28 du questionnaire principal

²¹ Cf. Q26 du questionnaire principal

Tableau 2. 3 : Connaissance des ménages de leur forfait d'électricité

Tarif déclaré avoir été souscrit par les ménages	Tarif réellement souscrit (d'après leur facture)		
	Heures creuses/heures pleines	Standard	EJP
Heures creuses/heures pleines ²²	36	3	0
Standard / Base ²³	2	22	0
Effacements Jours de Pointe (EJP) ²⁴	0	3	1
Tarif de première nécessité	1	0	0
Autres	8	0	0

*n=75 ; * Q29 du questionnaire principal ; ** relevés réalisés sur les factures que nous ont remis les ménages*

Ainsi, à titre d'exemple, sur les 47 ménages ayant déclaré avoir le tarif « Heures creuses/heures pleines », seuls 36 d'entre eux ont réellement ce tarif (2 ont le tarif de base, 1 a le tarif première nécessité et 8 ont un autres tarif). Nous avons jugé cette information comme pertinente car sa connaissance nous permet de sensibiliser le ménage sur la structure de sa facture et en particulier sur le coût de l'électricité qu'ils consomment aux heures de pointe par recours à un message qui sera envoyé en temps réel, aux ménages qui possèdent un compteur « Heures Creuses/Heures Pleines ».

Il faut préciser que le prix de l'électricité, comptabilisé en kilo-Watt-heure (kWh), intègre également la puissance souscrite en kilo-Watt (kW) car les ménages peuvent avoir souscrit des puissances différentes (6 kW, 9 kW ou plus) lorsqu'ils se sont abonnés et avoir de ce fait des prix du kWh différents. Nous pouvons ainsi penser a priori qu'un ménage pour lequel le kWh coûte plus cher, parce qu'il a souscrit une puissance élevée sera plus porté sur la nécessité de réduire le montant de sa facture et donc le niveau de sa consommation.

²² La tarification Heures Creuses/Heures Pleines (HC/HP) a été proposée dès 1965 par EDF afin de lisser la courbe de charge journalière, et est toujours en vigueur. Cette offre découpe la journée en 2 tranches horaires de 8h et 16h. Cette offre est très populaire parmi la population française (39% de la clientèle résidentielle)

²³ Il s'agit d'un tarif simple et unique pour tous les consommateurs. Le kWh est facturé à un tarif unique, quelle que soit l'heure et le jour de consommation. Il ne véhicule aucune incitation tarifaire.

²⁴ Ce tarif cherche à obtenir l'effacement d'une partie de la demande des clients en la repoussant hors de la tranche des heures de pointe.

4.4. Equipements de cuisson et de chauffage des ménages

Pour ce qui est du chauffage, 76% de l'échantillon (3 ménages sur 4) possèdent un appareil de chauffage électrique, alors que la Commune de Biot est desservie par un réseau de gaz naturel (Cf. Annexe 19).

Il est important de relever que tout juste un cinquième de notre échantillon retenu utilise uniquement le gaz naturel pour la cuisson et qu'à ce jour plus de la moitié font la cuisson exclusivement par recours à un système électrique (fours, plaques, etc.), alors que la région PACA a un système d'approvisionnement électrique critique dont la pleine satisfaction par EDF est difficile, notamment en période de froid.

Certains des appareils de chauffage qu'ils possèdent sont utilisés en appoint. En termes d'usage 56% de la population de l'échantillon se chauffent à l'électricité à partir du réseau EDF et à peine 22% des ménages de l'échantillon retenu ont choisi le gaz naturel pour se chauffer. Nous avons relevé que 14% d'entre eux ont recours aux énergies renouvelables, ce qui constitue un niveau appréciable.

Tableau 2. 4: Systèmes de cuisson et de chauffage

	Gaz naturel	Electricité	Gaz naturel + Electricité	Autre	Pas de réponse
Système de cuisson*	20%	54%	24%	1%	1%
Système de chauffage**	22%	56%	-	22%	-

(*) n=125 ; Q21 Questionnaire principal

(**) n=125 ; Q18 Questionnaire principal

5. Présentation des données de l'enquête

5.1. Préférences et sensibilité environnementale

Sur 141 ménages, seuls 7 ménages ²⁵ (5% de l'échantillon) avaient déjà participé antérieurement à une expérience portant sur la thématique « énergie/environnement », mais différente de notre expérience qui inclut le feedback. Il faut noter que 12%²⁶ des ménages de notre échantillon déclarent qu'ils font partie d'une association dont les activités sont axées sur la problématique du développement durable, donc sur l'énergie et à les émissions de GES.

Dans le domaine des opérations relatives au feedback, comme nous l'avons déjà relevé, la France est nettement en retard par rapport aux autres pays de l'OCDE. Dans notre cas, 69%²⁷ des ménages de notre échantillon déclarent être prêts à participer à nouveau à une autre expérience sur la maîtrise de la demande d'énergie, et donc à la notre, d'autant plus que notre expérience est basée sur le concept de feedback, et ce, pour les raisons suivantes ²⁸ :

- Prise de conscience de l'importance de la consommation d'électricité ;
- Désir de trouver des méthodes permettant d'éviter de consommer inutilement ;
- Importance donnée à la nécessité de vérifier la consommation de sa maison en temps réel, de n'importe où que l'on soit, et détecter de potentiels anomalies ;
- Possibilité offerte de mieux gérer ses consommations et de la suivre en temps réel ;
- Possibilité d'avoir suffisamment de données pour tirer des conclusions pertinentes et envisager des solutions appropriées pour l'avenir ; etc.

Ce taux élevé de 69% traduit donc la volonté des ménages d'être eux-mêmes acteurs et pilotes de leur propre consommation électrique et justifie donc la nécessité du recours à un feedback d'accompagnement dans leur démarche de maîtrise de leur consommation. Il faut rappeler que 104 ménages sur 125 ²⁹ avaient déclaré au début de notre expérience en septembre 2011 avoir déjà été impliqués dans une démarche de maîtrise de leur consommation électrique,

²⁵ Cf. Q6 du pré-questionnaire dont n=141

²⁶ Cf. Q7 du pré-questionnaire dont n=141

²⁷ Cf. Q2.1 du questionnaire final dont n=80

²⁸ Cf. Q2.2 du questionnaire final dont n=80

²⁹ Cf. Q15 du questionnaire principal dont n=125

et que c'est ce qui pourrait expliquer que durant le déroulement de notre expérience, il a été constaté une hausse de 1,8% du taux d'implication dans le processus de MDE avec feedback que nous avons initié et qui a été piloté par TicElec, pour le compte et avec la participation de la Région PACA, en vue de son appropriation et de sa dissémination ultérieure sur toute l'étendue de son territoire (Cf. Annexe 20).

Il faut noter que certaines études menées par ailleurs ont estimé que la réduction du montant de la facture peut varier entre 5% et 10%, voire plus, selon le ménage, le type d'abonnement et de tarif choisi. Dans notre cas, 75%³⁰ des ménages de notre échantillon estiment que l'économie sur leur budget est une réelle motivation pour une participation à notre expérience portant sur la maîtrise de la demande d'électricité. Près de 27%³¹ d'entre eux affirment leur accord avec l'idée que les ménages ont néanmoins le droit de consommer la quantité d'électricité qu'ils désirent dès lors qu'ils la payent.

Dans le but de lever les barrières qui ralentissent la maîtrise de la consommation d'électricité, la question posée a permis de savoir que 86,3%³² des ménages pensent qu'une augmentation du prix de l'électricité « pour tous » serait un bon levier qui les inciterait à consacrer des efforts pour maîtriser leur consommation électrique. Mais, à *contrario*, près de 14%³³ d'entre eux considèrent que le ménage mérite un bonus financier (ristourne sur facture annuelle) chaque fois qu'il ne va pas au-delà de la consommation qu'il aura convenu à l'avance avec son fournisseur (Cf. Annexe 21).

Toutes ces informations nous semblent suffisamment de grande pertinence pour que l'Etat et les Collectivités locales, les prennent en compte et y apportent les réponses adéquates, notamment parce qu'en région PACA la demande d'électricité reste difficile à satisfaire dans les meilleures conditions en hiver et que cela entraîne parfois des baisses de tension et des coupures répétées, entraînant parfois la dégradation de leurs équipements ménagers.

Pour apprécier la validité de la variable « montant de la facture » il a été demandé aux ménages si leurs motivations sont d'ordre financier. Nous avons estimé qu'il est possible que pour certains ménages cette variable ne joue aucun rôle au niveau individuel, notamment pour

³⁰ Cf. Q36 du questionnaire principal dont n=125

³¹ Cf. Q35 du questionnaire principal dont n=125

³² Cf. Q44 du questionnaire final dont n=80

³³ *Idem*

ceux dont le revenu est élevé. Bien que selon Banfi, *et al.* (2008) le problème avec cette variable est que la plupart des ménages ont du mal à évaluer la valeur des gains réalisables sur une longue période de temps, ceci ne semble pas être le cas dans la Commune de Biot où la population bien que bénéficiant de revenus élevés, comme nous l'avons relevé plus haut, se dit prête à maîtriser sa consommation d'électricité.

En plus des solutions et motivation financières, les ménages de notre échantillon prennent en compte et se soucient d'autres aspects de la vie, tels que les besoins des générations futures, la pollution de l'environnement et le réchauffement climatique. Il est important de relever que 32%³⁴ de notre échantillon pense que l'activité humaine est le seul responsable du réchauffement climatique. Entre 81,8%³⁵ et 92%³⁶ des ménages questionnés estiment que maîtriser la consommation d'électricité peut contribuer à freiner le rythme d'épuisement des ressources non renouvelables (charbon, hydrocarbures, uranium) qui servent à produire l'électricité. Un résultat d'une grande valeur a été obtenu, en découvrant que 85% d'entre eux estiment qu'ils peuvent contribuer à la protection de l'environnement (Cf. Graphique 2. 4).

A la suite de notre protocole, ces 85%³⁷ de notre échantillon pensent que chacun d'eux peut contribuer individuellement à une meilleure performance énergétique de leur logement, ce qui traduit une évolution positive, sachant que ce taux était de 80% lors du lancement de l'expérience³⁸ soit un gain de 5 points. Ce résultat significatif est également à prendre en compte par l'Etat et les Collectivités locales, qui ne devraient pas laisser cette volonté et cet engagement disparaître par manque de réactivité et de soutien adéquat des citoyens par les Autorités.

³⁴ Cf. Q38 du questionnaire principal dont n=125

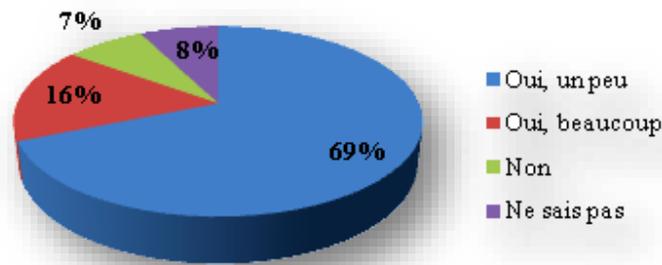
³⁵ Cf. Q40 du questionnaire principal dont n=125

³⁶ Cf. Q39 du questionnaire principal dont n=125

³⁷ Cf. Q42 du questionnaire final dont n=80

³⁸ Cf. Q30 du questionnaire principal n=125

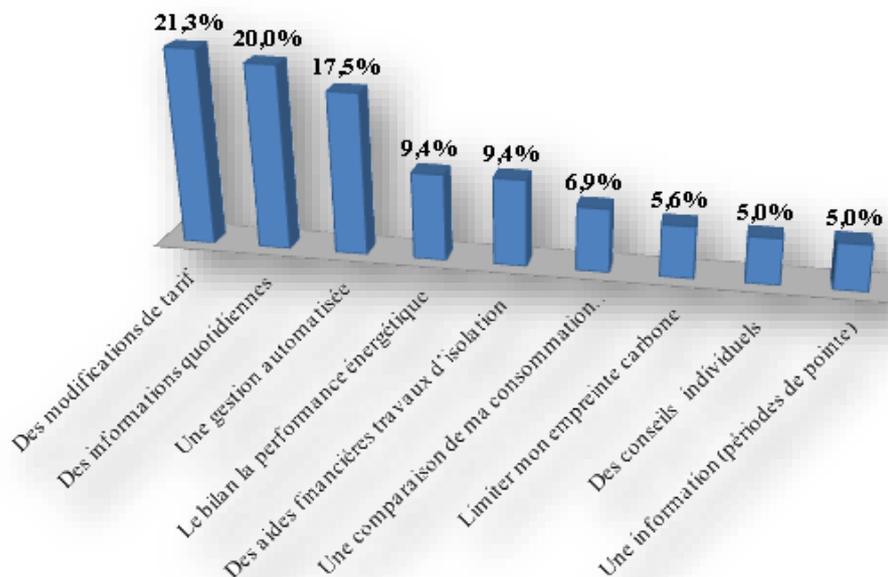
Graphique 2. 4 : Avis sur la contribution individuelle à la protection de l'environnement



n=80 ; Q49 Questionnaire final

Les ménages explicitent clairement les trois premiers facteurs qu'ils considèrent comme essentiels pour un changement de consommation dans le sens de l'efficacité et qui sont : i) les modifications des tarifs d'électricité ; ii) la nécessité de disposer d'informations en temps réel sur leur consommation ; et iii) la gestion automatisée de leur consommation (cf. Graphique 2. 5). C'est là encore un résultat qui démontre la maturité des ménages en matière d'attitude environnementale que l'Etat et les Collectivités locales ne devraient pas laisser se dissiper par manque de contribution des Autorités.

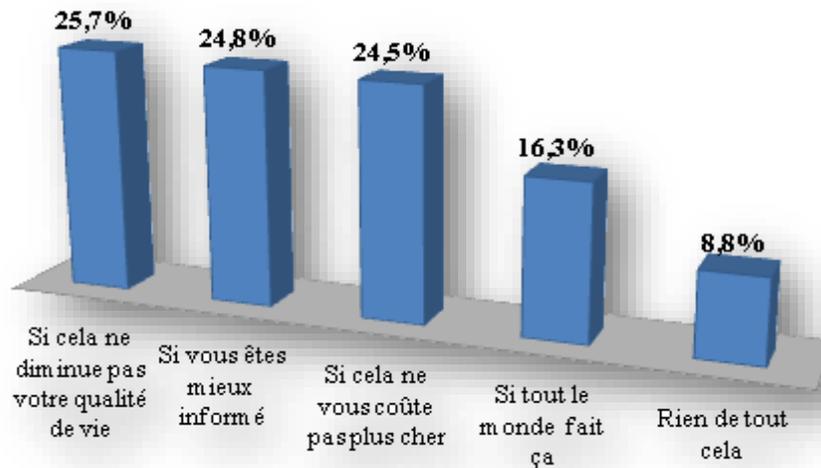
Graphique 2. 5 : Perception des facteurs essentiels pour une consommation durable



n=80 ; Q43 Questionnaire final

L'idée de s'engager pleinement dans un processus de maîtrise de la consommation électrique reste néanmoins soumise par les ménages à certaines conditions préalables, que nous pouvons classer par l'ordre décroissant sur le Graphique 2. 6.

Graphique 2. 6 : Conditions de l'engagement à la maîtrise de la consommation électrique



n=80 ; Q50 Questionnaire final

Relevons enfin que la question de savoir si le ménage se sent influencé par un contexte (famille, amis, voisinage, médias), a été posée à la fin de notre questionnaire pour nous permettre de savoir si l'expérience a renforcé l'impact de l'entourage et de l'émulation sociale, par les feed-back informationnels liés à la solution basée sur les TIC. A ce sujet, Wall et Crosbie (2009) avaient plaidé pour une prise en considération de ces facteurs qui peuvent expliquer des différences de comportement de consommation entre pays à priori similaires (Suède et Danemark, par exemple).

Ainsi pour ce qui est de l'entourage (amis, voisin ou famille), notre échantillon semble sensibilisé et parfois influencé en termes de comportement vis-à-vis de l'environnement. Près de 55% des ménages déclarent que plus de la moitié de leur entourage utilise des ampoules à basse consommation (cf. Annexe 22) et que 7,5%³⁹ des membres de cet entourage immédiat ont réalisé des investissements pour réduire la consommation (tels que l'isolation, le

³⁹ Cf. Q32 du questionnaire final dont n=80

renouvellement de la chaudière, les énergies renouvelables, etc.) pour améliorer la performance énergétique de leur logement. Cet élément est à notre avis d'une importance capitale puisqu'il apparaît que l'entourage participe à l'orientation et l'incitation à la maîtrise de la demande, mais également de manière négative avec l'achat par imitation, qui donne naissance à l'effet rebond (cf. Annexe 22).

5.2. Comportement des ménages vis-à-vis de leur d'équipement

Pour terminer ce chapitre, nous avons analysé le comportement des ménages vis-à-vis de leur équipement électroménager. En croisant les réponses aux questions : « Vous souciez-vous de la consommation électrique de vos chauffages » et « vous souciez-vous de la consommation électrique de votre machine à laver », il y'a 21 ménages qui manifestent simultanément beaucoup d'intérêt pour ces deux postes de consommations et 13 qui le manifestent souvent. Ceci traduit le souci des ménages d'identifier les équipements qui pourraient mieux contribuer à réduire le montant de leur facture d'électricité.

Tableau 2. 5 : Intérêt porté à la consommation électrique du chauffage et de la machine à laver

Machine à laver \ Chauffage	Machine à laver				
	Beaucoup	Souvent	De temps en temps	Très peu	Pas du tout
Beaucoup	21	9	4	2	1
Souvent	1	13	5	4	1
De temps en temps	0	4	4	6	2
Très peu	0	1	1	6	3
Pas du tout	0	0	0	1	1

n=90 ; Q31.1 et Q32.1 Questionnaire principal

Il est d'ailleurs important de relever dans ce sens que sur les 17⁴⁰ ménages ayant changé leur appareil de chauffage pendant que se déroulait l'expérimentation, près de la moitié d'entre eux (8) ont opté pour un équipement utilisant les énergies renouvelables, mais que seuls 3 sont passés au chauffage au gaz naturel (Tableau 2. 6). Nous pouvons donc considérer que si cette tendance se confirme les Autorités devraient l'encourager et l'assister par des leviers d'incitations adéquats, sachant qu'un distributeur d'électricité n'est pas l'acteur le plus indiqué

⁴⁰ Cf. Q20 Questionnaire principal et Q29 Questionnaire final dont n=80

pour encourager ses clients à basculer vers d'autres sources d'énergie concurrentes comme le gaz ou les énergies renouvelables.

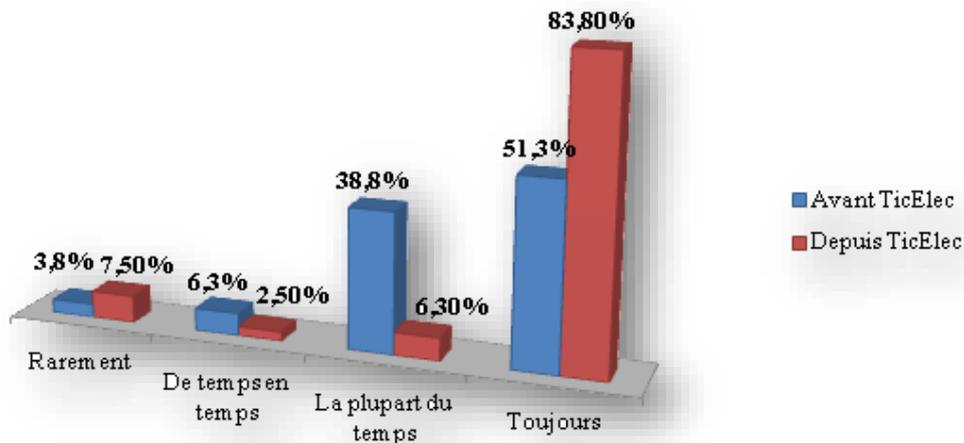
Tableau 2. 6 : Changement de source d'énergie pour le chauffage

Gaz naturel	3	17,6%
Electricité	5	29,4%
Chaudière à condensation au fioul	1	5,9%
Chaudière traditionnelle au fioul	0	0,0%
Equipement en chauffage à énergie renouvelable	8	47,1%

n=17 ; Q29.1 Questionnaire final

A relever aussi que pour l'éclairage, le taux de ménages qui ne laissent pas la lumière allumée dans les pièces inoccupées est très élevé, comme le montre le Graphique 2. 7.

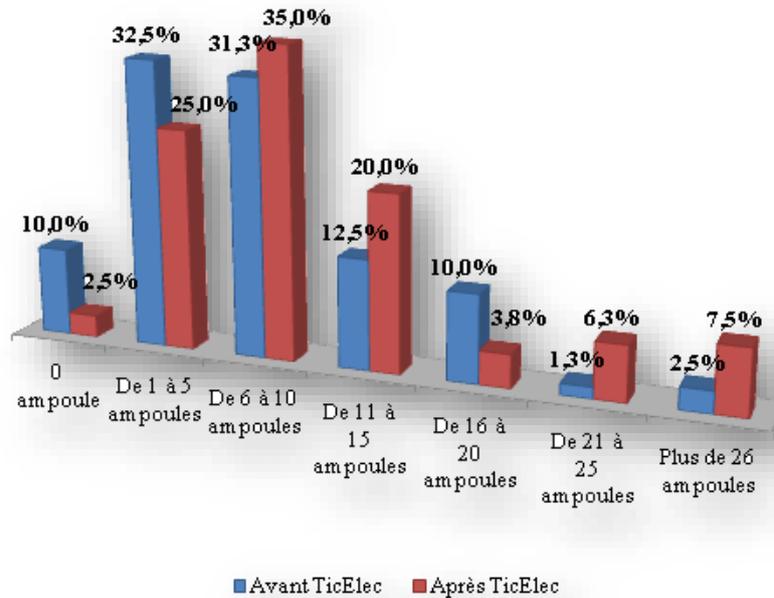
Graphique 2. 7 : Extinction des lumières dans les pièces inoccupées



n=80 ; Q15.1 Questionnaire principal et Q37 Questionnaire final

Concernant les lampes à basse consommation (LBC), plus d'un tiers des ménages en possèdent entre 6 et 10 et un cinquième entre 11 et 15, ce qui traduit un grand intérêt pour ce type de lampes qui offrent le même service de luminosité à faible coût (bien que le coût des LBC soit sensiblement plus élevé que les lampes à incandescence). Avant l'expérimentation, il avait été relevé que plus de 90% des ménages possédaient au moins une LBC.

Graphique 2. 8 : Utilisation d'ampoules basse consommation



n=80 ; Q15.3 Questionnaire principal et Q38 Questionnaire final

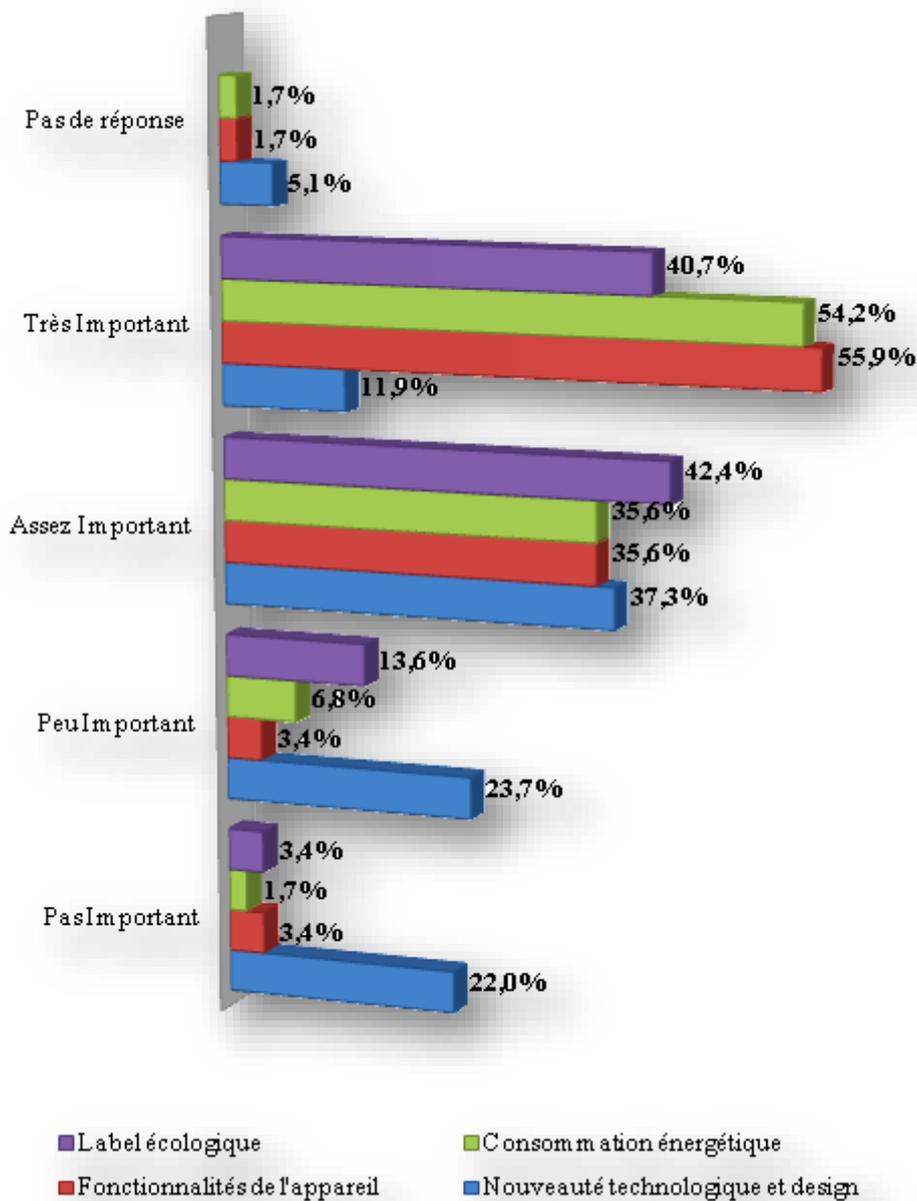
Concernant la climatisation d'été seuls 18% disent utiliser la climatisation en été. Nous ne pouvons toutefois pas en déduire que la climatisation n'est sollicitée à Biot qu'en périodes de grande chaleur (Cf. Annexe 23).

Quant à l'achat de nouveaux appareils électroménagers, effectué par les ménages, avant et pendant l'expérience, respectivement, 47% et 51% d'entre eux ont effectivement équipé leur logement d'un nouvel appareil (dont 66% en remplacement d'un appareil usagé⁴¹) (Cf. Annexe 24).

Nous nous sommes donc intéressés aux critères ayant motivé leur choix lors de l'achat. Les réponses montrent que plus le ménage s'intéresse aux aspects « nouveauté technologique et design », moins il s'intéresse au label écologique et à la consommation énergétique des équipements. Pour un certain nombre cet aspect technologie et design est dominant et peu importe pour eux la protection de l'environnement ou l'économie d'énergie (Cf. Graphique 2. 9 et Tableau 2. 7).

⁴¹ Cf. Q23.1 du questionnaire principal dont n=59 et Q30.2 du questionnaire final dont n=18

Graphique 2. 9 : Degrés d'importance des critères d'achat de nouveaux matériels électroménagers (Avant TicElec)



n=59 ; Q23.2 Questionnaire principal

Toutefois, les critères qui prédéterminent l'achat sont avant tout la qualité et le prix et la consommation d'énergie arrive en troisième position. Cette observation nous semble d'une importance capitale, car elle montre que l'atteinte des objectifs nationaux de MDE nécessite le concours de l'industrie en visant à abaisser les prix des produits économes en énergie afin que le client ne se retrouve pas face de la « barrière prix » qui le dissuaderait d'acheter un équipement à moindre consommation d'électricité et donc moins polluant.

Tableau 2. 7 : Classement des critères d'achat de nouveaux matériels électroménagers (Pendant TicElec)

Qualité	1
Prix	2
Consommation énergétique	3
Bruit	4
Encombrement	5

n=80 ; Q30.3 Questionnaire final

L'expérience nous renseigne également sur la connaissance par les ménages de ce que représente chaque équipement électroménager dans la consommation d'énergie, mis à part le chauffage et l'eau chaude. Il en ressort que les ménages ne sont pas suffisamment informés sur « la responsabilité » exacte de chacun de leurs appareils ménagers sur leur consommation. Ceci signifie que malgré leur bonne volonté d'acheter des appareils économes (« verts »), le niveau d'information des ménages et d'aide à l'achat rationnel paraît encore insuffisant et le consommateur risque ainsi de se retrouver avec comme seul guide les « conseils » du vendeur.

Tableau 2. 8 : Classements des appareils électriques selon leur consommation

	Classement par les ménages*	Classement par ADEME (corrigé)**
Le réfrigérateur	4	3
Le lave-linge	5	4
Le lave-vaisselle	8	5
Les plaques/four électrique	3	6
L'éclairage	7	7
Le multimédia (TV, ordinateur ...)	6	8
Le chauffage électrique	1	1
L'eau chaude sanitaire	2	2

**n=80 ; Q48 Questionnaire final*

*** Source : (ADEME, 2010). Nous avons corrigé le classement en y ajoutant le chauffage et l'eau chaude.*

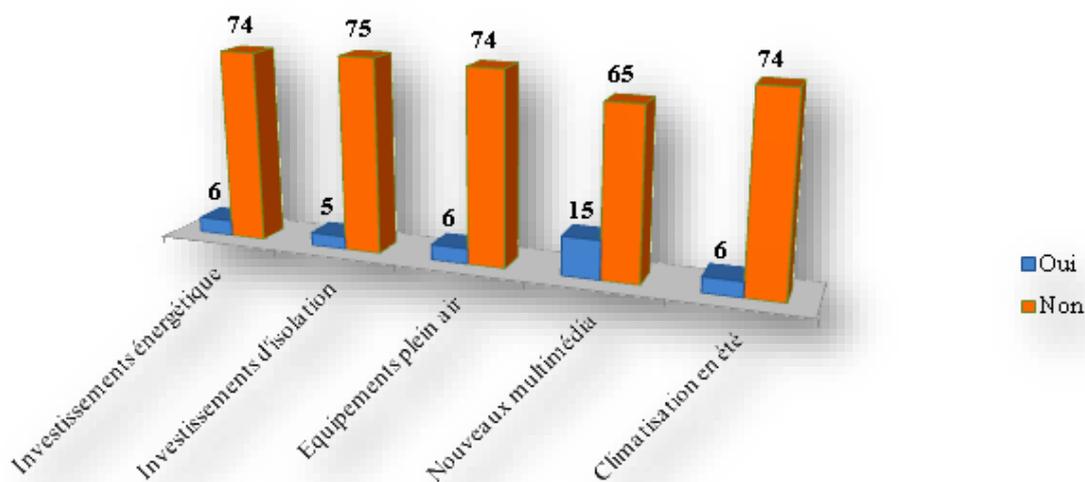
Sur les 38 ménages ayant réalisé des investissements au niveau de leur équipement, près de 40% d'entre eux ont privilégié l'acquisition de matériels multimédias à défaut d'autres choix qui leur permettrait d'économiser l'énergie (cf. Tableau 2. 9 et Graphique 2. 10) :

Tableau 2. 9 : Nature des choix réalisés au niveau des derniers investissements domestiques et revenus

	Investissements énergétique	Investissements d'isolation	Equipements plein air	Nouveaux multimédia	Climatisation d'été
Jusqu'à 1250€ par mois	0	1	0	1	0
Entre 1251€ et 3230€ par mois	1	0	1	1	1
Entre 3231€ et 5630€ par mois	4	4	3	9	3
Plus de 5631€	1	0	1	4	0

n=38 ; Q27 Questionnaire final et Q 41 Questionnaire principal

Graphique 2. 10 : Priorité des investissements des ménages durant l'expérience



n=80 ; Q27 Questionnaire final

Il faut néanmoins signaler que ces acquis risquent de ne pas être durables si l'expérience que nous avons menée avec un feedback reste une expérience ponctuelle et n'est pas suivie d'un accompagnement durable des ménages jusqu'à l'irréversibilité des comportements de maîtrise de la consommation.

Tableau 2. 10 : Caractéristiques des ménages ayant investi dans de nouveaux équipements multimédia durant TicElec

		Fréquence	%
Revenu⁴²	Jusqu'à 1250€ par mois	1	6.7%
	Entre 1251€ et 3230€ par mois	1	6.7%
	Entre 3231€ et 5630€ par mois	9	60.0%
	Plus de 5631€	4	26.7%
CSP⁴³	Cadres et professions intellectuelles supérieures	15	100%
Logement⁴⁴	Propriétaire	14	93.3%
	Locataire	1	6.7%
Ménage inscrit en MDE⁴⁵	Oui	11	73.3%
	Non	4	26.7%
Remplacement d'appareils usagés⁴⁶	Oui	7	46.7%
	Non	5	33.3%
	Pas de réponse	3	20.0%
Changement des pratiques énergétiques grâce à TicElec ⁴⁷	Oui	7	46.7%
	Non	8	53.3%

n=15

La première tranche horaire de forte consommation de ménages se situent le matin (micro-onde, machine à café, grille-pain, etc.) et plus de 61% des ménages laissent leurs appareils en «veille », donc toujours branchés sur la prise de courant, plutôt que de les débrancher⁴⁸. Nous en déduisons que les ménages confondent veille (donc consommation de courant par le transformateur et les bobinages des appareils) et extinction des équipements.

⁴² Cf. Q41 du questionnaire principal

⁴³ Cf. Q45 du questionnaire principal

⁴⁴ Cf. Q2 du questionnaire principal

⁴⁵ Cf. Q15 du questionnaire principal

⁴⁶ Cf. Q23.1 du questionnaire principal

⁴⁷ Cf. Q46 du questionnaire final

⁴⁸ Cf. Q35 du questionnaire final dont n=80

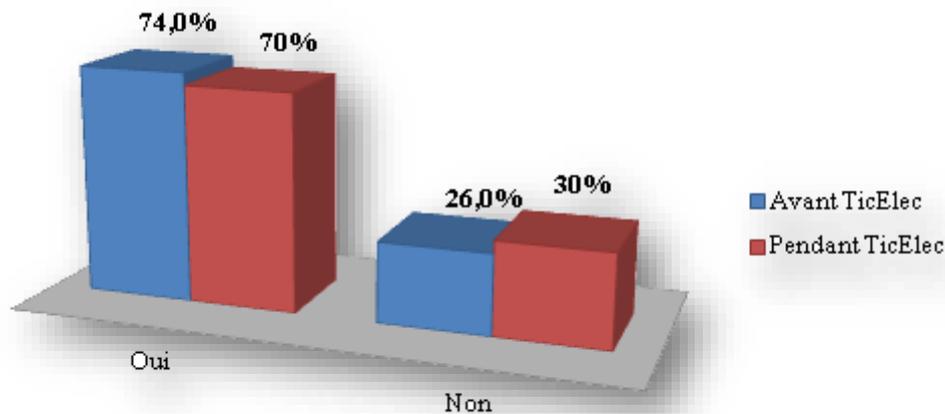
Tableau 2. 11 : Les moments de la journée où les ménages consomment le plus

	Matin	Midi	Après-midi	Soir	Nuit
Matin	2	0	0	8	0
Midi	0	0	3	0	0
Après-midi	0	3	0	1	1
Soir (en rentrant du travail)	8	0	1	58	5
Nuit	0	0	1	5	2
Total	10	3	5	72	8

n=80 ; Q47 Questionnaire final

Bien que n'éteignant pas leurs appareils, se contentant de leur mise en veille, 70% des ménages cherchent à reporter le moment de leur utilisation après la pointe du soir, mais ceux qui n'ont pas souscrit au tarif heures pleines/heures creuses n'éprouvent pas le besoin de reporter leur besoin, l'électricité qu'ils consomment ayant le même prix à toute heure de la journée.

Graphique 2. 11 : Report d'utilisation de certains appareils aux heures creuses

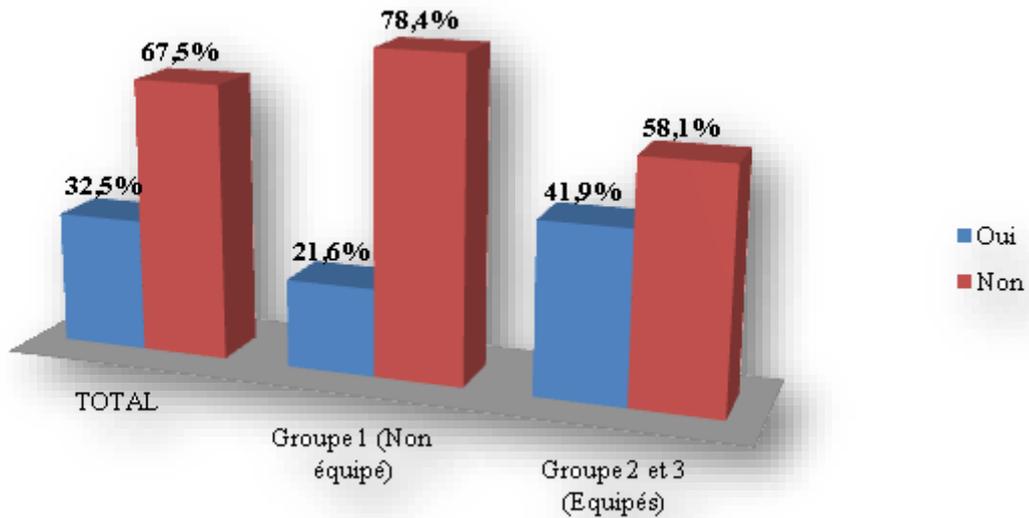


n=80 ; Q15.3 Questionnaire principal et Q38 Questionnaire final

Près d'un tiers des ménages considèrent que notre expérience a contribué au changement de leur comportement. Pris par groupes séparés, dans le groupe 1 (non équipé de *pack smart*) ils ne sont que près de 22% à faire part de l'impact positif, tandis que dans les groupes 2 et 3 réunis (équipés de *pack smart*) ils sont environ 42% à faire part de l'impact positif. Ceci

démontre donc l'effet positif du feedback de notre expérience sur les comportements des ménages.

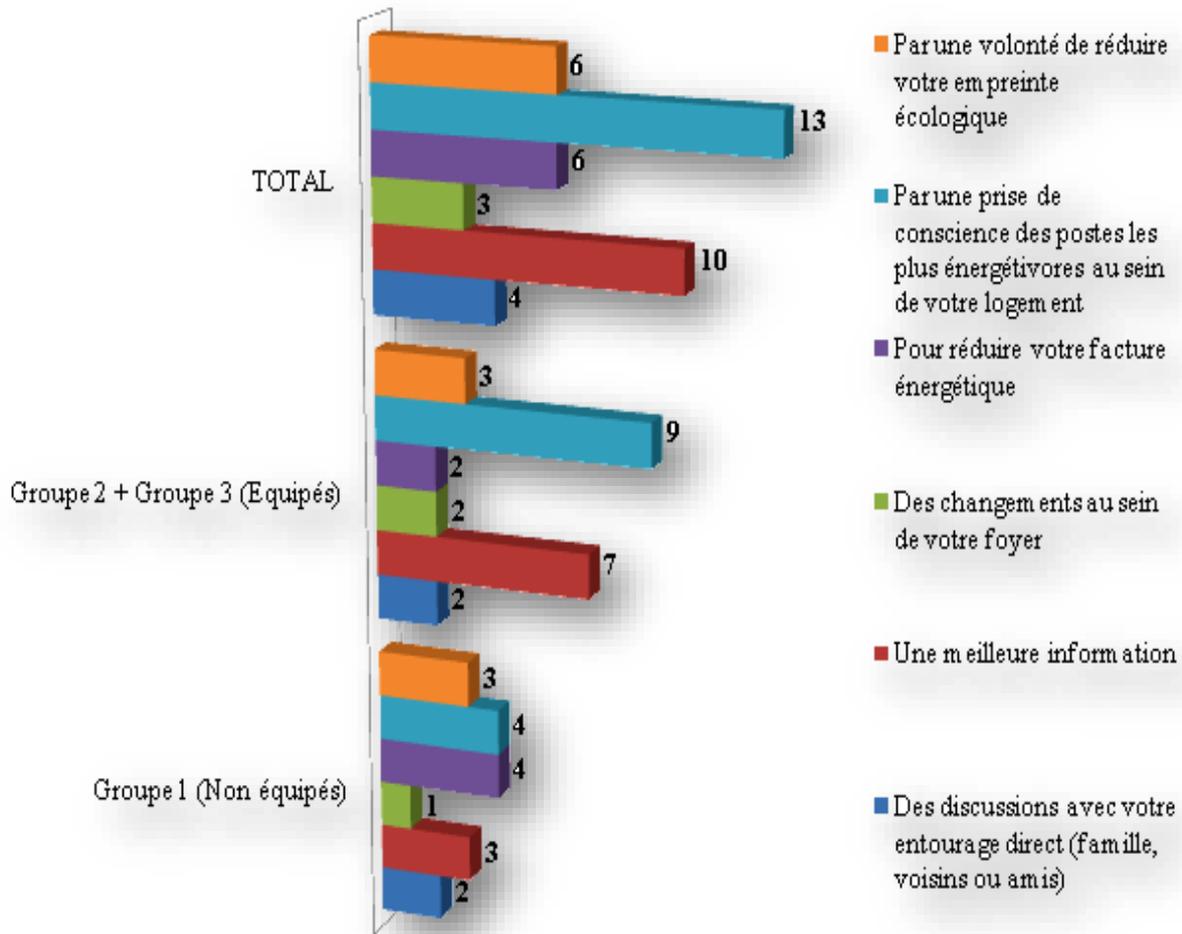
Graphique 2. 12 : Impacts de TicElec sur les pratiques énergétiques et les comportements



n=80 ; Q46 Questionnaire final

Enfin pour terminer, la dernière question posée porte sur les raisons des changements des pratiques et des comportements (cf. Graphique 2. 13). Les réponses nous ont permis d'identifier les éléments à l'origine du changement. C'est d'abord « la prise de conscience des postes les plus énergivores » et ensuite « une meilleure information ». Selon les groupes de feedback, les groupes 2 et 3 équipés d'un *pack smart* et qui ont donc bénéficié d'un feedback direct (respectivement « *Real-Time feedback* » et « *Real-Time Plus feedback* ») ont vraiment mis en exergue ces deux facteurs de changement.

Graphique 2. 13 : Raisons des changements de pratiques énergétiques classées par groupe



n=26 ; Q46.1 Questionnaire final

Conclusion

L'expérience a permis d'identifier les barrières auxquels se heurtent les ménages lorsqu'ils cherchent à maîtriser leur consommation d'électricité et donc leurs habitudes de consommation. La principale barrière est leur manque d'information sur leur consommation et ses impacts. De ce fait, ils n'identifient pas clairement le lien entre leur comportement et leur dépense d'énergie. Ils identifient également mal les moyens de mobiliser les économies réalisables au niveau de chaque équipement ménager. C'est ce qui explique en partie pourquoi leur engagement en matière de protection environnementale, pourtant clairement affiché par la majorité des ménages ne se traduit pas toujours par un passage à l'action qui permettrait à ces derniers de mettre en pratique leur engagement et d'en tirer avantage.

Bien que le Département des Alpes maritimes (06) où le secteur résidentiel absorbe 46% de la consommation finale d'électricité (33% en France), subisse des tensions sur son approvisionnement en électricité en périodes de froid, les ménages ont encore du mal à identifier leur surconsommation. Notre expérience a montré que le feedback informationnel peut lever cette barrière qui freine la maîtrise de la demande, dans la mesure où il permet de mieux identifier les causes et les points de surconsommation.

Après avoir passé en revue les nombreuses études de feedback menées au niveau international et constaté que les études de feedback ne sont pas encore nombreuses en France, les résultats de notre expérience menée dans la continuité des travaux tels que ceux de Grønhøj & Thøgersen (2011), Mountain (2006), Brandon & Lewis (1999) et de Schleich, *et al* (2013) mais qui a eu quant à elle recours simultanément à trois types de feedback (« *Self-Monitoring Feedback* », « *Real-Time Feedback* » et « *Real-Time Plus Feedback* ») a mis en relief les enjeux de la généralisation du recours au feedback.

Notre expérience sur un échantillon de population constituée aux trois quarts de ménages à revenu élevé (supérieur à 3231€), en grande majorité propriétaires de leur logement (80%) et dont la superficie moyenne dépasse 120m² nous a permis de mieux mesurer le lien qui existe entre le revenu et la consommation d'énergie. L'une des caractéristiques particulières des ménages de notre échantillon est qu'une grande partie d'entre eux recourt à l'électricité pour

les usages cuisson et chauffage, alors que la région PACA n'est pas alimentée en électricité dans de bonnes conditions en périodes de froid.

Un autre résultat important de notre travail a été de mettre en relief la prise de conscience des ménages qui explicitent clairement les facteurs qu'ils jugent essentiels pour qu'ils parviennent à une baisse de leur consommation. Ils ont ainsi nettement identifié l'action des pouvoirs publics sur les tarifs, le besoin d'informations sur leur consommation et enfin la la nécessaire automatisation du pilotage de leur consommation dans le but de les alerter et de leur permettre d'identifier en temps réel les niveaux sur lesquels ils devraient agir pour réduire leur consommation..

Mentionnons enfin que notre expérience a permis de montrer que l'entourage est un facteur exogène qui influe sur le comportement des ménages, ce qui est à la fois un élément positif lorsqu'il s'agit de réduire la consommation, mais également un élément négatif qui risque de compliquer la lutte contre l'effet rebond.

Au final, les deux groupes de notre échantillon qui ont bénéficié de feedback par recours au *pack smart* sont les plus nombreux à déclarer avoir constaté un impact positif de cette expérience sur leur comportement et sur leur niveau d'information sur les enjeux énergétiques et environnementaux.

Afin de voir si les résultats obtenus par notre expérience sont significatifs, la partie qui suit sera consacrée à leur test de validation.

**CHAPITRE III : ANALYSE DE LA
CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ ET
MODÈLE DE RÉGRESSION**

Introduction

L'objectif de ce troisième chapitre est de mesurer quantitativement la variation de la consommation électrique des ménages ainsi que l'impact de la solution technologique *Smart Meter* et les différents feedback, sur leur comportement de maîtrise de demande d'électricité. Pour rappel, la principale question posée dans notre recherche est celle du rôle que peut jouer l'apport feedback direct ou indirect (au-delà de l'information fournie par le compteur général EDF), sur la maîtrise de la consommation d'électricité sur le comportement des consommateurs de notre échantillon.

A cet effet, nous allons dans un premier temps analyser la consommation électrique des ménages et son évolution durant toute la durée de notre expérimentation, afin de déterminer le type de feedback qui a le plus d'impact et qui peut induire un changement d'habitude de consommation d'électricité.

Dans un second temps, nous présenterons le modèle de régression par rapport à la réduction de consommation afin de déterminer la représentativité de la variable feedback, ainsi que les variables explicatives caractérisant à la fois le ménage, son logement, ses habitudes et son profil, afin de cerner l'impact de chaque déterminant sur la variation de la consommation globale.

Pour finir, nous compléterons les résultats de la régression de la fonction de consommation électrique précédemment traitée et discernerons les changements dans les comportements notamment ceux qui ont induit une économie et une maîtrise de la demande d'électricité.

1. Analyse de la consommation électrique

Comme présenté dans le chapitre précédent, nous avons procédé à une affectation randomisée des ménages dans les différents groupes de traitement, et nous disposons d'un panel des données socio-économiques, ainsi que des données de consommation d'un an avant l'expérience et d'un an pendant l'expérience.

Ces groupes sont définis selon le type de feedback reçu, dans la lignée des différents travaux recensés comme ceux de (Grønhøj & Thøgersen, 2011; Mountain, 2006; Brandon & Lewis, 1999) ou encore de (Schleich, et al., 2013), en regroupant ainsi simultanément le « *Real-Time Feedback* » et le « *Real-Time Plus Feedback* » et le nouveau type de feedback que nous avons introduit pour le contrôle et nommé « *Self Monitoring* ». Ces groupes se présentent donc comme suit :

- Groupe 1 : Groupe de contrôle avec un « *Self Monitoring* »
- Groupe 2 : Groupe équipé avec un « *Real-Time Feedback* » de nature direct
- Groupe 3 : Groupe équipé avec un « *Real-Time Plus feedback* » de nature direct

En croisant toutes les contraintes de réduction du nombre de données et de ménages, l'échantillonnage a été clôturé avec une base de 65 ménages ainsi affectés :

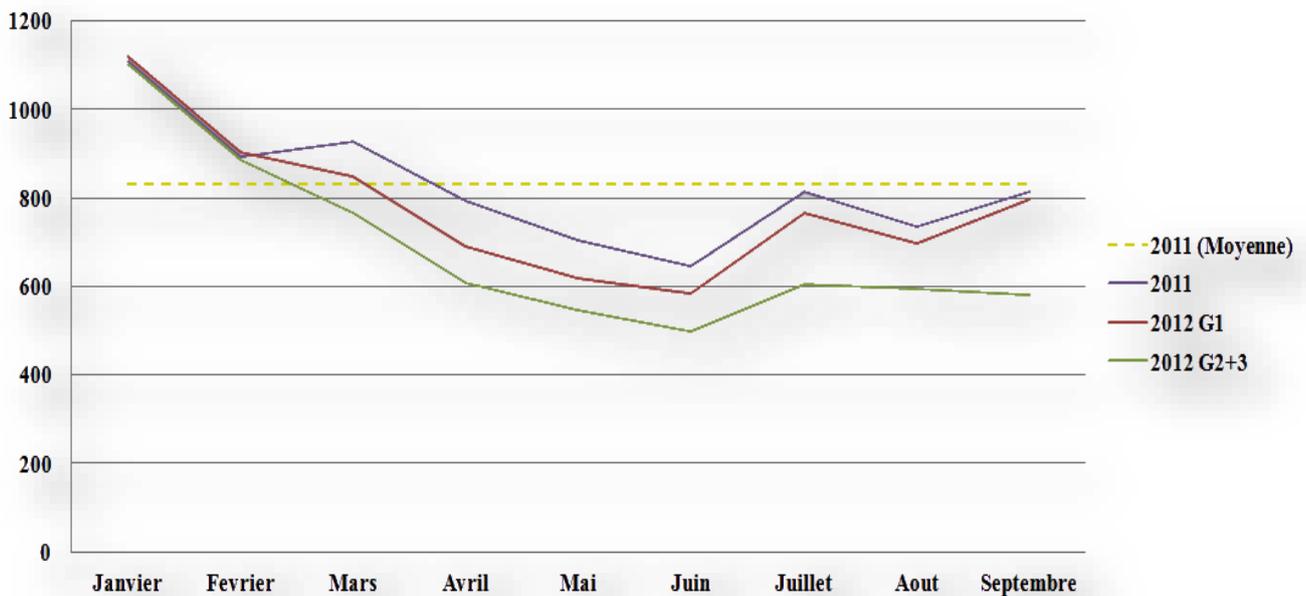
- Groupe 1 : avec un « *Self Monitoring* » (**35 ménages**)
- Groupe 2 : avec un « *Real-Time Feedback* » (**14 ménages**)
- Groupe 3 : avec un « *Real-Time Plus feedback* » (**16 ménages**)

Au vu de la taille de notre échantillon, nous allons regrouper les données du groupe 2 (Real-Time Feedback) avec le groupe 3 (Real-Time Plus feedback) afin de procéder à une analyse comparative entre feedback direct (30 ménages) et Self monitoring (35 ménages).

Rappelons que l'électricité étant un service invisible, ses consommateurs ont du mal à savoir quand ils surconsomment (Thaler & Sustein, 2009). De plus, au niveau des habitations, la lecture directe des comptages de consommation sur la facture d'électricité ne permet pas de bien identifier la nature des changements requis ou encore de relier la réduction de consommation d'un équipement à un changement de comportement (Wall & Crosbie, 2009).

En observant la consommation électrique moyenne de notre échantillon (en kWh) nous avons constaté que durant les deux premiers mois de l'expérimentation (de janvier à février) les consommations sont décroissantes mais restent quasiment identiques pour les trois groupes, même avec des feedback différents. A partir du troisième mois, nous constatons qu'en comparaison avec la consommation de 2011, le groupe 1 marque une légère décroissance de la consommation, tandis que pour les groupes 1 et 2 la réduction de consommation est plus grande grâce au feedback direct.

Graphique 3. 1: Consommation comparée des ménages (2012/2011) en kWh



Ce résultat rappelle ce que démontrait en partie S.Houde *et al* (2013) en se basant sur une étude sur 1743 ménages participants et sur une durée de huit mois ; selon lesquels en ce qui concerne les trois premiers mois d'expérimentation, les ménages bénéficiant de feedback en temps réel, avaient besoin d'un temps d'adaptation au système de feedback correspondant à une phase de prise de conscience de ses propres habitudes de consommation. Pour ce qui est

de notre expérimentation, les ménages n'ont eu besoin que d'un seul mois pour que nous puissions observer un début de réduction de la consommation électrique, pour les groupes avec feedback direct ou self monitoring.

Toutefois, toujours en se basant sur la même analyse, S.Houde *et al* (2013) avaient relevé qu'au bout de quatre mois de feedback, après la phase d'adaptation et d'apprentissage, les ménages reprenaient leurs habitudes et leur consommation redevenait identique à celle du groupe avec feedback indirect.

Nous constatons quant à nous que sur une période de six mois, les ménages poursuivaient leur économie d'énergie, avec un écart constant entre le self monitoring et le feedback direct. Toutefois, au bout du 6^{ème} mois de l'expérimentation, la consommation du groupe avec feedback indirect commence à augmenter et à se rapprocher du niveau de consommation de l'année 2011, tandis que celle des groupes 2 et 3 à feedback direct continue à décroître et s'éloigne encore plus de la consommation de référence (2011). Ce qui veut dire que l'impact du feedback indirect s'estompe avec le temps, car le ménage est moins soutenu et devient donc moins efficace en termes de gains de consommation.

En 2009, Alcott avait constaté que pour des ménages recevant un feedback trimestriel, il y avait une décroissance régulière, mois après mois, de la quantité d'énergie économisée. Durant notre expérimentation, les membres du groupe ayant reçu un feedback indirect, visualisaient leur consommation réelle plus fréquemment (c.-à-d. tous les 2 mois) et leur réduction de consommation a été moindre, mais durable dans le temps, malgré un léger relâchement dans la réduction de leur consommation. C'est la raison pour laquelle Darby (2006b) suggère que la persistance et la durabilité des économies d'énergie peut se fonder sur la fourniture continue de feedback, tandis que d'autres études suggèrent qu'un feedback plus fréquent tend à être plus efficace (Abrahamse, et al., 2005; Fischer, 2007; Grønhøj & Thøgersen, 2011).

En ce qui concerne cette question de durabilité après expérience, Van Houwelling *et al* (1989) ont constaté, en se basant sur une étude de 12 mois sur les effets de feedback en temps réel aux Pays-Bas, que les démonstrations à domicile avaient très bien réussi à réduire la consommation d'énergie (12,3 %), mais que lorsque les moniteurs d'enregistrement qui avaient

été installés ont été retirés des domiciles des ménages après la période d'intervention, les économies d'énergie n'ont pas persisté (Van Houwelingen & Van Raaij, 1989). Certaines des études les plus longues qui mesurent la persistance (Mountain, 2006; Mountain, 2008; Nielsen, 1993) montrent également que les économies d'énergie ne persistent pas dans le temps.

Compte tenu de la durée limitée de notre expérience, ce paramètre de durabilité après expérimentation ne pourra pas être traité et analysé dans le cadre de notre recherche. Cependant, Kluger & DeNisi (1996) pensent que lorsque le feedback fournit des informations qui appuient l'apprentissage et attire l'attention sur un feedback, des progrès impressionnants dans la performance peuvent être atteints.

Selon une étude d'Ehrhardt-Martinez *et al* (2010), en comparant cinquante-sept études (57) sur le feedback, les résultats soulignent que le feedback « Real-Time Plus » a donné de meilleurs résultats d'économie d'électricité (environ 14%), suivi du feedback en « Real-Time » (environ 9%). En moyenne, le feedback direct permet donc d'obtenir une réduction de la consommation avoisinant 11%, comparée au feedback indirect pour lequel la réduction reste aux alentours de 8%.

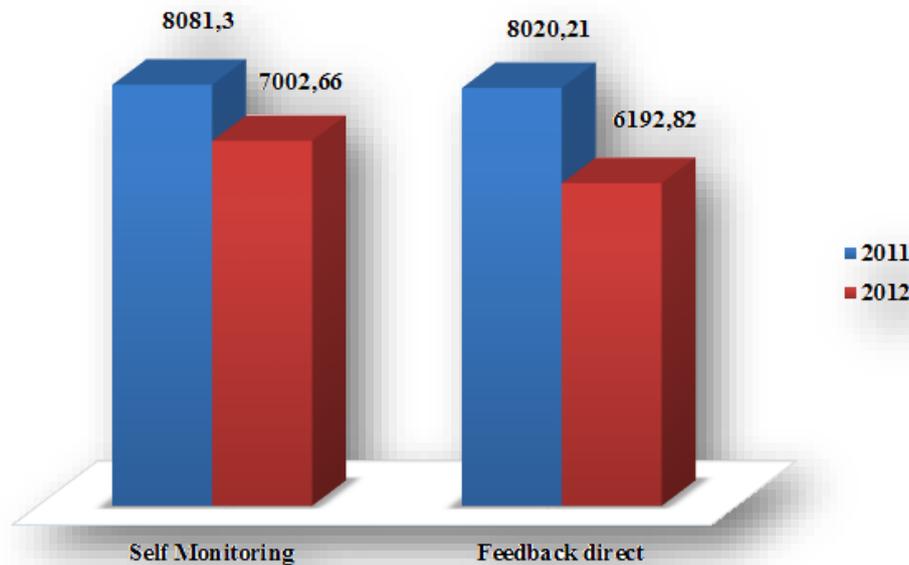
Tableau 3. 1: Economie d'électricité réalisé grâce aux différents types feedback

Type de feedback	Economie moyenne
Enhanced Billing	5,2 %
Estimated Feedback	6,8 %
Daily/Weekly feedback	11,0 %
Real-Time Feedback	8,6 %
Real-Time Plus	13,7 %

Source: (Ehrhardt-Martinez, et al., 2010)

Les résultats que nous avons obtenus sont bien meilleurs. Ainsi, en comparant la consommation annuelle moyenne de notre échantillon, entre les groupes avec feedback direct (Groupe 2+3) et self monitoring (Groupe 1) avant l'étude (en 2011) et pendant l'étude (2012), nous constatons une plus grande réduction obtenue pour les groupes à feedback direct (-2,4%) comparativement au groupe avec self monitoring (-13,3%), comme l'illustre le Graphique 3. 2.

Graphique 3. 2 : Consommations moyennes de 2011 et 2012 par ménage, selon les 2 feedback (kWh)



Il faut relever que la taille de l'échantillon a des implications importantes sur les économies d'énergie liées au feedback. Les résultats de nombreuses études sur le feedback peuvent varier selon la taille de l'échantillon, la durée des études, ainsi que le contexte régional. Concernant la taille globale des échantillons, la plupart des études ont en moyenne entre 60 et 600 participants. Comme le montre le Tableau 1. 3, les études avec de plus grandes tailles d'échantillon de feedback (plus de 100 ménages) montrent un niveau d'économies d'énergie plus bas que les études avec de plus petits échantillons. Pour ce qui est de la durée de l'expérience, les périodes d'expérimentation durent généralement entre 2 et 12 mois (en moyenne 5 mois).

En examinant la relation entre la durée des études sur les économies d'énergie liées au feedback et le type de feedback reçu, nous constatons que les économies étaient plus élevées pour les études courtes (10,4%) que pour les études plus longues (7,5%), comme nous l'avons déjà indiqué dans le Tableau 1. 3. dans notre premier chapitre. Notre expérimentation a quant à elle travaillé sur un petit échantillon et sur une longue durée nous a permis de constater des économies par feedback bien plus élevées que celles qui ont été obtenues jusque-là (notre

échantillon est constitué d'une part importante de CSP + (69% de cadres supérieurs à revenu moyen de 55392€/an) et fortement équipés).

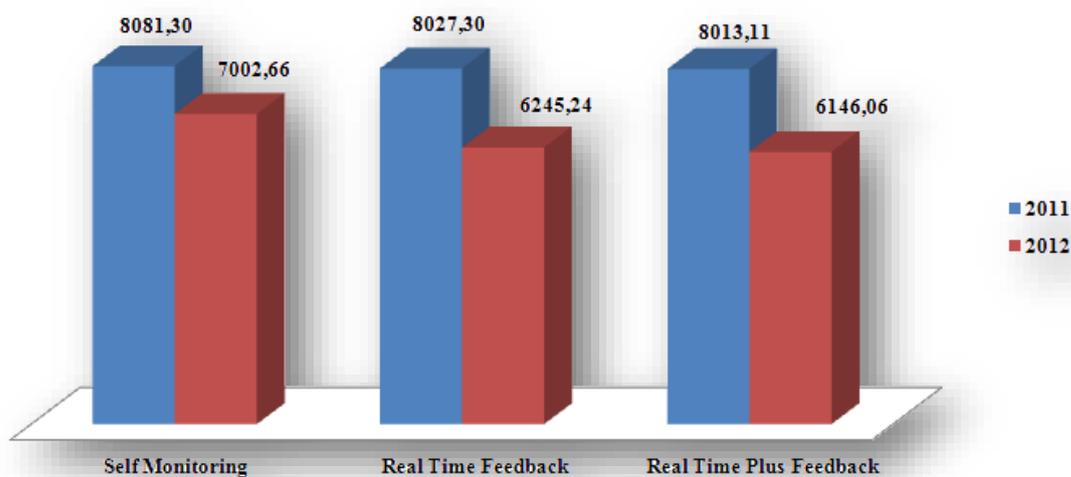
Tableau 3. 2: Economie par feedback, selon l'échantillon et la durée des études

Type of intervention		Similar experiment		TicElec
		Less than 100 households	(length : more than 6 months)	65 Households 12 months
Self-monitoring and Indirect Feedback	Self-monitoring	-	-	13.3%
	Enhanced Billing	-	5.1%	-
	Estimated Feedback	-	-	-
	Daily/Weekly feedback	12.4%	16.5%	-
Direct Feedback	Real-Time Feedback	10.7%	7.3%	22.2%
	Real-Time Plus	12.2%	-	23.3%

Source : (Kendel & Lazaric, 2015, p. 238)

Il y a lieu de noter que les résultats obtenus par notre expérience montrent une importante différence d'impact entre le Self monitoring feedback et le feedback direct. Cependant, nous avons relevé qu'il n'y a qu'une petite différence entre les feedback directs, donc entre le Real-Time Feedback et le Real-Time Plus Feedback (environ 1%).

Graphique 3. 3 : Consommations moyennes de 2011 et 2012 par ménage, selon les 3 feedback (kWh)



Source : (Kendel & Lazaric, 2015, p. 238)

2. Modélisation de la réduction de consommation électrique

2.1. Modèle d'analyse

L'étude de la littérature montre que les modèles existants sont considérés comme encore insuffisants pour mettre en équation le comportement des usagers, lequel détermine finalement le mode d'utilisation des équipements et donc leur consommation d'électricité.

Rappelons que les consommateurs comprennent mal les caractéristiques de leurs dépenses d'énergie électrique et les économies possibles, car les instruments de mesure qui sont à leur portée (compteur et facture) ne leur apportent qu'une information sur leur consommation globale et estimée.

Selon certains chercheurs (Kreuter, et al., 1999), la fourniture d'informations « adaptées » est potentiellement un moyen plus efficace d'encourager les changements de comportement. Ainsi, les retours d'information sur la consommation (*feedback*) se traduiraient par des changements dans la consommation d'énergie, des changements dans les comportements et par l'évolution des connaissances liées aux économies d'énergie.

Donc dans notre modèle, la variable la plus importante à intégrer est donc la variable *feedback* et notre analyse empirique de l'impact du *feedback* sur la maîtrise de la demande l'électricité implique l'estimation de la réduction de consommation électrique des ménages sous forme d'équation s'appuyant sur des données transversales⁴⁹. Comme la norme dans les évaluations est basée sur des données transversales, nous supposons que nos régressions contrôlent suffisamment les différences entre les *feedback* reçus pour estimer une réduction de consommation potentielle dans le groupe ayant reçu un *feedback* direct. Pour ce faire, nous utilisons la méthode de régression linéaire multiple, qui analyse les variations de la variable endogène (la consommation électrique) associée aux variations de plusieurs variables exogènes (salaire, catégorie socioprofessionnelle (CSP), etc.), plus la variable *feedback*.

⁴⁹ Une analyse transversale constitue une classe de méthode de recherche qui concerne l'observation d'une population dans sa globalité (ou d'un échantillon représentatif), à un instant donné dans le temps. Elle opère ainsi une coupe transversale de la population étudiée.

Nous représentons donc la fonction de consommation électrique des ménages bénéficiant d'un feedback sur leur consommation, sous la forme suivante :

Équation 1 :

$$C_t = \beta_i X + \delta FB + \varepsilon$$

Avec X représentant le vecteur ligne des variables caractérisant les ménages (quantitatifs ou qualitatifs), β et δ sont des vecteurs de paramètres à estimer, et ε est une composante d'erreur. La variable FB représente le feedback sur consommation électrique. Rappelons que nous avons réalisé une affectation randomisée dans les différents groupes de traitement avec deux différents feedback (direct et self monitoring). Il en résulte la nouvelle fonction suivante :

Équation 2 :

$$C_t = \beta_i X + \delta FB_w + \varepsilon$$

La variable FB_w précise les ménages qui ont reçu un feedback direct et ceux qui ont reçu un feedback indirect. Ce choix est traduit sous la forme d'une équation de traitement standard :

Équation 3 :

$$FB_w^* = \gamma Z + \mu$$

$$\text{avec: } \begin{cases} FB_w = 0 & \text{si Self monitoring} \\ FB_w = 1 & \text{si Feedback Direct} \end{cases}$$

où Z est un vecteur ligne de variables qui influent sur le choix du type de feedback qui, rappelons-le, étaient l'accès du ménage à internet (nécessaire pour l'accès au dispositif smart), la distance présente entre la box internet et le compteur d'électricité (à une distance supérieure à 20 mètres, la connections entre le capteur et le plug n'est pas réalisable), et enfin la nature du compteur (le compteur à roue ne peut être équipé du dispositif smart, seul les compteur électronique disposent d'un LED clignotant transmettent la fréquence de consommation), γ est un vecteur de paramètres à estimer, et μ est la composante d'erreur .

Nous réaliserons donc dans un premier temps une régression sur tout l'échantillon afin de visualiser et de comprendre l'impact du feedback dans sa globalité, ensuite nous traiterons la régression par type de feedback ($FB_W = 0$ et $FB_W = 1$).

2.2. Choix des variables

La variable à expliquer C_t , représentera la consommation électrique des ménages exprimée en kWh à un temps t. Dans un premier temps, la consommation étudiée sera la consommation relevée sur la période de l'étude (consommation de l'année 2012) notée C_1 , ensuite nous traiterons de la différence de consommation entre l'année de l'expérimentation 2012 et la consommation antérieure à l'expérimentation (consommation de l'année 2011) notée C_0 . Cela nous permettra de quantifier la réduction de la consommation électrique et de confirmer ou d'infirmer l'impact du feedback. Nous noterons cette réduction ΔC_t :

Équation 4 :

$$\Delta C_t = C_0 - C_1$$

$$\text{avec: } \begin{cases} \Delta C_t < 0 & \text{s'il n'y a pas de réduction durant l'année 2012} \\ \Delta C_t > 0 & \text{s'il y a réduction durant l'année 2012} \end{cases}$$

En ce qui concerne les variables explicatives, nous présentons ici les différentes variables sélectionnées pour tester les diverses hypothèses présentes dans la littérature.

Au niveau de la demande, certains auteurs déclarent que la consommation d'énergie des ménages est un phénomène sociotechnique, résultant des interactions entre les consommateurs et la technologie (Lutzenhiser, 1993; Wilhite, et al., 1996). Plus précisément, Crosbie (2006) estime que pour expliquer cette consommation, il faut comprendre pourquoi les consommateurs choisissent des technologies particulières et comment ils les utilisent. C'est pour cette raison que, lorsque l'objectif est de réduire la consommation d'énergie du secteur résidentiel, il y'a lieu de bien cerner les usages des sources d'énergie existants au niveau des ménages, ainsi que les types de comportements associés à ces différents sources.

Concernant l'identification des utilisations finales liées aux usages tels que le chauffage des pièces, le chauffage de l'eau, le refroidissement de l'espace, les appareils électroménagers, l'éclairage, et les TIC, nous intégrons les variables type de chauffage, système de cuissons et nombre d'ampoules à basse consommation :

Chauffage électrique « CHAUFELEC » $\begin{cases} \text{Oui} \\ \text{Non} \end{cases}$
Cuisinière électrique « CUISIELEC » $\begin{cases} \text{Oui} \\ \text{Non} \end{cases}$
Nombre de lampes basses consommations « LBC »

Un autre type de comportement observé, car il est considéré comme un comportement de consommation énergétique, est le mode de vie et les comportements liés au style de vie (Ehrhardt-Martinez & Garrison-Institut, 2012). Il s'agit donc d'analyser des comportements d'économie d'énergie qui se manifestent très fréquemment et qui peuvent induire un coût faible ou nul, comme le choix de vivre dans une maison ou un appartement plus petit. Nous prendrons donc en considération les variables type de logement, surface habitable (exprimée en m²) ainsi que la variable piscine/jardin :

Type de logement (Appartement Vs. Villa) « TYPEMAISON » $\begin{cases} \text{Oui} \\ \text{Non} \end{cases}$
Piscine/Jardin « PISC/JAR » $\begin{cases} \text{Oui} \\ \text{Non} \end{cases}$
Surface habitable « SURF »

L'autre comportement à coût faible ou nul à analyser est celui relatif aux gestes d'économie d'énergie qui doivent être effectués ou répétés fréquemment « Habits », et à des habitudes associées à l'éclairage ou à l'extinction d'ordinateurs et autres appareils lorsqu'ils ne sont pas utilisés (Laitner, et al., 2009a). Nous sélectionnerons les variables extinction des lumières dans les pièces inoccupées, report d'utilisation des heures pleines (HP) vers les heures creuses (HC), appareil en mode veille après utilisation :

Extinctions des lumières dans les pièces inoccupées « LUMIEREOFF »	{ <i>Oui</i> Non
Report d'utilisation des heures pleines aux heures creuses « HCHP »	{ <i>Oui</i> Non
Appareil en mode veille après utilisation « APPVEIL »	{ <i>Oui</i> Non

Selon les enquêtes réalisées par l'INSEE, la quantité d'énergie consommée par les ménages représente un poste de dépense de consommation relativement important pour les ménages (en moyenne 4,8 % de leurs dépenses en 2006). L'enquête a également relevé que plus le revenu d'un ménage est élevé, plus ce dernier consomme de l'énergie, sans se préoccuper de son coût. De plus, le revenu est relié positivement à la consommation (Wall & Crosbie, 2009; Reiss & White, 2001). Aussi plus celui-ci s'accroît, moins les ménages sont sensibles à une hausse du prix de l'électricité et donc au montant de leur facture d'électricité. Nous prendrons en compte la variable revenu annuel moyen (exprimé en Euros) et le statut social des ménages de notre échantillon :

Revenu annuel moyen « REVENU »	
Catégories socioprofessionnelles « CSP »	{ Artisans commerçants Cadres supérieurs Employés Retraités

En termes d'occupation de l'habitation (c'est-à-dire si l'habitation est occupée les jours de la semaine ou pas), nous avons relevé que Wall et Crosbie (Wall & Crosbie, 2009) avaient pris en considération cette variable sur la maîtrise de l'éclairage dans le cadre d'une étude sur un échantillon de ménages britanniques. Le nombre de personnes dans le ménage (adultes, enfants) est une variable non neutre, car au-delà d'un âge minimal de 12 ans, l'âge du membre du ménage le plus âgé pourrait être relié positivement à la consommation d'électricité, particulièrement en hiver. Pour cela, nous intégrons le nombre de personnes composant le foyer :

Nombre d'adulte « ADULT »
Nombre d'enfant « ENF »

Enfin, nous admettons aujourd'hui que le comportement de consommation énergétique n'est plus isolé de son environnement (Van den Bergh *et al*, 2000), mais qu'il peut être influencé par le biais des processus d'imitation sociale. Pour cela, nous prendrons en considération la variable faire partie d'une association environnementale comme un élément important qui nous permet de tester la préférence des consommateurs et plus exactement, leur sensibilité vis-à-vis de l'environnement:

Faire partie d'une association environnementale « ASSOC » $\begin{cases} \text{Oui} \\ \text{Non} \end{cases}$

Pour finir, selon Sweeney *et al* (2013) les ménages qui sont propriétaires sont plus à même de faire des économies d'énergie comparée aux locataires. Ceci nous mène à prendre en compte la variable propriétaire/locataire.

Propriétaire (Vs. Locataire) « PROP » $\begin{cases} \text{Oui} \\ \text{Non} \end{cases}$

En référant à notre Équation 2, nous remplaçons la variable X par les variables explicatives sélectionnées :

Équation 5 :

$$\begin{aligned}
 C_1 = & \beta_0 + \beta_1 ASSOC + \beta_2 TYPHEMAISON + \beta_3 PROP \\
 & + \beta_4 SURF + \beta_5 PISC/JAR + \beta_6 ADULT + \beta_7 ENFA + \beta_8 REVENU \\
 & + \beta_9 APPVEIL + \beta_{10} LUMIEREOFF + \beta_{11} HCHP + \beta_{12} LBC \\
 & + \beta_{13} CHAUFELEC + \beta_{14} CUISIELEC + \beta_{15} REVENU + \beta_{16} CSP \\
 & + \gamma FB_W + \varepsilon
 \end{aligned}$$

Après avoir énuméré les différentes variables explicatives à prendre en compte, nous pouvons les classer en quatre catégories qui sont : **les habitudes** (mettre les appareils en veille, éteindre les lumières dans les pièces inoccupées, reporter l'utilisation de certains appareils des HP vers HC et utiliser les lampes à basses consommation), **le logement** (type, surface habitable, propriétaire/locataire, piscine/jardin, type de chauffage et cuisinière), **le foyer** (CSP, revenu

annuel et composition du foyer) et **pro-environnement** (faire partie d'une association environnementale). Partant de l'Équation 5, il en résulte la nouvelle équation suivante :

Équation 6 :

$$C_1 = \beta_0 + \alpha_1 \text{HABITUDES} + \alpha_2 \text{LOGEMENT} + \alpha_3 \text{FOYER} + \alpha_9 \text{PROENVIRONNEMENT} + \gamma \text{FB}_W + \varepsilon$$

Suite à ce regroupement, nous avons considéré que compte tenu de la durée de l'expérience, le facteur feedback ne peut avoir d'impact direct de court terme que sur la catégorie HABITUDES. Nous pouvons toutefois supposer qu'il peut avoir un impact assez rapide sur la catégorie PRO-ENVIRONNEMENT, mais que l'effet n'apparaîtra que sur un horizon plus long (c'est d'ailleurs la raison pour laquelle il n'a pas été testé durant notre recherche, vue la durée limitée de l'expérience).

Figure 3. 1 : Groupes de facteurs impactant une maîtrise efficace de la demande électrique résidentielle



Ceci nous a conduit à l'élaboration de l'Équation 5 et de l'Équation 6 pour la phase de traitement de la consommation durant l'expérimentation de 2012. Pour ce qui est de la phase d'analyse de la réduction de la consommation électrique durant l'expérimentation (cf. Équation 4), nous obtenons les équations (7) et (8) suivantes :

Équation 7 :

$$\begin{aligned}\Delta C_t &= C_{t0} - C_{t1} \\ &= \beta_0 + \beta_1 ASSOC + \beta_2 TYPHEMAISON + \beta_3 PROP \\ &+ \beta_4 SURF + \beta_5 PISC/JAR + \beta_6 ADULT + \beta_7 ENFA + \beta_8 REVENU \\ &+ \beta_9 \Delta APPVEIL + \beta_{10} \Delta LUMIEREOFF + \beta_{11} \Delta HCHP + \beta_{12} \Delta LBC \\ &+ \beta_{13} CHAUFEELEC + \beta_{14} CUISIELEC + \beta_{15} REVENU + \beta_{16} CSP \\ &+ \gamma FB_W + \varepsilon\end{aligned}$$

Équation 8 :

$$\begin{aligned}\Delta C_t &= C_0 - C_1 \\ &= \beta_0 + \alpha_1 \Delta HABITUDES + \alpha_2 LOGEMENT + \alpha_3 FOYER \\ &+ \alpha_9 PROENVIRONNEMENT + \gamma FB_W + \varepsilon\end{aligned}$$

Ceci impliquera donc une variation sur le groupe de variable appelé « Habitudes ».

En ce qui concerne les variables qualitatives, cette variation sera notée :

« -- » pour les ménages ayant régressé dans la pratique d'un geste de maîtrise de la consommation ;

« - » destinée aux ménages qui, déjà en 2011, n'avaient pas une habitude de maîtrise de la consommation et qui ne l'a pas acquise après notre expérimentation ;

« + » s'adresse aux ménages possédant déjà une habitude de maîtrise de la consommation en 2011 et qui a continué à appliquer les bon gestes ;

« ++ » destinée aux ménages ayant changé positivement leurs habitudes, c-à-d qu'ils n'appliquaient pas une pratique en 2011 et ils ont commencé à la pratiquer en 2012 afin de mieux maîtriser leur consommation électrique.

2.3. Régression et analyse

Le tableau statistique descriptif de notre échantillon et de nos variables exogènes ainsi que l'ensemble de nos variables (quantitatives ou qualitatives), les moyennes et écart-type de chacune, sur tout notre échantillon ensuite selon les type de feedback reçu (direct ou self monitoring), est présenté dans le Tableau 3. 3.

En ce qui concerne la variable feedback, près de la moitié de notre échantillon a reçu un feedback direct (46%). Concernant la réduction de consommation, la réduction moyenne par groupe est plus forte dans le groupe avec feedback direct que dans le groupe avec self monitoring (respectivement 1827 et 1078 kWh/an). Notons que la variable « extinction des lumières dans les pièces inoccupées entre 2011 et 2012 » avec la notation « - » est égale à 0, ce qui signifie que lors du lancement de l'expérimentation, tout les ménages de notre échantillon possédaient le geste de recherche d'efficacité, mais qu'au fil du temps, 7% d'entre eux ont relâché leurs efforts en arrêtant d'éteindre les lumières dans les pièces inoccupées. Rappelons également que l'une des particularités de notre échantillon est qu'il est constitué d'une part importante de la population qui appartient à la catégorie des CSP + (69% des cadres supérieurs ayant un revenu moyen de 55392€/an).

Les résultats de l'estimation de la réduction de consommation d'électricité (Équation 7) par les moindres carrés ordinaires (MCO) sont affichés dans le Tableau 3. 4 et le Tableau 3. 5.

Une régression multi-variée de la réduction de la consommation électrique globale de notre échantillon (Tableau 3. 4) est utilisée dans nos tests économétriques. Nous poursuivrons par l'analyse une multi-variée selon le type de feedback reçu (Tableau 3. 5).

Tableau 3. 3 : Statistique descriptive entre les années 2011 et 2012

Variables	Unité	Echantillon complet				Self Monitoring	Feedback Direct
		Moyenne	Ecart-type	Min	Max	Moyenne	Moyenne
Réduction de la Consommation	kWh/an	1424,21	3439,04	-4978,00	9392,00	1078,64	1827,38
Feedback	0/1	0,46	0,50	0	1	0,00	1,00
Faire partie d'une association environnementale	0/1	0,08	0,27	0	1	0,09	0,07
Type de logement-Appartement	0/1	0,25	0,43	0	1	0,14	0,37
Propriétaire	0/1	0,86	0,35	0	1	0,91	0,80
Surface habitable	Nombre	115,49	61,82	20,00	380,00	134,03	93,87
Piscine/Jardin	0/1	0,42	0,50	0	1	0,43	0,40
Nombre d'adultes	Nombre	2,26	0,97	1,00	5,00	2,40	2,10
Nombre d'enfants	Nombre	0,63	0,86	0,00	3,00	0,51	0,77
Appareil en mode veille après utilisation	0/1	0,61	0,49	0	1	0,62	0,60
Extinction des lumières dans les pièces inoccupées entre 2011 et 2012 (--)	0/1	0,07	0,26	0	1	0,06	0,10
Extinction des lumières dans les pièces inoccupées entre 2011 et 2012 (-)	0/1	0,00	0,00	0	1	0,00	0,00
Extinction des lumières dans les pièces inoccupées entre 2011 et 2012 (+)	0/1	0,86	0,34	0	1	0,91	0,80
Extinction des lumières dans les pièces inoccupées entre 2011 et 2012 (++)	0/1	0,06	0,24	0	1	0,03	0,10
Report d'utilisation des HP aux HC entre 2011 et 2012 (--)	0/1	0,06	0,24	0	1	0,03	0,10
Report d'utilisation des HP aux HC entre 2011 et 2012 (-)	0/1	0,21	0,41	0	1	0,28	0,13
Report d'utilisation des HP aux HC entre 2011 et 2012 (+)	0/1	0,56	0,49	0	1	0,54	0,60
Report d'utilisation des HP aux HC entre 2011 et 2012 (++)	0/1	0,15	0,36	0	1	0,14	0,16
Différence du nombre d'ampoules basses consommation entre 2011 et 2012	Nombre	2,53	6,89	-10,00	28,00	0,88	4,46
Chauffage à l'électricité	0/1	0,68	0,47	0	1	0,66	0,70
Système de cuissons électrique	0/1	0,72	0,45	0	1	0,71	0,73
Revenu annuel moyen	Nombre	55392,69	27214,10	9400,00	112175,00	58740,00	51487,50
CSP - Artisans, commerçants	0/1	0,05	0,21	0	1	0,06	0,03
CSP - Cadres supérieures	0/1	0,69	0,47	0	1	0,63	0,77
CSP - Employés	0/1	0,09	0,29	0	1	0,09	0,10
CSP - Professions intermédiaires	0/1	0,05	0,21	0	1	0,06	0,03
CSP - Retraités	0/1	0,12	0,33	0	1	0,17	0,07

Tableau 3. 4 : Régression de la fonction de réduction de la consommation entre les années 2011 et 2012

Variabiles	Estimation des paramètres
Feedback	1606,543 (1,71)*
Faire partie d'une association environnementale	1646,250 (1,03)
Type de logement-Appartement	-783,025 (0,57)
Propriétaire	-860,812 (0,60)
Surface habitable	35,699 (3,94)***
Piscine/Jardin	-148,433 (0,15)
Nombre d'adultes	-829,801 (1,61)
Nombre d'enfants	-360,913 (0,73)
Appareil en mode veille après utilisation	714,841 (0,73)
Extinction des lumières dans les pièces inoccupées entre 2011 et 2012 (+)	1875,336 (1,19)
Extinction des lumières dans les pièces inoccupées entre 2011 et 2012 (++)	4109,159 (1,84)*
Report d'utilisation des HP aux HC entre 2011 et 2012 (-)	-5923,266 (2,80)***
Report d'utilisation des HP aux HC entre 2011 et 2012 (+)	5881,282 (3,03)***
Report d'utilisation des HP aux HC entre 2011 et 2012 (++)	5264,475 (2,47)**
Différence du nombre d'ampoules basses consommation entre 2011 et 2012	51,680 (0,82)
Chauffage à l'électricité	-2404,070 (2,58)**
Système de cuissons électrique	-1320,449 (1,22)
Revenu annuel moyen	-0,031 (1,50)
Catégorie socioprofessionnelle - Cadres supérieurs	2975,717 (1,51)
Catégorie socioprofessionnelle - Employés	6345,004 (2,64)**
Catégorie socioprofessionnelle - Professions intermédiaires	4023,343 (1,38)
Catégorie socioprofessionnelle - Retraités	2914,915 (1,35)
Constant	-8330,960 (2,13)**
R^2	0,52
N	65

* $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

Le R^2 ajusté est égal à 52% pour la régression de l'Équation 7 : en traitant la fonction de réduction de consommation selon le type de feedback (paramètre de l'Équation 3), nous avons une représentativité de 78% pour les ménages avec feedback indirect et 89% pour les ménages avec feedback direct. Cela suggère que le modèle explique une part assez importante de la variation de la réduction de consommation d'électricité des ménages.

La variable feedback qui est le facteur clé de notre recherche, semble agir positivement sur la réduction de consommation, représentant ainsi une économie moyenne (tous types de feedback confondus) de plus de 1600 kWh / an avec une significativité à $p=0,1$. Cette économie représente près de 180 € par an.

En ce qui concerne les autres variables explicatives, nous avons observé que la superficie, l'utilisation de chauffage électrique, et l'appartenance à certaines catégories socioprofessionnelles sont les caractéristiques les plus significatives dans nos régressions. D'autre part, la variable revenu annuel moyen n'impacterait en aucun cas la réduction de la consommation électrique avec une variation annuelle de 0,031 kWh/an. Rappelons que la littérature nous a révélé que, plus le revenu d'un ménage est élevé, plus ce dernier consomme de l'énergie, sans se préoccuper de son coût. Cette non significativité de la variable revenu dans notre recherche ainsi que son faible impact sur la réduction de consommation électrique pourrait être liés au fait que notre échantillon fasse partie d'une catégorie spécifique à haut revenu (55392,69 €/an en moyenne).

Nous avons également constaté que les variables les plus significatives sont celles faisant partie du groupe de variables appelées « Habitudes ». En effet, lorsque nous analysons la variable « Appareil en mode veille après utilisation », nous en déduisons que l'adoption de cette pratique entrainerait une économie de près de 700 kWh/an, et cette réduction de consommation est plus grande chez les ménages avec un feedback direct (plus de 800 kWh/an). Pour ce qui est de la variable « Extinction des lumières dans les pièces inoccupées », les ménages qui pratiquaient cette habitude avant l'expérience ont encore réduit leur consommation de plus de 1800 kWh/an, tandis que les foyers qui venaient d'adopter cette habitude généraient une économie de plus de 4000 kWh/an. Pour finir le « Report d'utilisation des HP vers les HC », semble être le facteur le plus significatif ($p<0,01$) car les ménages qui n'ont pas reporté leur utilisation des HP vers les HC auraient pu économiser près de 5900 kWh/an. Inversement, les ménages ayant changé cette habitude, réalisent plus de 5000 kWh/an.

Tableau 3. 5 : Régression de la fonction de réduction de la consommation entre les années 2011 et 2012 par type de Feedback

Variables	Self Monitoring	Feedback Direct
Faire partie d'une association environnementale	7,747 (0,00)	-3,843 (0,00)
Type de logement-Appartement	-952,350 (0,54)	1150,964 (0,51)
Propriétaire	-794,962 (0,38)	933,885 (0,43)
Surface habitable	37,080 (3,44)***	62,917 (1,99)*
Piscine/Jardin	460,109 (0,38)	-1359,750 (0,49)
Nombre d'adultes	-819,720 (1,23)	-873,638 (0,77)
Nombre d'enfants	-963,374 (1,22)	-1299,322 (2,03)*
Appareil en mode veille après utilisation	621,949 (0,44)	845,307 (1,93)*
Extinction des lumières dans les pièces inoccupées entre 2011 et 2012 (--)	-423,922 (0,11)	-676,054 (0,28)
Extinction des lumières dans les pièces inoccupées entre 2011 et 2012 (+)	47,474 (0,01)	71,689 (1,31)
Report d'utilisation des HP aux HC entre 2011 et 2012 (-)	-1328,447 (3,77)***	-144,096 (0,04)
Report d'utilisation des HP aux HC entre 2011 et 2012 (+)	1097,226 (3,54)***	1717,708 (0,53)
Report d'utilisation des HP aux HC entre 2011 et 2012 (++)	1197,021 (3,22)***	1533,290 (0,49)
Différence du nombre d'ampoules basses consommation entre 2011 et 2012	79,444 (0,59)	77,007 (0,71)
Chauffage à l'électricité	-3570,371 (2,90)**	-504,208 (0,21)
Système de cuissons électrique	-1553,610 (1,14)	-8379,535 (2,71)**
Revenu annuel moyen	-0,013 (0,51)	-0,105 (2,61)**
CSP - Artisans commerçants	-4011,355 (1,33)	
CSP - Cadres supérieurs	981,763 (0,36)	-8719,781 (1,20)
CSP - Employés	1958,074 (0,66)	-1246,800 (0,17)
CSP - Professions intermédiaires		-12811,440 (1,34)
CSP - Retraités	395,958 (0,15)	-9669,130 (1,56)
Constant	-15061,572 (2,70)**	3473,893 (0,39)
R^2	0,78	0,89
N	35	30

* $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

Après le traitement et l'analyse de la fonction de réduction de consommation, nous avons pu déduire les facteurs et les variables les plus importantes et les plus impactant sur la consommation électrique après le facteur feedback. Nous en concluons d'une part, que le feedback direct a plus d'impact sur la consommation des ménages et d'autre part, que les variables les plus représentatives et significatives sont celles qui peuvent varier dans le temps et qui sont les « Habitudes ». Afin de mieux comprendre l'importance de ces changements d'habitudes grâce au feedback et comprendre quelle habitude est la plus facile à adopter, nous allons dans le paragraphe qui suit analyser le changement comportemental des ménages.

3. Analyse des changements d'habitude de consommation

Le feedback peut être considéré comme un instrument efficace quand il est fourni fréquemment et de manière régulière, afin que les ménages puissent constater les résultats de leurs efforts d'économie d'énergie. Nous pouvons donc dire qu'une combinaison d'informations personnalisées sur les possibilités de réduire la consommation d'énergie, les retours d'information sur la consommation (*feedback*) et l'établissement d'objectifs, se traduisent par des changements dans la consommation d'énergie, des changements dans les comportements liés à la manière de consommer l'énergie, en changeant les habitudes de consommation. Certains auteurs (Houde, et al., 2013) proposent par exemple des douches plus courtes, moins de chauffage ou moins de climatisation, éteindre les lumières, éteindre et débrancher les petits appareils, utilisation moindre du four, etc.

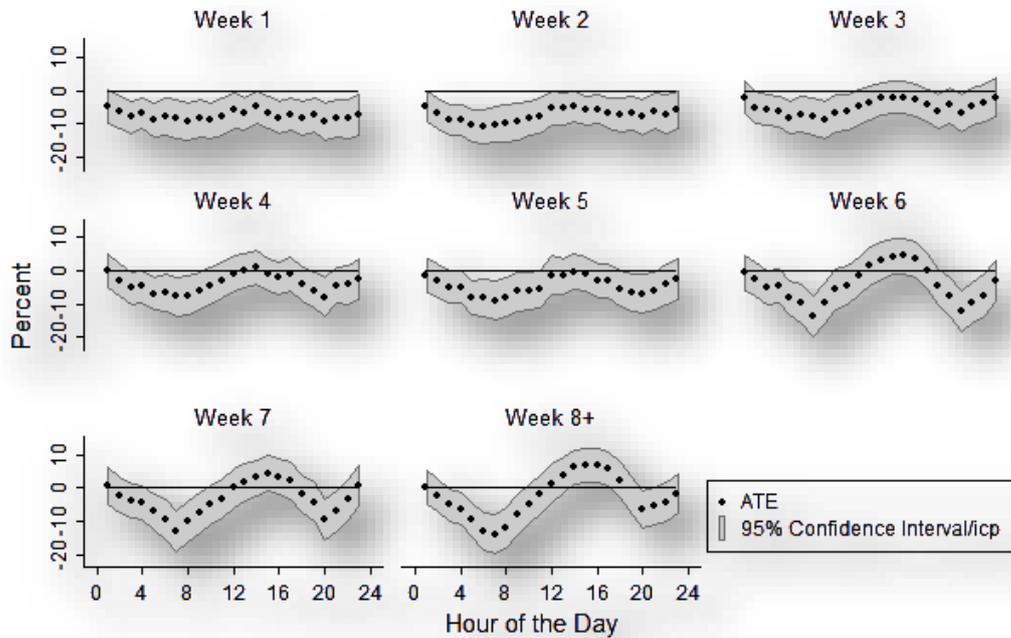
Les habitudes énergétiques sont des pratiques et des comportements associés, qui favorisent la réduction de la consommation énergétique à l'échelle globale ou individuelle. Nous notons tout d'abord, des comportements de restriction (*curtailment behavior*) qui permettent d'économiser de l'énergie comme par exemple par l'extinction des lumières pour consommer moins ou encore pour payer moins, par le report de certaines consommations des heures pleines vers les heures creuses (Sweeney, et al., 2013). Il y a également des comportements d'efficacité (*efficiency behavior*) qui permettent d'économiser l'énergie en achetant des appareils plus performants efficaces, qui offrent le même service mais à moindre coût, comme le recours à des lampes basses consommation (Gardner & Stern, 2002; Sweeney, et al., 2013) ; et enfin, des comportements de maintenance (*maintenance behavior*) permettant

d'économiser de l'énergie par des appareils plus efficaces comme le changement du chauffage ou du mode de cuisson, ou encore par des travaux d'isolation du logement (Ölander & Thøgersen, 1995; Sweeney, et al., 2013).

Dans un premier temps, nous avons analysé la consommation journalière des ménages bénéficiant d'un feedback direct, tout en distinguant le type (real time ou real time plus) et ce, en comparant la fréquence de consommation moyenne d'une journée type durant les mois de Mars et de Juillet (avec un espacement de 12 semaines). Dans un second temps, nous avons observé le changement d'habitude en distinguant le type de comportement. Ceci nous permet d'observer si les économies sont attribuables à un changement de comportement lié aux changements des habitudes (comme l'extinction des lumières dans les pièces inoccupées) ou à des comportements ponctuels qui sont liés à des facteurs exogènes notamment liés aux caractéristiques du logement (comme l'installation d'appareils économes ou l'isolation de la maison).

Dans les travaux de Houde *et al* (2013), les chercheurs avaient tenté d'établir une distinction entre les périodes d'activité hautes et basses au niveau de consommation journalière du ménage et avaient mis en relief une évolution du degré de changement de consommation électrique durant la journée grâce au feedback direct. Leurs résultats montraient que les plus fortes réductions de consommation d'électricité se produisaient pendant les périodes de pointe du matin et du soir: 5h-10h, durant lesquelles la consommation d'électricité diminuait de 12,2 % en moyenne et pendant celles de 20h à 23h, durant lesquelles la consommation d'électricité diminue de 8,2 % en moyenne. Leurs résultats soulignent que les économies d'énergie au milieu de la journée et de la nuit sont négligeables et que ce sont les économies de la matinée et de la soirée qui sont importantes et significatives, ainsi que nous pouvons le voir dans le Graphique 3. 4.

Graphique 3. 4 : Persistance de l'effet moyen du Feedback direct à différents moment de la journée

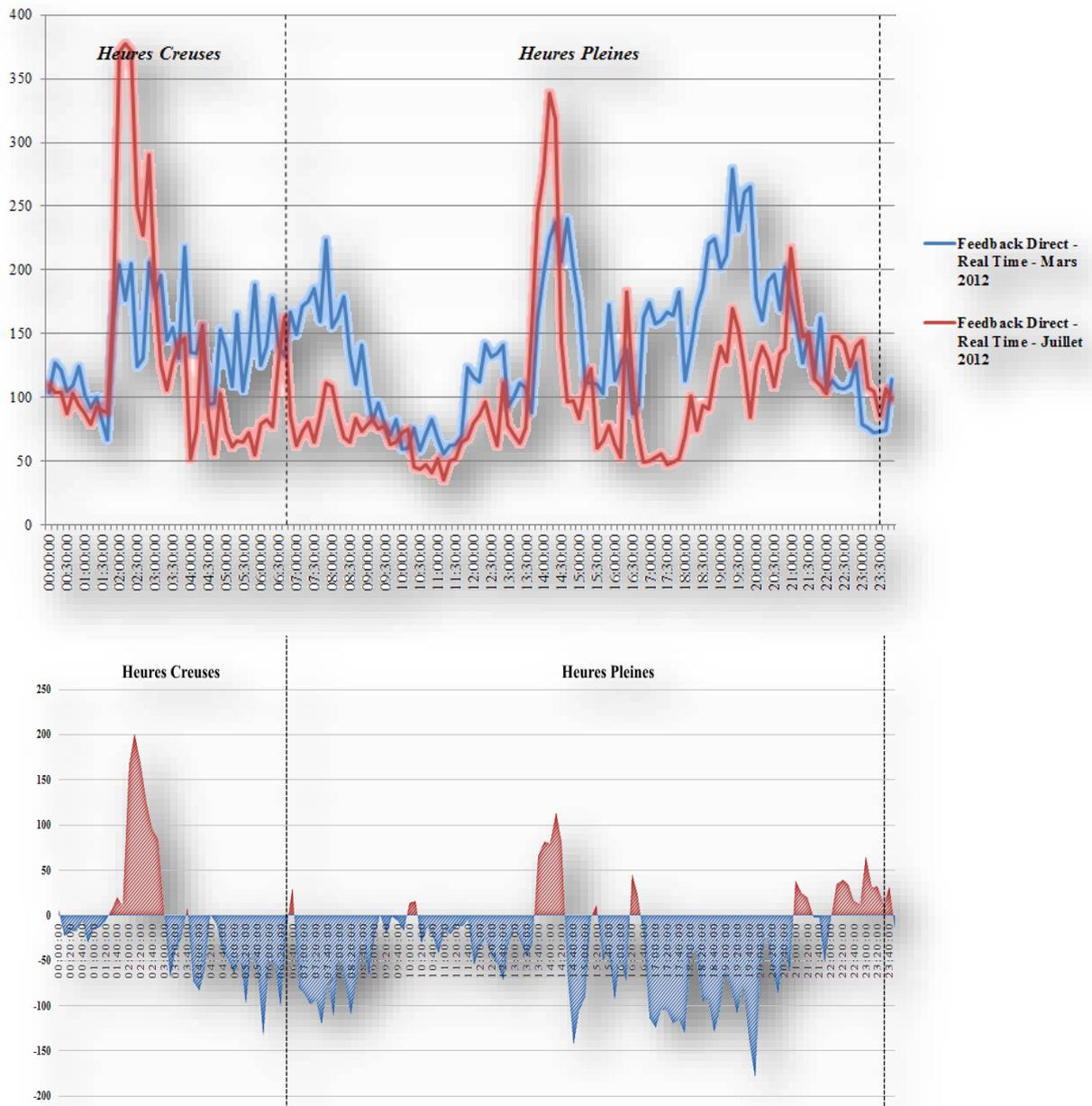


Source: (Houde, et al., 2013, p. 10)

En ce qui concerne notre échantillon, nous avons comparé la consommation journalière des mois de Mars et de Juillet des 2 groupes de ménages ayant un feedback direct et nous avons constaté un rapide changement comportemental qui a influé sur la consommation dans les 2 groupes, aussi bien chez le groupe qui avait reçu le « Real Time Feedback » que dans celui qui avait reçu le « Real Time Plus Feedback ».

Dans le groupe qui avait un « Real Time Feedback » (Graphique 3. 5), en plus de la réduction de sa consommation, nous avons constaté une baisse de la courbe de consommation en matinée et en soirée, néanmoins, le pic de consommation aux heures du déjeuner a augmenté. Cela révèle qu'en moins de six mois l'effort de réduction de consommation de la part des ménages a été globalement important, aussi bien durant les heures de pointes du matin et du soir, et que les ménages ont décalé certaines activités nocturnes de la tranche des heures de pointe du soir, pour les faire soit avant (à l'heure du déjeuner), soit au-delà (après minuit).

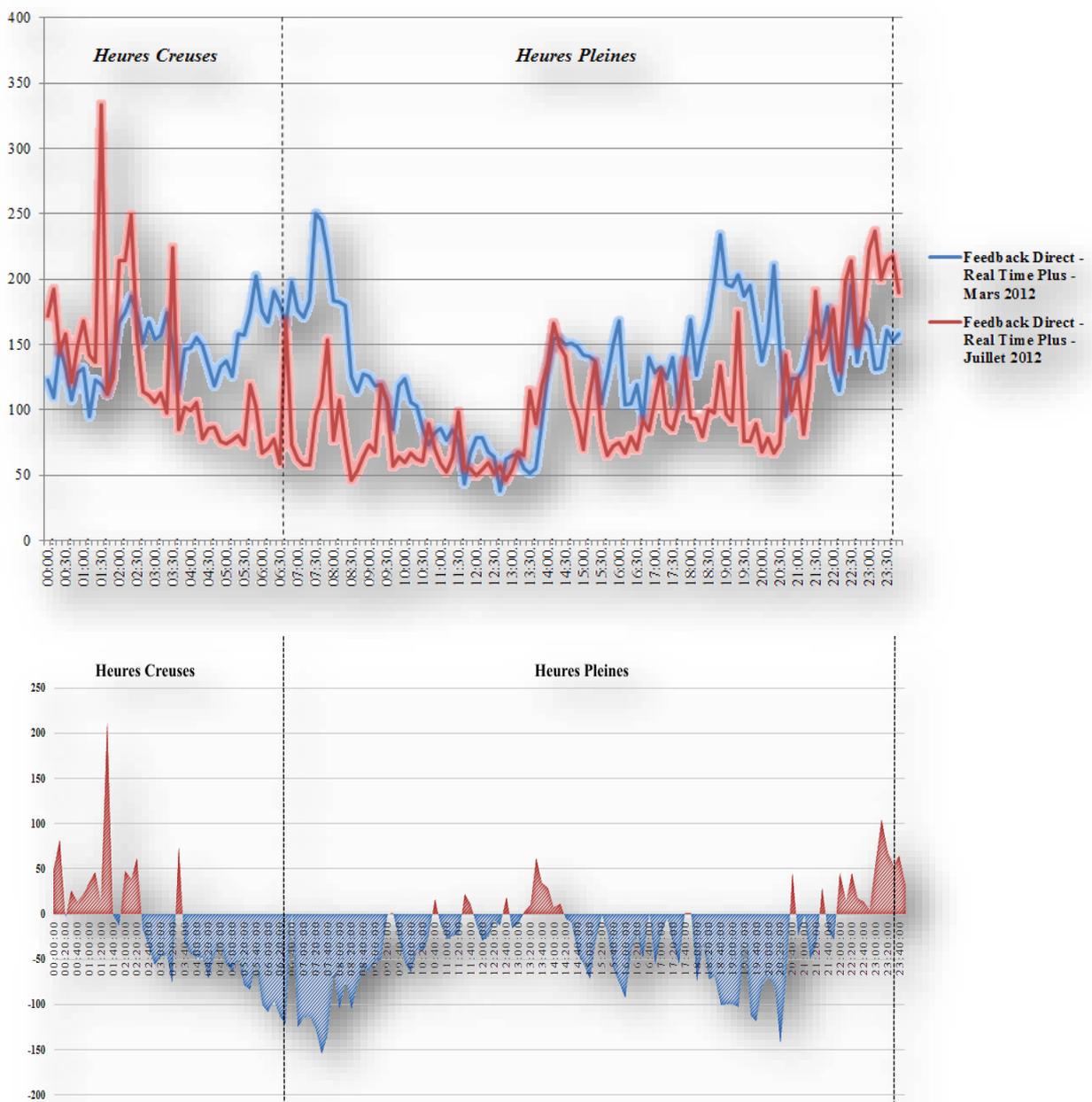
Graphique 3.5 : Changement du comportement de consommation des ménages avec Feedback direct « Real Time » (Comparaison Mars et juillet 2012)



Dans le groupe ayant bénéficié d'un « Real Time Plus Feedback » (Graphique 3. 6), nous avons constaté également une forte réduction de consommation, ainsi qu'un fort aplatissement de la courbe de consommation durant les heures pleines, avec un report marquant vers les heures creuses. Ainsi, les pics de consommation durant les heures du petit déjeuner, du déjeuner et du dîner (respectivement 7h-8h, 14h-15h et 18h30-20h30) sont sensiblement effacés. Cela révèle un plus grand effort de réduction de consommation de la part des ménages durant les heures pleines, mais également un changement de comportement de consommation qui s'est traduit par un décalage du pic de consommation matinal et de celui du soir vers la

plage horaire 21h30-2h30. Cela montre que, contrairement au groupe bénéficiant du « Real Time Feedback », la disponibilité de plus d'information sur la consommation électrique par appareils a permis au ménage, d'une part, de maîtriser sa consommation, de reporter l'utilisation de certains appareils vers les heures creuses et d'éliminer ainsi quasiment les pics de consommation durant les heures de petit déjeuner, déjeuner et dîner en identifiant clairement les appareils les plus énergivores et en reportant leur utilisation au-delà de minuit (contrairement au groupe « Real Time Feedback » qui a réparti leur utilisation en partie au moment du déjeuner et en partie au-delà de 01h30).

Graphique 3.6 : Changement du comportement de consommation des ménages avec Feedback direct « Real Time Plus » (Comparaison Mars et juillet 2012)



Ces graphiques combinés nous permettent de visualiser et de bien comprendre les changements de consommation journalière des ménages selon le type de feedback reçu. Nous pouvons en déduire que ce changement est dû à la fois aux économies d'électricité et aux reports d'utilisation de certains appareils des heures pleines aux heures creuses, traduisant ainsi une baisse quantitative et un étalement de la consommation dans le temps, ce qui consolide nos résultats de la régression de la fonction de consommation précédemment présentée (Tableau 3. 5).

Afin d'analyser plus profondément les comportements de consommation, répartis selon leur nature et leur efficacité définies par Sweeney *et al* (2013) et qui portent sur les comportements de restriction, d'efficacité et de maintenance, nous avons présenté dans les trois tableaux qui suivent ces changements comportementaux des ménages entre 2011 et 2011 selon le feedback reçu :

En ce qui concerne les comportements de restriction (*Curtailed behavior*), nous avons sélectionné les variables « Extinction des lumières dans les pièces inoccupées », « Report d'utilisation des HP aux HC » et « Mise des appareils en mode veille après utilisation » (Cf. Tableau 3. 6) :

- Pour ce qui est de l'extinction des lumières dans les pièces inoccupées, nous avons observé que 90% des ménages bénéficiant d'un feedback direct éteignaient leurs lampes dans les pièces inoccupées, occasionnant ainsi une économie moyenne de près de 3000 kWh/an. Etant admis que le feedback sur consommation globale peut relever à lui seul la différence de consommation du système d'éclairage dans le logement, cela explique le même changement comportemental pour ce critère chez les ménages des deux types de feedback (Real-Time Feedback et Real-Time Plus Feedback).
- Il en est de même pour la mise des appareils en mode veille après utilisation, un peu plus de 60% de l'échantillon ayant reçu un feedback direct procédaient à la mise en veille des appareils après leur utilisation, réalisant ainsi 700 kWh/an d'économie, de manière presque identique pour le Real-Time Feedback et le Real-Time Plus Feedback.

- Contrairement aux deux précédents critères, le report d'utilisation des HP aux HC révèle certes un taux de plus de 75% des ménages ayant acquis cette maîtrise de la consommation avec une réduction de consommation égale à 5500 kWh/an, mais nous avons décelé un plus grand changement chez le groupe avec un Real-Time Plus Feedback. Sachant que ce type de feedback permet de prendre connaissance de la consommation pour chaque appareil choisi par les ménages, ces derniers ont donc réussi à changer leurs habitudes et surtout à prendre connaissance de la consommation de chacun de leur équipement ménager et à reporter leur utilisation à des heures moins coûteuses, avec un taux de 87,5% pour le Real-Time Plus Feedback, contre 64,2% pour le Real-Time Feedback.

Tableau 3. 6 : Changement des comportements de restriction selon le feedback

	Feedback		Total	
	Real Time	Real Time Plus		
<i>Curtailment behavior</i>	Extinguishing lights in empty rooms between 2011 and 2012 (-) & (--)	1 33,3%	2 66,7%	3 100,0%
	Extinguishing lights in empty rooms between 2011 and 2012 (+) & (++)	13 48,1%	14 51,9%	27 100,0%
	Report of use from Peak times to Off-peak hours between 2011 and 2012 (-) & (--)	5 71,4%	2 28,6%	7 100,0%
	Report of use from Peak times to Off-peak hours between 2011 and 2012 (+) & (++)	9 39,1%	14 60,9%	23 100,0%
	Standby mode after use (-) & (--)	5 41,7%	7 58,3%	12 100,0%
	Standby mode after use (+) & (++)	9 50,0%	9 50,0%	18 100,0%

Source: (Kendel & Lazaric, 2015, p. 239)

Legend:

(--) *Indicates deteriorating habits*: households that owned or applied in 2011 but ceased to possess or apply in 2012.

(-) *Indicates negative stagnant habits*: households that did not own or apply in 2011 and continued this way in 2012.

(+) *Indicates positive stagnant habits*: households that owned or applied in 2011 and continued to possess or apply in 2012.

(++) *Indicates improved habits*: households that did not own or apply in 2011 but did own or apply in 2012.

Pour ce qui est des comportements d'efficacité (*Efficiency behavior*), nous avons sélectionné la variable « nombre d'ampoules basses consommation » (Cf. Tableau 3. 7). Tout comme la variable extinction des lumières dans les pièces inoccupées, nous avons observé que 90% des ménages recevant un feedback direct utilisent des lampes à basse consommation ou bien avaient opté pour l'utilisation de ces dernière durant l'expérience. Les deux (Real-Time Feedback et Real-Time Plus Feedback) ont pu réaliser une économie annuelle moyenne de près de 70 kWh grâce à ce paramètre, qui vient s'ajouter à économie annuelle moyenne de 3000 kWh qu'ils ont pu obtenir grâce à l'extinction des lumières dans les pièces inoccupées.

Tableau 3. 7 : Changement des comportements d'efficacité selon le feedback

	Feedback		Total	
	Real Time	Real Time Plus		
<i>Efficiency behavior</i>	Difference in the number eco 'efficient lights bulbs installed between 2011 and 2012 (-) & (--)	1	2	3
		33.3%	66.7%	100.0%
	Difference in the number eco 'efficient lights bulbs installed between 2011 and 2012 (+) & (++)	13	14	27
		48.1%	51.9%	100.0%

Source: (Kendel & Lazaric, 2015, p. 239)

Legend:

(--) *Indicates deteriorating habits*: households that owned or applied in 2011 but ceased to possess or apply in 2012.

(-) *Indicates negative stagnant habits*: households that did not own or apply in 2011 and continued this way in 2012.

(+) *Indicates positive stagnant habits*: households that owned or applied in 2011 and continued to possess or apply in 2012.

(++) *Indicates improved habits*: households that did not own or apply in 2011 but did own or apply in 2012.

Enfin, s'agissant des changements des comportements de maintenance (*Maintenance behavior*), nous avons sélectionné les deux variables « Investissement énergétiques » et « Investissement d'isolation » (Cf. Tableau 3. 8) et nous avons constaté que durant l'expérience, seulement trois ménages avaient réalisé des investissements énergétiques et qu'un ménage (sur les trente équipés pour le feedback direct) avait effectué des investissements d'isolation dans son domicile. Ceci révèle que, du fait de sa durée relativement courte, la participation à l'expérimentation TicElec n'est pas parvenue à générer un impact sur les comportements de maintenance, que cela soit chez les ménages avec un Real-Time Feedback ou avec un Real-Time Plus Feedback. Tout en précisant que le feedback sur consommation transmis aux

ménages ne fournit pas assez d'information permettant de prendre connaissance des pertes énergétiques du logement, il faut noter que ces investissements de maintenance obéissent à une autre logique de prise de décision, dans la mesure où il concernent des investissements que le ménage ne peut amortir que sur longue période et qui demande plus de délibération avant de les faire. Notre expérience n'ayant duré qu'une année, ce type de comportement nécessite une réflexion avant une réelle prise de décision.

Tableau 3. 8 : Changement des comportements de maintenance selon le feedback

		Feedback		Total	
		Real Time	Real Time Plus		
<i>Maintenance behavior</i>	Energy investment	No	12	15	27
			44,4%	55,6%	100,0%
	Yes		2	1	3
			66,7%	33,3%	100,0%
	Insulation investment	No	14	15	29
			48,3%	51,7%	100,0%
Yes		0	1	1	
		0%	100,0%	100,0%	

Source: (Kendel & Lazaric, 2015, p. 240)

Au final, nous pouvons donc conclure que le feedback direct fourni aux ménages a agi positivement aussi bien sur les comportements d'efficacité (*Efficiency behavior*) que sur les comportements de restriction (*Curtailement behavior*), avec un accent plus marqué pour ce dernier. De toute évidence, les comportements de restriction (*Curtailement behavior*) sont relativement faciles à déclencher, car ils mettent en œuvre une action sur les habitudes et donc un processus peu coûteux pour le ménage. Ceci est moins le cas quand il s'agit de l'achat d'appareils économes en énergie pour déclencher un comportement d'efficacité (*Efficiency behavior*) qui nécessite un investissement de la part du ménage, donc un effort financier. Nous pouvons donc en déduire que les résultats des changements *Efficiency behavior* et *Maintenance behavior* ne peuvent pas être enclenchés sur le court terme, car les ménages reportent leurs décisions sur le long terme.

Conclusion

L'objectif de ce chapitre était d'analyser la consommation électrique des ménages de notre échantillon ; d'évaluer l'impact des différents feedback sur leur capacité de maîtrise de leur consommation d'électricité et enfin de mieux comprendre et discerner les changements possibles dans les comportements résultant de ces différents feedback sur consommation.

En ce qui concerne la consommation électrique, durant la durée de l'expérimentation, nous avons constaté que le consommateur avait besoin d'un minimum de temps d'adaptation afin de se familiariser avec ces nouvelles informations inhabituelles sur la consommation de leur logement. Pour rappel, S.Houde *et al* (2013) avait observé un temps d'apprentissage de 3 mois pour que les ménages prennent conscience de leurs propres habitudes de consommation, avant d'agir par la suite. Notre expérimentation a montré que les ménages ont réagi après seulement 1 mois, pour agir et réduire leur consommation électrique, que cela soit pour le groupe avec feedback direct ou self monitoring.

Notre expérience a également montré, en comparant la consommation annuelle moyenne entre les groupes avec feedback direct (Groupe 2 et 3) et Self monitoring (Groupe 1), une plus grande réduction de consommation chez les groupes à feedback direct (-22,4%) que dans le groupe avec Self monitoring (-13,3%), tandis que dans la revue de la littérature il a été cité des taux de 11,15% et 12% respectivement.

En cherchant à mieux comprendre les raisons et les facteurs expliquant cette plus grande maîtrise de la consommation grâce au feedback direct, l'analyse de la fonction de réduction de consommation ainsi que des variables les plus importantes à prendre en compte a conduit à distinguer quatre catégories de variables explicatives sur lesquelles des actions étaient possibles et qui étaient: **les habitudes** (mettre les appareils en veille, éteindre les lumières dans les pièces inoccupées, reporter l'utilisation de certains appareils des HP aux HC et utiliser les lampes à basses consommation) ; **le logement** (type, surface habitable, propriétaire/locataire, piscine/jardin, type de chauffage et cuisinière) ; **le foyer** (CSP, revenu annuel et composition du foyer) ; et enfin **pro-environnement** (faire partie d'une association environnementale). Cette catégorisation a permis de déceler les variables les plus à-même de pouvoir changer sur

une période d'une année (durée de notre étude). Il ressort de cette analyse statistique que la catégorie la plus impactée positivement par le feedback était la catégorie habitudes.

Enfin, pour consolider nos résultats, nous nous sommes intéressés aux changements d'habitudes, selon les types de comportement, tels que définis par Sweeney *et al* (2013). Nous en avons conclu que le feedback direct fourni aux ménages a agi positivement sur les comportements de restriction (Curtailed behavior), à la fois sur la baisse quantitative et l'étalement de la consommation dans la journée, alors que les comportements d'efficacité (Efficiency behavior) et de maintenance (Maintenance behavior) n'ont quasiment pas été impactés, compte tenu des coûts et des délais nécessaires à leur mise en œuvre. Nos résultats restent donc dans la lignée des travaux de Pears (2004) et du DEWHA (2008), qui soulignent que l'amélioration des infrastructures d'électricité, est souvent considérée comme un investissement qui nécessite un certain délai pour être décidé par le ménage.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVE

Notre thèse s'était fixée comme objectif de savoir quel est l'impact du feedback sur le comportement du consommateur, dans le sens d'une baisse de la consommation d'énergie électrique (et son étalement pour sortir des tranches horaires de pointe) et corollairement une diminution de ses émissions de GES. Plus précisément, nous cherchions à connaître le rôle que peut jouer l'apport d'informations en temps réel sur la maîtrise de la consommation d'électricité, au-delà de celle qui est fournie par le compteur général installé par le fournisseur d'électricité, portant le plus souvent sur une quantité globale et estimée, et aussi de savoir quel type de feedback pouvait être le plus approprié pour agir sur le comportement de consommation, de manière efficace et surtout durable, afin de pérenniser la maîtrise de la demande d'électricité par les ménages.

Synthèse de nos résultats de recherche

i) Problématique globale et contraintes de la maîtrise de la consommation électrique

Nous avons montré qu'en France, les programmes de maîtrise de l'énergie, visant également la réduction des émissions de GES, sont orientés vers tous les secteurs d'activité économique, mais avec un **accent marqué sur le secteur résidentiel-tertiaire, compte tenu de sa part dans la consommation finale (toutes sources énergies confondues) du pays (44% en 2011) et du fait qu'il est responsable de 20% des émissions de gaz à effet de serre**, car la substitution des énergies fossiles par les énergies renouvelables moins polluantes tarde à pénétrer en profondeur dans ce secteur.

Nous avons également mis en relief qu'en France, **le manque d'information sur les modes de consommation des usagers constitue le point faible des stratégies de maîtrise de l'énergie**, alors que depuis plusieurs années il s'est développé dans le monde de nouvelles méthodes ciblant les comportements par recours à **un retour d'information en temps réel**

vers le ménage, pour l'amener à gérer sa consommation d'énergie, dans le sens de sa réduction de manière durable.

Notre participation à la mise en œuvre de l'expérience que nous avons menée dans le cadre du projet TicElec nous a permis d'identifier les lacunes d'information et les barrières techniques auxquelles se heurtent les ménages lorsqu'ils cherchent à maîtriser leur consommation d'électricité par action sur leurs habitudes de consommation. Au niveau individuel, **les ménages n'identifient pas clairement le lien entre leur comportement et leur dépense d'énergie**. Ils identifient également mal les moyens de mobiliser les économies réalisables au niveau des équipements ménagers.

En plus de la nécessité de s'équiper d'un système informatique sans complexité particulière, **la principale barrière est leur manque d'information sur leur consommation et ses impacts sur leur budget, sur les dépenses de l'Etat** pour importer des hydrocarbures et sur l'environnement. C'est ce qui explique d'ailleurs en partie pourquoi leur engagement en matière de protection environnementale, pourtant clairement affiché par la majorité des ménages, ne se traduit pas toujours par un passage à l'action qui permettrait à ces derniers de mettre en pratique leur engagement et d'en tirer avantage, via la réduction de leur consommation d'électricité.

ii) Enseignements tirés de l'étude des différents feedback

Après avoir passé en revue les nombreuses études menées au niveau international sur le rôle du feedback, nous avons mis en relief que **les études de feedback ne sont pas encore suffisamment nombreuses en France**, alors que la solution *smart* qui fournirait un feedback sur consommation aux ménages, afin d'agir sur leur comportement, avait été considérée depuis plusieurs années comme une solution envisageable. **La généralisation du feedback est d'une importance capitale en région PACA, sachant qu'elle n'est pas alimentée en électricité dans de bonnes conditions en périodes de froid et reste caractérisée par une insuffisante sécurité d'approvisionnement**. L'une des caractéristiques particulières des ménages de notre échantillon est qu'une grande partie d'entre eux a **recours à l'électricité pour les usages de cuisson et de chauffage, alors que la région est alimentée en gaz**.

Notre recherche a montré que **les résultats du feedback varient selon le type d'information transmis, la durée du feedback ainsi que la méthode de transmission** (technologies smart à feedback direct, ou solution non-smart à feedback indirect). Notre recherche a montré que de manière générale, le feedback sur consommation (direct ou indirect) constitue un moyen efficace pour la maîtrise de la demande d'énergie (par réduction de la consommation et son effacement en pointe) dans la mesure où il fournit aux ménages les informations nécessaires pour leur permettre de changer leurs comportements et de devenir des acteurs en gérant activement et de manière responsable leur consommation d'énergie.

Les résultats de feedback recensés dans le monde, ont révélé une économie d'énergie potentielle allant de 4% à 12%, selon le type de feedback reçu. La littérature avait montré qu'une fois que les consommateurs reçoivent des informations sur leurs habitudes de consommation d'énergie, il y a une variété d'attitudes qu'ils peuvent adopter à cet effet. Les résultats de notre expérience, menée dans la continuité des travaux tels que ceux de Darby, Grønhøj & Thøgersen, ou de Schleich *et al*, résultent d'un recours simultané à trois types de feedback (« Self-Monitoring Feedback », « Real-Time Feedback » et « Real-Time Plus Feedback »). **Cette méthodologie innovante nous a permis d'aller plus loin que les expériences citées dans la littérature et de mieux mettre en relief les enjeux du feedback direct et les niveaux d'impacts que le « Real-Time Feedback » et le « Real-Time Plus Feedback » permettent.**

Notre expérience a montré, en comparant la consommation annuelle moyenne entre les groupes avec feedback direct (Groupe 2 et 3) et indirect dit « self monitoring » (Groupe 1), que **la réduction de consommation était plus grande chez les deux groupes à feedback direct (-22,4%) que dans le groupe à feedback indirect (-13,3%), soit un résultat meilleur que celui qui était avancé par la littérature**, qui cite des taux respectifs de -11,15% et -12%.

Pendant l'expérimentation, nous avons constaté que le consommateur avait besoin de s'adaptation et de se familiariser avec un flux d'informations sur sa consommation d'électricité. **Les ménages ont réagi au bout d'un mois**, que cela soit avec un feedback indirect (Self monitoring) ou l'un des deux feedback directs **avant de commencer à entreprendre des actions permettant de réduire leur consommation**, soit un délai de réaction inférieur à celui qui est cité dans la littérature.

Pour ce qui est de l'effacement aux heures de pointes qui devait se traduire par un report d'utilisation de certains appareils ménagers vers les heures creuses, nous avons montré que l'efficacité du feedback varie selon le type de feedback fourni. La littérature montre que les projets axés sur les économies aux heures de pointe se sont, en majorité traduites en déplacement de la consommation d'énergie vers les périodes hors pointe, mais que les économies globales d'énergie sont nettement inférieures. Notre recherche a montré que **les groupes de notre échantillon bénéficiant de l'un des deux feedback direct ont simultanément réduit leur consommation et en ont différé une partie hors des tranches horaires les plus chères** de la facturation par le distributeur (EDF).

Quant à l'intensité de l'impact du feedback sur la réduction et la maîtrise de la consommation, elle reste variable d'un feedback à l'autre et que l'un deux semble être plus efficace que les autres à générer des économies d'énergie plus substantielles (cf. Tableau 1. 2 , Tableau 1. 3 et Tableau 1. 5). Notre travail a montré que **les formes directes de feedback (en real time et en real time plus) ont tendance à être mieux adaptées à la compréhension des économies d'énergie** associées à l'extinction des lampes, des téléviseurs et des ordinateurs après usage.

En cherchant à mieux comprendre les raisons et les facteurs expliquant la maîtrise de la consommation grâce au feedback direct, l'analyse de la fonction de consommation ainsi que les variables les plus importantes à prendre en compte se situent à plusieurs niveaux et que nous avons regroupées en quatre catégories de variables explicatives sur lesquelles les actions étaient possibles et qui étaient: **les habitudes** (mettre les appareils en veille, éteindre les lumières dans les pièces inoccupées, reporter l'utilisation de certains appareils des heures de pointes vers les heures creuses et utiliser les lampes à basses consommation) ; **le logement** (type, surface habitable, propriétaire/locataire, piscine/jardin, type de chauffage et cuisinière) ; **le foyer** (CSP, revenu annuel et composition du foyer) ; et enfin **pro-environnement** (faire partie d'une association environnementale). Cette catégorisation a permis de déceler les variables les plus à-même de pouvoir changer sur une période d'une année (durée de notre étude). Il ressort de cette analyse statistique que **la catégorie la plus impactée positivement par le feedback était la catégorie habitudes**.

Nos résultats constituent une appréciable consolidation des travaux antérieurs cités dans notre revue de la littérature, qui avaient relevé que la plupart des économies

réalisées grâce au feedback résultent d'abord des changements dans les comportements, donc pas forcément par des investissements, car l'action sur les équipements économes qui leur permettent de réduire encore plus leur consommation d'électricité ne peut être prise en compte que dans une seconde phase.

Bien que la durée de notre expérimentation fût de 12 mois, **le feedback direct fourni aux ménages a agi positivement sur les comportements de restriction (*Curtailment behavior*)**, alors que les comportements d'efficacité (*Efficiency behavior*) et de maintenance (*Maintenance behavior*) n'ont quasiment pas été impactés, compte tenu des coûts que cela induit pour le ménage et des délais nécessaires à leur mise en œuvre.

Notre expérience sur un échantillon de population constitué aux trois quarts de ménages à revenu élevé (supérieur à 3231€), en grande majorité propriétaires de leur logement (80%) et dont la superficie moyenne dépasse 120m² nous a permis de mieux mesurer le lien qui existe entre le revenu et la consommation d'énergie. Un résultat majeur obtenu, a été de montrer qu'**un revenu élevé du ménage ne constitue pas un frein aux économies de consommation d'électricité**.

Les importantes réductions de consommation que nous avons relevées chez les catégories socioprofessionnelles à haut revenu de notre échantillon le démontrent et confortent nos résultats, sachant que l'étude menée récemment en Suède avait montré que, plus on a un revenu élevé, plus le ménage est enclin à faire des économies (Vassileva, et al., 2013). Dans le cadre de notre expérience, il y a lieu de noter que même les ménages de notre échantillon qui ne bénéficiaient que d'un « self monitoring » ont des revenus élevés. C'est ce qui explique le taux de réduction élevé obtenu (près de 13%) chez ce groupe de ménages. Au facteur revenu, s'est conjugué comme facteur favorable la relation de proximité assurée par l'équipe du projet, ainsi que la sensibilisation menée par la commune de Biot. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle nous recommandons d'**accorder une importance particulière à cette catégorie de ménages à revenu élevé**, dans le cadre de la reproduction/duplication de l'expérience menée à Biot, au niveau de la Région, voire du Pays.

Limites de notre recherche et perspectives de travaux futurs

Nous avons mis en relief le fait que les économies sont généralement obtenues grâce à trois catégories d'actions: i) de simples changements dans les routines et les habitudes « *Curtailed behavior* » ; ii) les comportements de recherche de l'efficacité par recours à une énergie à faible coût, appelé « *Efficiency behavior* » (par exemple, par remplacement des ampoules à incandescence par des lampes à basses consommations), et iii) les investissements des consommateurs dans de nouveaux appareils économes en énergie « *Maintenance behavior* ». Il faut rappeler que Darby (2006b) avait conclu que les formes directes de feedback ont tendance à être mieux adaptées pour aider les ménages à comprendre les effets des changements dans le chauffage des locaux et l'effet des investissements dans de nouveaux appareils et des mises à niveau de l'enveloppe de leur habitat (isolation des cloisons, fenêtres double-vitrage, etc.).

En ce qui nous concerne, la durée de notre expérience, bien que constituant l'une de celles qui ont eu la plus grande durée par rapport à celles qui ont été listées à travers l'analyse de la littérature, ne nous a pas permis de montrer à quel moment les ménages peuvent se déclarer prêts à renforcer leur « *Efficiency behavior* » et à enclencher un comportement de « *Maintenance behavior* » afin d'aller encore plus loin dans la maîtrise de leur consommation d'électricité et par conséquent dans leur démarche affirmée de réduction des émissions de GES induites par leur mode de consommation .

Très peu d'études se sont attachées à évaluer la persistance des effets des feedbacks sur les populations. Les travaux de Vassileva *et al.*, (2013) ont montré qu'en Suède même si le feedback peut contribuer à la réduction de la consommation d'énergie des ménages, il n'est pris en compte que par les ménages réellement intéressés par l'économie d'énergie. C'est d'ailleurs ce désintéressement qui constitue l'une des raisons majeures qui a été à l'origine de l'effet rebond qui s'est traduit par un report des gains sur la facture d'électricité vers l'achat de nouveaux appareils électroménagers qui ont relancé la consommation d'électricité, soit l'effet inverse de celui qui était attendu par les différents programmes de maîtrise de la demande, mis en œuvre par les autorités depuis des décennies et pilotés par l'Agence française de maîtrise de l'énergie AFME (devenue plus tard ADEME).

Malgré l'importance des résultats de notre expérience (qui a été bien au-delà des expériences déjà menées en France) qui a eu recours à une combinaison de trois types feedback dont deux sont fournis par un équipement installé au domicile des ménages, nous pouvons dire que la pérennité du « *Curtailment behavior* » lui-même n'est pas assuré, dans la mesure où **il y a un risque de relâchement, voire d'abandon des acquis de l'expérience**. Nous avons montré, dans un document de travail faisant l'objet d'un article en cours (Kendel *et al.*, 2015) que le « *learning by looking* »⁵⁰ est une démarche qui permet au ménage de **voir en permanence et à proximité les instruments de mesure** de sa consommation **afin d'assurer au mieux l'apprentissage, l'assimilation et l'acceptabilité du feedback** (Cf. Annexe 1).

La perte d'enthousiasme ou la lassitude devraient donc être clairement cernés par d'autres travaux de recherche, à l'aide d'expérience de durées plus longues que cette présente recherche. Comme nous l'avons vu dans la section 3.1 certains programmes avaient déjà mis en lumière le manque d'intérêt d'une partie de la population pour les appareils de feedback, une fois les premiers mois d'utilisation écoulés, bien que la plupart des programmes cités dans la littérature n'aient duré que quelques mois.

Il est donc clair que **le maintien des efforts de réduction de la consommation énergétique ne peut se faire que si le dispositif de feedback est prolongé**. Le simple retrait de l'installation de feedback (*display*) du foyer peut amener le ménage vers un retour progressif à ses anciennes pratiques (habitudes), malgré les changements de comportement et la prise de conscience de leur impact durant toute la période de notre expérience. La durabilité des résultats dépend donc de la durée d'assistance, pour pérenniser les flux d'information délivrée et l'adoption définitive des nouveaux comportements ciblés par les feedback, tout en espaçant les rencontres avec les ménages (en ayant plus recours aux technologies de l'information, conviviales mais distantes), de manière à **laisser le citoyen jouer pleinement son rôle d'acteur économique à même de gérer simultanément son mode de consommation et son budget**.

C'est ce qui nous permet d'affirmer que **si la pérennisation du feedback permet d'éviter l'effet d'abandon des bonnes habitudes acquises, le risque d'un retour à l'effet rebond existe et que des travaux de recherches devraient s'orienter vers le suivi des décisions relevant de la gestion budgétaire des ménages**, de manière à ce que les gains sur

⁵⁰ Auquel nous avons consacré un article en cours de publication et joint en Annexe 1

leur facture d'électricité soient reportés vers le déclenchement du processus de leur *Efficiency behavior*, puis de leur *Maintenance behavior* et non vers l'achat d'autres équipements qui relanceraient en hausse leur consommation d'électricité, annulant ainsi les gains obtenus.

Tels pourraient être deux axes de futures recherches, qui permettraient d'aller au-delà du premier palier de modification comportementale (*Curtaiment behavior*), de manière à aborder tous les groupes de facteurs impactant une maîtrise efficace et totale de la demande électrique résidentielle, tels que décrits dans la Figure 3. 1, et particulièrement le groupe « logement » qui nécessite des prises de décisions d'investissements, qui auraient non seulement des impacts positifs à l'échelle individuelle du ménage, mais également au niveau de la valeur-ajoutée du secteur du bâtiment et de l'emploi qu'il génère.

Nous terminons cette conclusion par une recommandation à l'endroit des acteurs publics (région et collectivités locales) et des industriels. L'expérience menée à Biot pourrait faire l'objet d'une duplication dans d'autres communes de la Région PACA et au niveau national, par effet d'entraînement. Mais pour réunir les meilleures conditions qui permettent une dissémination de la démarche, **il y aurait lieu d'assurer l'acceptabilité de l'expérience par les ménages, en proposant des solutions innovantes de feedback direct, à coût accessible (ou soutenues par une subvention)**, plutôt que d'installer les appareils de mesure permettant de générer le feedback, puis de les désinstaller à la fin de l'expérience, ce qui constitue un risque de non pérennisation des habitudes acquises, si les ménages hésitent à acquérir ces instruments (pack smart) qu'ils ont expérimentés et auxquels ils se sont habitués.

Annexes

Annexe 1 : Article en cours de publication

What do people ‘learn by looking’ at direct feedback on their energy consumption? Results of a field study in Southern France.Adnane Kendel¹, Nathalie Lazaric¹ and Kevin Maréchal^{2,3}*1. University of Nice Sophia Antipolis, CNRS GREDEG**2. Centre for Economic and Social Studies on the Environment
Université libre de Bruxelles – Université d’Europe
Tel: + 32 2 650 33 32 Fax: + 32 2 650 46 91**3. Postdoctoral Research Fellow of the Fonds de la Recherche Scientifique-FNRS and Assistant Professor at Gembloux Agro-Bio-Tech – Université de Liège*

1. Introduction

From time to time, everyone needs feedback on their actions and especially in the context of being asked to change conduct. The need for feedback can be especially pressing when what is to be changed is invisible or ‘doubly invisible’ to use Burgess and Nye's (2008) words. This is the issue confronting policy makers faced by the need to reduce households' consumption of energy. Energy (and especially electricity) is produced in remote locations and enters the home through hidden wiring systems. Its ‘invisibility’ is reinforced by the often inconvenient positioning of the energy meter and the time lag between consumption and payment governing traditional billing systems. Household energy is not the type of commodity that is bought and then stored for later use. It is a commodity that is invisible to most of its consumers which is the reason why *smart* metering technologies are being promoted in order to ‘make energy visible’ (Hargreaves et al., 2013) to its consumers, and encourage them reflect on (and hopefully reduce) the amount consumed. This has given rise to a large literature on consumer feedback to reduce household energy consumption (Buchanan et al. 2015, Frederik et al., 2015, Vassileva et al. 2012 among others).

In a context of bounded rationality - where humans apply cognitive heuristics such as mental shortcuts rather than decision calculus when making decision (Pasche, 2014) - the challenge is not which information should be displayed, but rather “how it should be displayed and where the display device should be situated to encourage the greatest change in behavior” (Martiskainen and Coburn, 2011: 216). As Darby (2010) notes, the effectiveness of feedback as a source of learning is very dependent on the context and the nature of this feedback.

Authoritative reviews on feedback (Darby, 2006; Fisher, 2008; Ehrhardt-Martinez et al., 2010) indeed show that different types of feedback tend to produce different results, and the effect of feedback on performance is highly variable. More specifically, based on the definition in Darby (2006: 8), it seems that real-time ‘learning by looking’ is more efficient than ex-post ‘learning by reading and reflection’.

For instance, Erhardt-Martinez et al. (2010) suggests that the immediacy of direct feedback can induce annual savings of between 9.2% and 12% whereas indirect feedback leads only to savings ranging from 3.8% to 8.4%. Frequency seems to be important for efficient feedback. However, this dimension is tied closely to the medium used to provide the feedback. If indirect feedback is implemented through bills (regular or enhanced, daily or annual, general or user-specific, etc.), direct (i.e. real-time) feedback requires the use of some sort of smart device such as a meter, a display, a computer, a television, a phone, etc. ‘Direct feedback through device’ is more effective at making energy visible than ‘indirect feedback through bills’ (see also Darby, 2010 and Ofgem, 2011). The more disaggregated the data (i.e. down to the appliance level), the more efficient the direct feedback for generating energy savings (Erhardt-Martinez et al., 2010).

Thus, the key seems to be provision of useful information in an appropriate manner in order to induce some form of learning. Given that ‘in an appropriate manner’ would seem to indicate ‘in real time’, designers are proposing displays that provide effective feedback on use. These smart displays, which can be defined “a collection objects arranged for public viewing”, could trigger learning since they activate peripheral perception capabilities and, notably, situational awareness of humans in a context of scare and rare attention (Börner et al., 2013: 426).

Since learning is claimed to be the rationale behind the promotion of feedback mechanisms, the learning dimension is the analytical focus of our study. We focus on peak-load shifting, not to compare it with energy savings, but taking it as the key to generating effective energy savings. We agree with Erhardt-Martinez et al. (2010) that programmes focused on peak load shifting tend to generate less energy saving. However, our results suggest that the ability to shift is crucial for understanding the variability in the savings induced in an experiment focused on energy reduction.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 presents the context of the data collection and our methodological approach. Section 3 describes the multiple linear regression used to test some potential changes and their triggers in electricity consumption. Section 4 discusses results by exemplify what consumers have learnt directly with the feedback and indirectly by their engagement in the experience. Diverse forms of learning are observed according to their belonging to various groups. Learning by looking is a significant result that is explained pointing to the importance of fine-tuning i.e; the fact that the feedback should be at a sufficient level of detail and customized to the receiver may induced diverse ways to change energy practices (Ek and Söderholm, 2010).

2. Background and approach

Although a quick reading of the main insights in the literature on feedback during the first decade of this century would seem to suggest greater efficiency of real-time and detailed information and related use of a device, a detailed reading of those important studies in the field (Darby, 2006; Martiskainen, 2007; Steg, 2008; Fischer, 2008; Carroll et al., 2009; EPRI, 2009; Erhardt-Martinez et al, 2010) show the difficulty of being conclusive regarding what makes an efficient feedback. This is mostly due to the diversity of the methodologies employed, which make comparison more difficult. Sample sizes vary, not all analyses include a control group, the time periods covered are different, etc. For instance, Erhardt-Martinez et al. (2010) have shown that mean savings are higher for shorter studies than for longer ones.

Somewhat more fundamental is the fact that the type of feedback implemented is not always clearly defined and quite often is coupled with other interventions (e.g. rewards, personal advice, commitment strategies, etc.) rendering post-hoc assessment regarding the specific contribution of feedback rather

difficult. As will be shown, what our study adds to this picture is that the alleged 'neutrality' of what a control group experiences does not seem to be easily warranted in reality.

Obviously, the study recruitment process also has an impact on the results. This might seem a secondary issue given that, in most studies, the targeted individuals are motivated, leading to a generalized sample bias. However, it is an important factor given that we can see a correlation between the type of study programme and the type of feedback. 'Opt-out' programmes somewhat unexpectedly involve higher participation rates and lead to lower savings and are typical of indirect feedback such as enhanced billing or web-based audits. 'Opt-in' programmes tend to attract fewer participants and are typical of display-type feedback trials.

All these elements add to the variability due to contextual factors (climate, energy infrastructure, geography, culture, etc.) and socioeconomic characteristics (age, income, level of electricity consumption) which has been documented in review studies (Fischer, 2008; Carroll et al., 2009; EPRI, 2009; Erhardt-Martinez et al, 2010). In addition, the effectiveness of a given media-frequency pairing will vary with the content and format (i.e. how the information is presented) as illustrated in Carroll et al. (2009:10) who speak about the 'appeal' of feedback.

Overall, it is difficult to draw any general conclusions beyond the robust and well documented fact that the amount of savings tends to increase with the frequency and precision of the information that is fed back to consumers. Nevertheless, it seems obvious that an 'efficient feedback' means something quite different pending on the targeted household. Consumer preferences do matter (see Vassileva et al., 2012).

However, although there is a consensus that there is no 'one size fits all' feedback solution (Hargreaves et al., 2010; He et al.,), and that feedback should be tailored (Ek and Söderholm 2010, Vassileva et al., 2012), there is no conclusive information on consumer preferences with respect to the design of the interface through which the feedback is provided⁵¹. The picture is even less clear in relation to insights on how feedback is appropriated and integrated into consumers' lives⁵². Interestingly, Krishnamurti et al. (2013) show that satisfying the preferences of consumers regarding the type of information they want to receive (i.e. expressed in dollar units) is not equivalent to providing them with information (i.e. expressed in kWh units) which seems the most effective in encouraging learning and generating energy savings. The preferred feedback is not equivalent to the most efficient for individuals.

In sum, the above tends to support the choice of an analytical focus on how feedback is appropriated and used by people, and what type of learning this induces. This is the rationale of the analysis discussed in this paper. Bearing in mind the various potential limits and restrictions discussed above, we conducted an experiment called TICELEC to test the power of diverse sources of feedback for enabling citizens to learn and to make sense of their consumption. The experiment was conducted in Biot, a wealthy municipality close to Nice/Sophia Antipolis in Southern France. For several decades, Biot has run projects aimed at raising ecological awareness among households, and encouraging sustainable practices such as waste reduction and consumption of locally-produced food. Thus, the municipality could be perceived as credible and trusted by its citizens. As discussed in Gangale et al. (2013), this clearly is of

⁵¹ There are some interesting studies on users' preferences such as Karjaleinen (2011) or Bonino et al. (2012). The latter shows, for instance, that color-based feedback is appreciated. However, the results are of a general nature (and thus not segmented) and taken from a prospective questionnaire. The surveyed individuals did not possess the in-house display which they were questioned about. The issue of efficiency of the preferred options is thus not dealt with.

⁵² A notable exception are the papers by Tom Hargreaves and colleagues (see Hargreaves et al., 2010, 2013).

importance as the installation of the enabling infrastructure is not always sufficient to trigger behavioural change.

2.1 The TICELEC team

The project was overseen by academics from the University of Nice Sophia Antipolis and involved three other main actors: a start-up called Ubinode, the municipality of Biot, and the OFCE (The French Economic Observatory). The division of labour was as follows. The academics and the OFCE were responsible for designing the experiment and informing households about potential energy savings. The municipality of Biot was responsible for communications and recruitment of participants. Ubinode provided the energy-monitoring devices to measure electricity consumption (i.e. smart equipment with ergonomic interfaces for home computers).

The project was launched on 1 April 2011 and ended officially on 24 May 2013. It included several phases:

- Recruitment of households, meeting with households, and their assignment to different groups;
- Installation of the energy-monitoring devices;
- Collection of consumption data;
- Testing and treatment of results.

2.2. Recruitment phase

Biot is small municipality with a population of about 7 000 inhabitants, all of whom potentially could be involved in the experiment. A large number of its inhabitants are employed in the high-tech Sphipolitan cluster, which is specialized in the health and information and communication technology (ICT) sectors. Socio-economic variables (e.g. education and income) show the high levels of income and education per capita compared to the regional mean. Table 1 shows that 67 % of participants in our sample are high grade professionals such as engineers, administrators, and managers, and the income per capita is high.

Table 1 : Socio-Professional Category

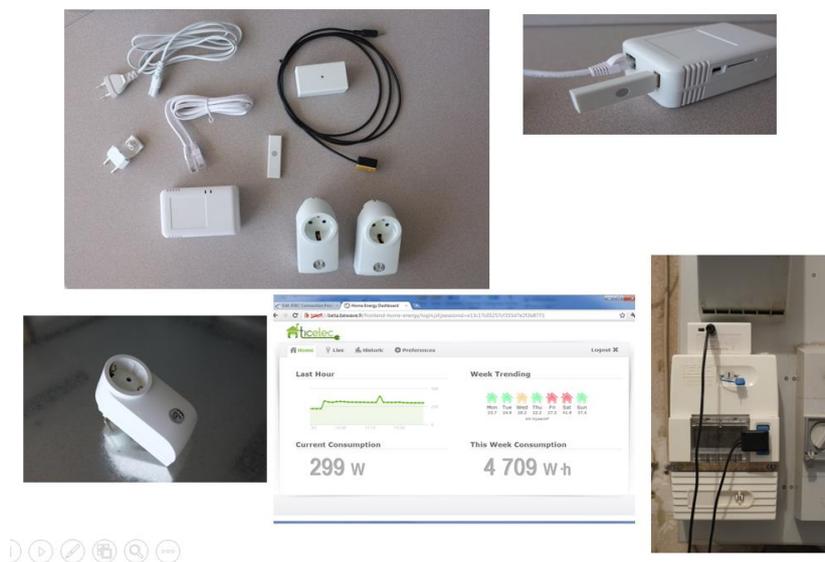
(Cf. Tableau 2. 1 : Catégorie socioprofessionnelle page 57 de la Thèse)

This specificity is important because of potential effects on the income elasticity of households' electricity consumption (see Espey and Espey, 2004 for a discussion of these aspects). However, it does not detract from the study since, as discussed in Gangale et al. (2013), targeting some segments of the population might prove essential for enriching our knowledge about the impacts of feedback-based intervention.

The recruitment phase ran from 2 April to 30 September 2011. The municipality provided various communication resources including displays, website, magazines, social networks, and educational leaflets. The municipality's commitment was important, and the information disseminated through press releases and flyers distributed to households exemplify its involvement and partnership in the project. The flyers did not specify whether participating households would be able to save energy or not, in order to avoid inducing self-selection bias. Following this information phase, 172 households volunteered to participate and were enrolled in the TICELEC project.

In line with the procedure in Krishnamurti et al. (2013), we administered a short survey to the participating households in order to identify the type of electricity meter in the accommodation, and to check the distance between the Internet connection and the meter. Collection of the questionnaires was completed by 1 October 2011. This led to validation of a sample of 141 households, which were assigned to one of three groups: self-monitoring (group 1), real time feedback (group 2), and real time plus feedback (group 3). Separate meetings were held with each group on 18, 19 and 20 October 2011. The energy-monitoring devices were provided to groups 2 and 3 on 19 and 20 October. They consisted of a web application and sensors, which could be installed in various locations around the home and would provide feedback representing near “real-time information” on general consumption (in the Group 2), and detailed information or “real time plus” feedbacks related to individual appliances (in the Group 3). The energy-monitoring devices provided to G2 and G3 are depicted in Figure 1.

Figure 1 : The energy-monitoring device for G2 and G3



2.3 Installation of the energy-monitoring device (EMD)

During end October 2011 to end December 2011 the energy-monitoring equipment was installed and connections provided. At this stage, only 124 households were participating in the experiment; some promises to join the project were not followed by action, and, in some cases, personal situations or external contingencies (e.g. moving house) caused some participants to drop out of the experiment. On 1 January 2012, a second short questionnaire was administered. This included more specific questions on the type of housing, consumption habits, household composition, and attitudes to environmental issues and sustainable development. At the same time a data collection period of 8 months started. During this period, some households left the project for family reasons (moving, divorce, other), technical reasons (sensors that did not transmit the information due to the thickness of the concrete walls despite compliance with the recommended maximum distance of 20 meters between the broadband router and the meter), or lack of motivation. This reduced the number of households to 80. During this stage, households were invited to attend a meeting held on 26 June 2012. Most of the audience were from group 1. The questions posed and interventions made during this meeting reflected some frustration over the lack of information on consumption despite the self-monitoring procedure implemented for households in group 1 (see below).

2.4 Final questionnaire and observation of potential changes

After the period of data collection, the 80 remaining households received the end-of-study questionnaire which asked about their use of equipment, the changes that had been made to their homes or the composition of their household, their level of satisfaction with the feedback received, and potential changes to habits. Only 65 questionnaires were complete and consistent enough to be used decreasing the number of our sample to 65 households, distributed as follows:

- 35 households with a simple self-monitoring meter reading and no equipment;
- 14 with direct feedback type "real-time";
- 16 households with direct feedback type "real-time plus".

The project was officially closed on 24 May 2013 with a meeting between participating households and the project funders, at which the results of the test phase from 1 January 2013 to 24 May 2013 were presented. The timeline is summarized in Figure 2:

Figure 2 : Project development

(Cf. Figure 2. 1 : Déroulement du projet page 49 de la thèse)

2.5 Methodology of our sample and creation of groups: G1, G2, G3

Our final and (retained) sample is 65 households split into three sub-samples.

-Group 1 is the control group with self-monitoring, consisting of a set of participating households which were not given real time feedback, but were asked to read their meters every two months and to report their consumption.

-Group 2 comprising households where the energy-monitoring device was incorporated into the general meter allowing "real time" feedback. More precisely, households were equipped with an interactive ICT that allowed them to track their "real time" electricity consumption (metered every 2 minutes) or less frequently (hourly, weekly, and monthly).

- Group 3 was given with the same equipment as G2, and also two nomad captors, which provided feedback on up to two appliances of the household's choice at "real time plus". This group received the most detailed information on their energy use.

Thus, we have a control group (G1: the self-monitoring group) and two equipped groups (feedback groups: G2 and G3). We tried to allocate the sample randomly with the exception of three cases where households were not able to participate in G2 or G3 because of the type of electricity meter. These participants (without digital meters) were assigned to the control group G1.

3. Presentation of the results

To see the potential impact of the energy-monitoring device, we test the difference in energy consumption within groups at the beginning and end of the experiment. We used multiple linear regression to analyze the changes in the endogenous variable (power consumption) associated with variations in several exogenous variables (income, socio-professional group, etc.) plus the feedback variable.

So electricity consumption as partially dependent from feedback to households can be represented as follows:

$$C_t = \beta_i X + \delta FB + \varepsilon \quad (1)$$

The dependent variable C_t represents the household's electricity consumption expressed in (kWh), X represents the row vector of variables characterizing the households (quantitative or qualitative), β and δ are vectors of the parameters to be estimated, and ε is an error term. FB is the role played by direct feedback during the TICELEC experiment.

$$\Delta C_t = C_0 - C_1 \quad (2)$$

Firstly, consumption observed: C_1 , is the consumption recorded over the period of the experiment (more precisely during year 2012). Secondly, we notice the difference in consumption between 2012 and 2011. C_0 : is the year 2011, the period immediately prior to the experiment. This allows us to quantify the potential reduction in electricity consumption and to confirm (or not) the impact of the feedback. The difference between the two periods is denoted ΔC_t :

We conducted a quasi-randomized assignment among households which resulted in a new function:

$$C_t = \beta_i X + \delta FB_w + \varepsilon \quad (3)$$

where the variable FB_w describes the allocation of households to different groups: self-monitoring or direct feedback. This choice is modeled as a standard treatment equation as follows:

$$FB_w = \gamma Z + \mu \quad (4)$$

with: $\begin{cases} FB_w = 0 & \text{if Self Monitoring procedure} \\ FB_w = 1 & \text{if Direct Feedback} \end{cases}$

where Z is a variable line vector influencing the allocation choice for the household, such as Internet access (required to check the energy-monitoring device), the distance between the internet connection and the electricity meter (if the distance is more than 20 meters, the connection between the sensor and the plug may be more difficult), and the type of meter (only electronic meters have this technical option and counter wheel meters cannot be fitted with a smart device) transmitting frequency of consumption, γ is a vector of parameters to be estimated, and μ is the error term.

We built a regression across our sample in order understand the impact of the TICELEC project on the whole sample, and then deal with the regression type across our different groups: G1 and G2+G3 ($FB_w = 0$ et $FB_w = 1$).

Regarding the explanatory variables (VAR), here we present the different variables included in our model:

- VAR environmental concern: Environmental values and preferences have been discussed extensively as a potential driver of energy consumption and potential behavioural change (Brandon and Lewis 1999; Poortinga et al, 2004). The environmental preference and belonging to a green non-governmental association (NGA) is captured here by the variable (**GREEN**).

-VAR dwelling. The type of the household's dwelling (house, flat, mobile home, etc.) is not neutral. In relation to energy practices, Sweeney et al. (2013) explain that high installation costs associated with energy appliances and whether the time of residence in the current home is sufficiently long to enable benefit from the investment, or whether the household is renting, and the amount of discretionary income, can be important barriers to good energy behavior. Here, we include living in a house (**HOUSE**) and being a house owner (**Owner**) as critical for observing potential -qualitative or quantitative changes in energy practices.

-VAR Housing characteristics. Some home characteristics influence energy practices and may explain electricity consumption (Gram-Hanssen and Bech-Danielsson 2004; Gram-Hanssen 2014). Following Gram-Hanssen 2014, the size of the house is included as an explanatory variable rather than measuring electricity consumption per square meter. Thus, we select the size of the house (Surf) and the presence of a garden and pool (**Pool/Garden**) as potential variables acting on electricity consumption.

-VAR Habits: Habits or practices associated with some appliances. Some habits may be deeply entrenched and related to certain frequent and repeated behaviors (Maréchal and Lazaric, 2010; Maréchal, 2010). They are embedded and related to lifestyles and may be shared by certain groups, for instance, the action of switching off computers and other appliances when they are not in use (Laitner, et al., 2009a). Here we include simple practices such as extinguishing lights in empty rooms (**light off**), using Standby mode after use (**standby**), and better use of the peak load shifting allowing a potential qualitative change in energy habits and a potential learning (**Peackloadshift**).

- VAR Occupant characteristics. The number of people in household (adults and children) is a non-neutral variable and relate to everyday habits if the families (Gram-Hanssen, 2014). The generational impact of age has been discussed (Chancel, 2014). In our econometric test, we retain different types of people (**Adult**) and (**Child**) as explanatory variables.

-VAR Equipment: energy consumption of households is a socio-technical phenomenon, resulting from interactions between the consumer and the technology (Lutzenhiser, 1993; Wilhite, et al., 1996). Identifying the nature of the equipment (e.g. electric heating, heating of water, space cooling, appliances, lighting, and ICT, etc.) is critical for being able to understand energy habits. We include adoption of efficient light bulbs (**efflights**), the presence of electric heating (**ELECHEATING**), and the adoption of electric mode for cooking (**ELECOOKING**).

-VAR Socio-economic status and income. The desire to demonstrate income can promote unsustainable consumption (à la Veblen) or new ways of consuming which are 'greener' (Buensdorf and Cordes, 2008; Viscusi *et al.*, 2011). It has been shown that the variable income is positively related to energy consumption. First, the fact that the cost of energy is less of a driving force in higher income households due to fewer economic incentives has been discussed (Martinsson *et al.*, 2011: 23). For instance classical incentive systems, such as tariffs, may be less relevant in this field. Second, Vassileva et al. (2013) show that high income may react more intensely to feedback. They may have more opportunities to reduce their electricity consumption and they may be less subject to the rebound effects. For these reasons, we select income as a potential driver of energy consumption (**INCOME**) along with socio-economic status (**sociogroup**).

In equation (3) we replace the variable X with the selected explanatory variables:

$$\begin{aligned}
C_1 = & \beta_0 + \beta_1 \text{GREEN} + \beta_2 \text{HOUSE} + \beta_3 \text{OWNER} \\
& + \beta_4 \text{SURF} + \beta_5 \text{Pool/GARD} + \beta_6 \text{ADULT} + \beta_7 \text{CHILD} + \beta_8 \text{INCOME} \\
& + \beta_9 \text{standby} + \beta_{10} \text{LightOFF} + \beta_{11} \text{Peakloadshift} + \beta_{12} \text{efflights} \\
& + \beta_{13} \text{ELECHEATING} + \beta_{14} \text{ELECOOKING} + \beta_{15} \text{INCOME} + \beta_{16} \text{sociogroup} \\
& + \gamma \text{FB}_W + \varepsilon
\end{aligned}$$

To analyze the reduction in electricity consumption during the experiment (see equation (2)), we obtain:

$$\begin{aligned}
\Delta C_t = C_0 - C_1 = & \beta_0 + \beta_1 \text{GREEN} + \beta_2 \text{HOUSE} + \hat{\alpha}_3 \text{OWNER} \\
& + \beta_4 \text{SURF} + \beta_5 \text{POOL/GARDEN} + \beta_6 \text{ADULT} + \beta_7 \text{ECHILD} + \beta_8 \text{INCOME} \\
& + \beta_9 \Delta \text{standby} + \beta_{10} \Delta \text{lightOFF} + \beta_{11} \Delta \text{Peakloadshift} + \beta_{12} \Delta \text{LBC} \\
& + \beta_{13} \text{ELECHEATING} + \beta_{14} \text{ELECOOKING} + \beta_{15} \text{INCOME} + \beta_{16} \text{CSP} + \gamma \text{FB}_W \\
& + \varepsilon
\end{aligned}$$

The results of our econometric regression are in Table 2 and Table 3.

Table 2 : Presents the descriptive variable of our sample

(Cf. Tableau 3. 3 : Statistique descriptive entre les années 2011 et 2012 page 97 de la thèse)

Table 3 : Tests the explanatory variables described in our equation 2.

(Cf. Tableau 3. 4 : Régression de la fonction de réduction de la consommation entre les années 2011 et 2012 page 98 de la thèse)

Our results show that all groups reduced their electricity consumption very significantly. The group, G1, reduced its consumption by 13% (1078 kWh), G2 by 22,3 % (1783 kWh), and G3 by 23,3% (1867 kWh) whereas during the same period region PACA and the department of Alpes Maritimes reduced its consumption from 1% . These results are significantly higher compared to other studies and especially for G1. For this latter, we were not expected to achieve such a large reduction.

Results in Figure 3 show that feedback plays a moderate role in decreasing electricity consumption. More precisely, feedback is not the only variable affecting it affecting electricity consumption; housing characteristics are critical and very significant for reducing consumption.

Figure 3 : Comparative Household consumption (2012/2011) in kWh

(Cf. Graphique 3. 1: Consommation comparée des ménages (2012/2011) en kWh page 83 de la thèse)

As expected, classical variables such as electric heating are important for explaining reductions in electricity consumption while other variables such as the socio economic group and notably the fact of belonging to a socio economics group matters and is positive for employees. Conversely belonging to a green association does not seem to be significant for triggering change in electricity consumption.

A crucial but somewhat puzzling result from the econometric analysis is the apparent importance of peak-load shifting practices for explaining the variability of the savings between 2011 and 2012. In order to better understand this impact, it was necessary to further explore the links between peak-load shifting and the type of feedback provided. As shown in Figure 4 and Figure 5, there appears to be a strong

difference between G2 and G3 regarding the practice of peak-load shifting. As will be discussed below, this variable is best understood as a ‘marker’ of (induced) learning (i.e. since adopting such a practice requires some knowledge acquisition).

Figure 4 : Change in household consumption behavior with direct feedback "Real Time" (Comparing March and July 2012)

(Cf. Graphique 3. 5 : Changement du comportement de consommation des ménages avec Feedback direct « Real Time » (Comparaison Mars et juillet 2012) page 104 de la thèse)

Figure 5 : Changing household consumption behavior with Direct Feedback "Real Time Plus" (March Comparison and July 2012)

(Cf. Graphique 3. 6 : Changement du comportement de consommation des ménages avec Feedback direct « Real Time Plus » (Comparaison Mars et juillet 2012) page 105 de la thèse)

4. Discussion of the results

Learning by looking

Overall, our results are fairly positive. Participants reported a positive experience from their participation and seem to be really engaged, i.e. our project has to a certain extent succeeded to build trust among participants to overcome potential resistance to new technical device and has empowered consumers to become active energy customers (see for a similar point of view Gangale et al., 2013; Verbong et al., 2013). As far as feedback mechanisms are concerned, one aspect which might explain the positive outcome is that almost 90% of the people in both feedback groups mentioned being willing to look at and understand the ‘structure’ of their consumption. In short, it seems that detailed feedback helped individuals in G2 and G3 to ‘make sense’ of their consumption (Berker, 2013) and to understand their practices and their potential actions in more depth. As emphasized elsewhere “*carefully designed feedback could enable users to readily understand the habits and routines that generate their household patterns and thus make more concrete the viable energy saving actions available to them*” (Buchanan et al., 2015: 94). Learning does indeed appear to be crucial as suggested by the importance of peak-load shifting in explaining the results of table 1. Moreover this learning was not subjected to a rapid decline contrary to other experimental design where behavioural changes in peak period do not persist over in the long term (Houde et al., 2013).

What is argued in this paper is that the type of feedback provided in G3 was more effective for inducing learning.⁵³ As a G3 participant explained in a meeting “*with your device I suddenly realized what was the problem with my consumption: my immersion heater that has both a thermostat problem and a permanent scaling state impeding the consumption to be at a normal level...without your captor I could have discovered by myself but for sure after a long period of time*”.

Although our results confirm the greater efficiency of more sophisticated feedback (i.e. and thus a positive impact of learning on energy savings), they are not striking, and the magnitude of the impact is

⁵³ In line with the elements discussed in Hargreaves et al. (2012), it should be noted that this was only possible because the FB fitted into and was adjusted to the everyday life practices of the surveyed people. Only a few individuals from the G3 group perceived the setting to be intrusive and only 3 were dissatisfied with the equipment.

small when energy savings in G3 are compared to those achieved in G2. There must be something more to learning than the sole fact of being able to move nomad captors. In order to approach learning through another angle, we look at the number of connections on the web-based platform (i.e. which was available for both types of feedback). Table 4 indeed confirms the interest of this variable and shows that, within the sample including individuals from G2 and G3, those with a higher number of connections than *the modal split reduced their energy consumption more on average. In line with our expectations, table 3 shows also that the average number of connections is almost 20% higher in G3 than in G2 (108 vs 91).*

Table 4 : Impact of connection on consumption reduction

	Connections on the web-based platform				The average reduction of consumption (Kwh)	
	Min	Max	Average	Median	< Median	> Median
TicElec	1	478	100.56	50	2566.31	1667.21
Real-Time Feedback	7	478	91.28	38.5	1779.85	1348.14
Real-Time Plus Feedback	1	372	108.68	81.5	3299.75	2013.5

In line with our line of argumentation, considering learning through the number of connections is more relevant when analysed in relation to our key variable of peak load shifting. However, it should be noted that the following analysis should be seen as qualitative since it operates through contrasting sub-samples of a very low-size. Although this requires that our interpretation be taken very cautiously, it seems nonetheless insightful to report. As already mentioned in figures 3 and 4, the shift in G3 is more effective than in G2. Also, there is a larger proportion of the G3 group which shifts (14/16 for G3 and 9/14 for G2). Coupling information on peak load shifting with activity on the web-based platform, it appears that the G3 shifters show many more connections (117) than both the G2 shifters (43) and the non-shifters in G3 (47). However, the highest average number of connections (176) is to be found in the non-shifters of G2. A possible interpretation of these results is that the possibility of checking the energy consumed by individual appliances (i.e. only in G3) resulted in a majority of the individuals in G3 learning to shift more to off-peak consumption. This successful shifting seems to have happened alongside a high number of connections which suggests an active search for rationalisation, appliance by appliance. In contrast, this route was not available for individuals in G2. Those who would have needed more information to successfully learn about the interest of shifting could not access it despite a high frequency of connection.

In sum, the higher proportion of shifters in G3 and the higher ‘quality’ of their shifting (depicted in the March-July curves) suggest a higher level of learning enabled by the more sophisticated feedback. Although this translated into only a moderately higher rate of energy savings (23, 2 % vs 22,2%), the higher degree of actively acquired knowledge (i.e. through ‘learning by looking through connecting’) might lead to a qualitatively distinctive type of energy savings. One direction for further research would be to assess whether this process leads to savings that are more persistent through time.

Indirect learning without direct feedback

The results of our experiment show that all participants reduced their consumption and learnt directly from feedback or indirectly through self-monitoring. As discussed elsewhere disinterested consumers is one of the main critical issue of feedback devices as the consumers’ attention may vanish with time may rarely persist over a long period: “*given that the success of feedback depends on user engagement, this loss of interest is detrimental and may severely hamper the likelihood that IHDs will result in energy reductions that persist in the long term*” (Buchanan et al., 2015: 91). In this context, consumers in G1 may have been frustrated and disinterested from this experimentation as they have not received any

concrete equipment for triggering learning. On the contrary all our groups were fully engaged and their attention was maintained. One of the reason is that the team was perceived as trustworthy. Indeed as discussed elsewhere, trust and more precisely “integrity-based trust” is a necessary condition for (and a probable a consequence of) the experiment generating energy savings because *“If the source of a message seems untrustworthy, unfair or incompetent, people can be wary or sceptical and either disengage, or react defensively to the information »* (Frederik et al., 2015: 1388).

In addition, we observed active and real engagement of users to make sense and achieve a better understanding of their practices. Our results suggest that learning can occur without feedback through empowerment and involvement in a learning process. Thus, Ticelec was perceived as a big project which attracted and retained the attention of citizens. All participants - with or without technologies - made their best efforts during the experiment to overcome potential frustrations (as noted in relation to G1) and to sustain their prior motivation. This result can be connected with one of the conclusion of Fischer (2008) where it is mentioned that the most efficient feedback interventions are those coupled with other policies. Here, the involvement of the municipality seemed to have played this role in informing and motivating participation. Participants were also active during meetings especially those from G1 who tried to obtain information on energy practices and discussed this with other participants. This triggered a kind of indirect learning and allowed participants to make sense of daily energy consumption. G1 included highly intrinsically motivated participants able to reduce consumption by 13% without any feedback. G2 and G3 showed both intrinsic and extrinsic motivation and an ability to understand the detailed feedback which induced both a change of practices and a substantial reductions of their energy consumption. Thus, all groups learnt, and groups 2 and 3 made significant and visible changes to their energy practices.

Learning to reduce conspicuous consumption

Learning is context dependent and should be adapted according to household’s characteristics. Vassileva et al. (2013) show for instance that it is critical to identify households with larger savings potential that could be more able to reduce their electricity consumption because the same experiment may vary greatly according to the socio economic profile of each group. Our result echoes with this finding as our sample is characterized with high income and high level of electricity consumption. Thus participants with high incomes consume more but are more able to lower their consumption, because their elasticity curve concerning power reduction is more flexible (Epsey and Epsey, 2014). In short, their overconsumption can more easily be regulated if there is an intention to act in this direction. Our econometric test suggests that the size of the house plays a positive role in reducing power consumption but that the solely variable income do not seem to be a determinant one compared to the size of the house. This result which is in line with Gram-Hanssen (2014) highlight that housing characteristics matter because the size of the house may be correlated with others characteristics such as age and income. In this context our experiment had revealed some sources of overconsumption without making any judgement. Participants were made more aware of their potential waste of energy, and were enabled to make more sense of their practices but were free to learn by themselves and to act independently. However, as Veblen points out, conspicuous consumption is part of society and is entwined with various values and social norms which are difficult to change. Social norms appear to be very important, and Veblen used the term ‘conspicuous consumption’ to explain how consumption is used to gain and signal social status. An important point here is that consumption integrates a potential element of waste (waste of time, effort, and of goods) (Veblen 1899: 85). This means that individuals and groups are unaware of some conspicuous consumption because it is built into their daily lives, a way of consuming part of their history, and their social way of behaving. This issue is critical for a better understanding of “sustainable consumption” and its effective implementation. The results of our experiment support this argument and

show importance of taking account of participants' personal characteristics in providing feedback, in order to take account of diverse segments of the population which may exhibit diverse levels of involvement according to their personal profiles (see Fisher, 2008 ; Gangale et al., 2013, Vassileva *et al* 2013, for a similar view).

Conclusion

The results of our experiment show that all participants reduced their consumption and learnt directly from feedback or indirectly through self-monitoring. The amount of energy saving, which is higher comparing to similar experiences, may be explained by two main arguments. First, the specificity of our sample enabling a potential energy saving. Second, a high involvement of our participants and an important trust that has been built. Learning is context dependent and should be adapted according to household's characteristics. Indeed, each experiment may vary greatly according to the socio economic profile of each group. Our sample is characterized with high income and high level of electricity consumption. Learning in this context has many shapes: "learning by looking" with direct feedback that has proved to be very efficient. This latter has been reinforced by an indirect learning through social emulation and increase motivation and enrolment for G1. Participants in G1 have indirectly learnt by trying to control themselves their power reduction. Thus indirect learning without direct feedback and technologies should be highlighted as an enabling condition for future experiences. This kind of learning highly dependent on initial conditions and trust building, difficult to replicate should be scrutinized more deeply for having a better understanding of behavioural change and energy reduction.

References

- Berker, T., 2013. "In the morning I just need a long, hot shower": a sociological exploration of energy sensibilities in Norwegian bathrooms. *Sustainability: Science, Practice, & Policy* 9 (1), 57-63.
- Bonino, D., Corno, F., De Russis, L. 2012. Home energy consumption feedback: a user survey. *Energy and Buildings* 47, 383-393.
- Börner, D., Kalz, M., Specht, M. 2013. Beyond the channel: A literature review on ambient displays for learning. *Computers & Education* 60, 426-435.
- Buensdorf, G., Cordes, C., 2008. Can sustainable consumption be learned? A model of cultural evolution. *Ecological Economics* 67 (4), 646-657.
- Buchanan, K., Russo, R., Anderson, B. , 2015, The question of energy reduction: The problem(s) with feedback, *Energy Policy*, 77, 89–96
- Burgess, J., Nye, M., 2008. Rematerialising energy use through transparent monitoring systems. *Energy Policy* 36, 4454–4459.
- Carroll, E., Hatton, E., Brown, M., 2009. Residential energy use behavior change pilot, Research study No. CMFS project code B21383, USA: Franklin Energy.
- Chancel, L., 2014. Are younger generations higher carbon emitters than their elders? Inequalities, generations and CO2 emissions in France and in the USA. *Ecological Economics*, 100, 195-207.
- Darby, S., 2006. The effectiveness of feedback on energy consumption, A review for DEFRA of the literature on metering, billing and direct displays. UK: Environmental Change Institute, University of Oxford. <http://www.eci.ox.ac.uk/research/energy/downloads/smart-metering-report.pdf>
- Darby, S., 2010. Literature review for the Energy Demand Research Project. UK: Environmental Change Institute, University of Oxford. <https://www.ofgem.gov.uk/ofgem-publications/59113/sd-ofgem-literature-review-final-081210.pdf> (accessed September 14, 2015).
- Ehrhardt-Martinez, K., Donnelly, K. A., Laitner, J. A., 2010. Advanced metering initiatives and residential feedback programs: a meta-review for household electricity-saving opportunities (No. E105). USA: American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE).
- Espey, J., Espey, M. , 2004 , Turning on the lights: a meta-analysis of residential electricity demand elasticities, *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 36 (1). 65-81.
- Ek, K., Söderholm, P., 2010. The devil is in the details: Household electricity saving behavior and the role of information. *Energy Policy* 38/3, 1578–1587.
- EPRI, 2009. Residential electricity use feedback: a research synthesis and economic framework, Electric Power Research Institute, Final report No. 1016844.

- Frederiks, E.R., Stenner, K., Hobman E.V., 2015. Household energy use: Applying behavioural economics to understand consumer decision-making and behaviour, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41, 01, 1385-1394.
- Fischer, C., 2008. Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? *Energy Efficiency*, 1(1), 79-104.
- Gangale, F., Mengolini, A., Oneyyi I., 2013. Consumer engagement: an insight from smart grid projects in Europe. *Energy Policy*, 60, 621-628.
- Gram-Hanssen, K., Bech-Danielsen, C., 2004. House, home and identity from a consumption perspective *Housing, Theory and Society*, 21, 17-26.
- Gram-Hanssen, K., 2014. Existing buildings - Users, renovations and energy policy, *Renewable Energy*, 61, January, 136-140.
- Hargreaves, T., Nye, M., Burgess, J., 2010. Making energy visible: A qualitative field study of how householders interact with feedback from smart energy monitors. *Energy Policy* 38 (10), 6111- 6119.
- Hargreaves, T., Nye, M., Burgess, J., 2013. Keeping energy visible? Exploring how householders interact with feedback from smart energy monitors in the longer term. *Energy Policy* 52, 126-134.
- He, H. A., Greenberg, S., Huang, E. M., 2010. One size does not fit all: applying the transtheoretical model to energy feedback technology design. *Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems - (927-936)*. Presented at the Human factors in computing systems, Atlanta, Georgia, USA.
- Houde, S., Todd, A., Sudarshan, A., Flora, J. A., Armel, K.C., 2013., Real Time Feedback and electricity consumption: a field experiment assessing the potential for savings and persistence, *The Energy Journal*, 34, (1), 87-102.
- Karjalainen, S., 2010. Consumer preferences for feedback on household electricity consumption. *Energy and Buildings*, 43(2-3), 458-467.
- Krishnamurti, T., Davis, A., Wong-Parodi, G., Wang, J., Casey Canfield C., 2013. Creating an in-home display: Experimental evidence and guidelines for design, *Applied Energy*, 108, 448-458.
- Laitner, J. A., Ehrhardt-Martinez, K., McKinney, V., 2009. Examining the Scale of the Behaviour Energy Efficiency Continuum. s.l.:in ECEEE 2009 Summer Study: Act! Innovate! Deliver! Reducing Energy Demand Sustainably. La Colle sur Loup, France: European Council for an Energy-Efficient Economy.
- Lutzenhiser, L., 1993. Social and Behavioural Aspects of Energy Use., *Annual Review: Energy and Environment*, 18,247 -289.
- Maréchal, K., 2010. Not irrational but habitual: The importance of “behavioural lock-in” in energy consumption, *Ecological Economics*, 69, (5), 15, 1104–1114 .
- Marechal, K., Lazaric, N., 2010. Overcoming inertia: insights from evolutionary economics into improved energy and climate policies, *Climate Policy*, (10) 103-119
- Martiskainen, M., 2007. Affecting consumer behaviour on energy demand, Final report to EdF Energy, UK: Sussex Energy Group - SPRU - Science and Technology Policy Research.
- Martiskainen, M., Coburn, J., 2011. The role of information and communication technologies (ICTs) in household energy consumption-prospects for the UK, *Energy Efficiency*, 4, (2), 209-21
- Ofgem, 2011. Energy Demand Research Project - Final Analysis, June 23rd, 2011. <https://www.ofgem.gov.uk/ofgem-publications/59105/energy-demand-research-project-final-analysis.pdf>
- Pasche, M., 2014. Soft Paternalism and Nudging - Critique of the Behavioral Foundations., MRPA Working papers Jena, Germany.
- Steg, L., 2008. Promoting household energy conservation. *Energy Policy*, 36(12), 4449-4453.
- Sweeney, J., Kresling, J., Webb, D., Soutar, G., Mazzarol, T., 2013. Energy saving behaviours: Development of a practice-based model. Australia, *Energy Policy*, 61, 371-81.
- Vassileva, I., Odlare, M., Wallin, F., Dahlquist, E., 2012. The impact of consumers' feedback preferences on domestic electricity consumption, *Applied Energy* 93, 575-582.
- Vassileva, I., Dahlquist, E., Wallin, F., Campillo, J., 2013., Energy consumption feedback devices' impact evaluation on domestic energy use, *Applied Energy*, 106, 314-320.
- Verbong, G., Sengers, F., Beemsterboer, S., 2013. Smart Grids or Smart Users? Involving users in developing a low carbon electricity economy, *Energy Policy*, 117-125.
- Viscusi, W.K., Huber, J., Bell, J., 2011. Promoting recycling: Private values, social norms, and economic incentives. *The American Economic Review* 103 (1), 65-70.
- Wilhite, H., Nakagami, H., Masuda, T., Yamaga Y., Haneda H., 1996. A cross-cultural analysis of household energy use behaviour in Japan and Norway, *Energy Policy* 24(9), 795-803.

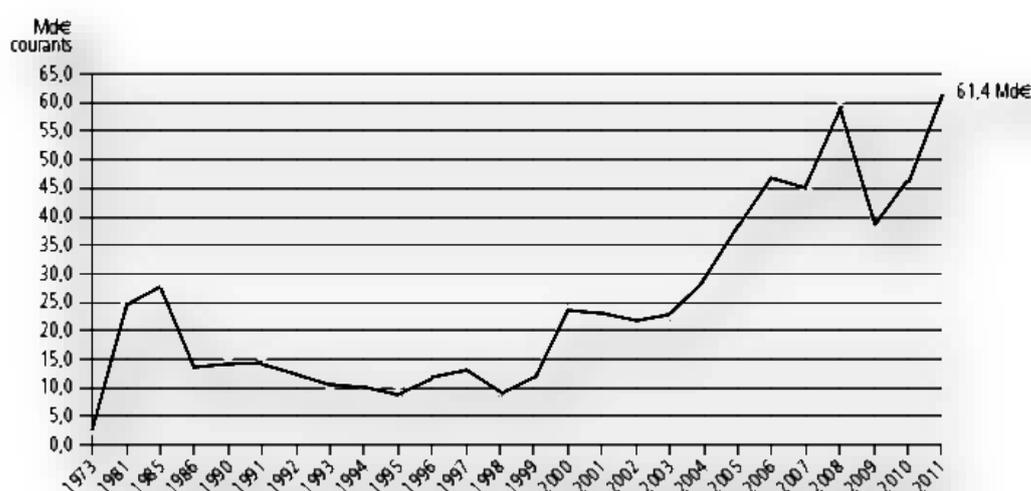
Annexe 2: Quelques projets à vocation incitative

Projet	Objectif	Taille de l'échantillon	Protocole	Méthode
Ma ville est au courant	Réduire la consommation d'eau et d'énergie	100 ménages	Diffuser de conseils personnalisés et la concurrence entre équipes	Réaliser un diagnostic énergétique personnel sur la base d'un questionnaire
Grid-Teams	Réduire la consommation électrique	30 ménages	- Feedback direct - Des incitations en nature - Des comparaisons	Fournir un feedback en temps réel sur un support smart (téléphone ...etc.)
Sensomi	Agir sur les usages énergétiques	200 ménages	Jeu multi-joueurs en ligne	Recenser les consommations d'énergie des foyers des joueurs
Défi pour la Terre	Diminuant l'impact écologique individuel	650000 individus	Encourager «10 gestes quotidiens»	-

Annexe 3: Evolution de la facture énergétique de la France (milliards d'Euros)

Antérieurement aux « chocs pétroliers » de 1973 et 1979, la consommation française d'énergie primaire⁵⁴ dépendait à 70% des approvisionnements en pétrole brut, en produits pétroliers et en gaz. Avec les hausses⁵⁵ de prix de ces hydrocarbures, le Gouvernement français a mis place un certain nombre de mesures visant la maîtrise des consommations et la diversification des sources d'énergie utilisées, pour faire face à la dépendance en importations d'hydrocarbures et pour réduire le montant de la facture énergétique que paye la France pour ses importations et qui sont en augmentation constante.

Evolution de la facture énergétique de la France (milliards d'Euros)



Source : (ADEME, 2012)

⁵⁴ Ensemble des produits énergétiques destinés à être utilisés tels quels ou après transformation.

⁵⁵ L'évolution des prix du pétrole entre 1973 et 2003 a été marquée par : i) le premier choc pétrolier en 1973, qui a porté le prix du baril de 3 à 13 dollars en France ; ii) la deuxième crise pétrolière, en 1979 qui a vu le prix du baril passer de 13 à 30 dollars, puis à 103,76 dollars ; iii) la chute des prix du pétrole en 1990, qui redescend pour se situer entre 15 et 30 dollars le baril ; et iv) la forte remontée des prix dès 2008 qui atteignent 103,76 dollars le baril en 2003.

Annexe 4: Consommation finale d'énergie par secteur

En France, la consommation finale⁵⁶ (consommation globale moins la consommation de l'industrie énergétique et la consommation non énergétique en tant que matière première) a atteint 155,6 Mtep en 2011 (contre 133,6 Mtep en 1973) et reste dominée par le secteur résidentiel-tertiaire (44,1% en 2011), suivi par le secteur des transports (32,1%), alors que celle du secteur industriel a baissé de six points en passant de 47,9 Mtep en 1973 et 32,8 Mtep en 2011.

Consommation finale d'énergie par secteur

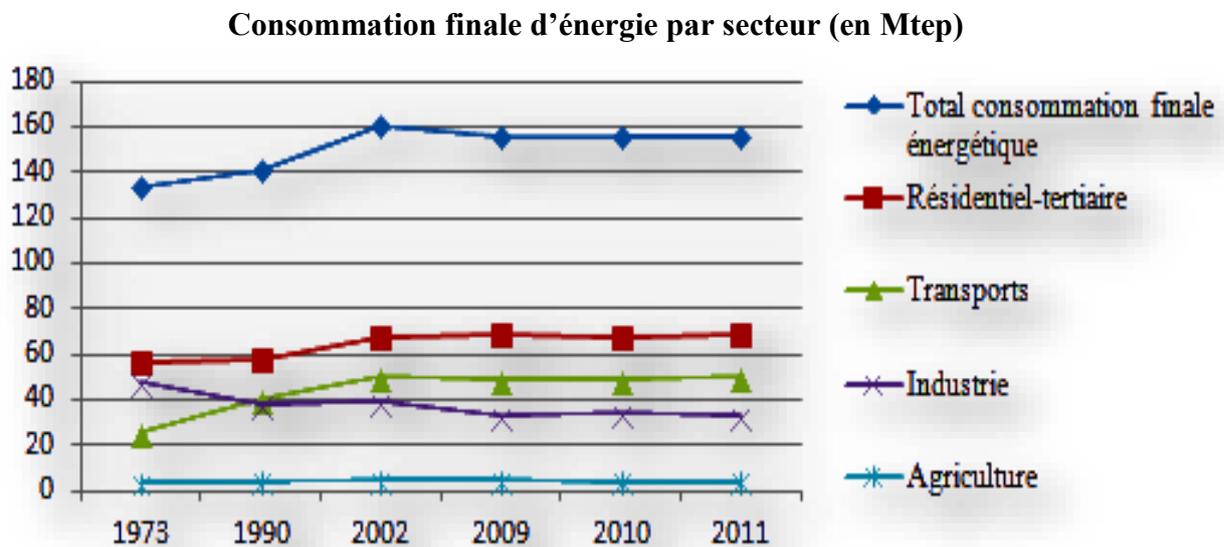
	1990	2011
Résidentiel-tertiaire	41,0%	44,1%
Transports	29,0%	32,1%
Industrie	27,1%	21,1%
Agriculture	2,8%	2,7%
Total	100,0	100,0

Source : (Service de l'observation et des statistiques , 2013)

⁵⁶ La consommation finale est celle qui se situe à l'étape ultime par les différents secteurs d'activité économique d'un pays. Elle se situe en aval de la consommation énergétique qui est nécessaire lors de la transformation des énergies primaires en énergies secondaires ; ainsi que de la consommation non énergétique qui représente les sources d'énergie consommées en tant que matière première et destinée à produire des produits non énergétiques (engrais, bitumes, plastiques, etc.)

Annexe 5: Evolution de la consommation finale d'énergie par secteur

Comme le montre la graphique ci-dessous, tandis que la consommation du Résidentiel & Tertiaire est restée prédominante le secteur plus gros consommateur depuis les années 70, c'est en 1990 que la structure de la consommation finale a été modifiée, lorsque la consommation de l'industrie a connu un point d'inflexion et est passée en-dessous de la consommation du secteur des transports et donc bien en-dessous de la consommation du secteur résidentiel-tertiaire.

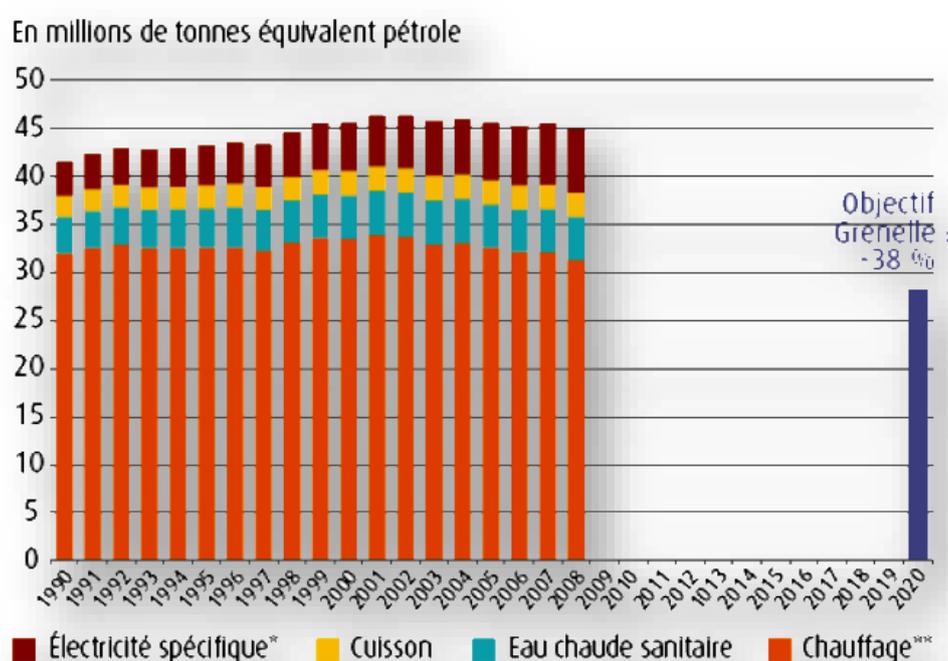


Source : (Service de l'observation et des statistiques , 2013)

Annexe 6: Consommation d'énergie du secteur Résidentiel par usage

L'analyse de l'énergie finale consommée par les ménages français et de la structure de la consommation par usage a montré que le chauffage est de loin l'usage dominant. Il représente plus des deux tiers de la consommation d'énergie du secteur Résidentiel, donc vient très loin devant les autres usages tels que la cuisson, l'eau chaude et l'électricité spécifique⁵⁷.

Consommation d'énergie du secteur Résidentiel par usage



Source : (Service de l'observation et des statistiques, 2011, p. 18)

⁵⁷ L'électricité spécifique correspond à l'électricité nécessaire pour les services qui ne peuvent être rendus que par le recours à l'énergie électrique, tels que l'éclairage et l'électroménager. Elle ne prend pas en compte l'eau chaude, le chauffage et la cuisson, qui peuvent utiliser différents types sources d'énergie.

Annexe 7: Evolution de la consommation finale d'électricité par secteur de 1973 à 2010

En France, L'analyse de la consommation française par source d'énergie montre que la consommation finale d'électricité est passée de 151 TWh en 1973 (dont 57 TWh pour le secteur résidentiel-tertiaire, soit 37,7%) à 442 TWh en 2010 (dont 301 TWh pour le secteur résidentiel-tertiaire, soit 68%), ce qui traduit une très forte hausse de la demande d'électricité du secteur résidentiel-tertiaire sur la période 1973-2010. Selon le rapport de la Commission Européenne, pour le seul secteur Résidentiel, « *final residential electricity consumption accounted for 29.71% of total final electricity consumption in the year 2010* » (Bertoldi, et al., 2012, p. 18).

En valeur absolue, la consommation d'électricité du secteur résidentiel-tertiaire a été multipliée par 5,3 (57 TWh à 301 TWh) tandis qu'en valeur relative sa part dans la consommation finale d'électricité a presque doublé (37,7% à 68%), au point qu'en 2010, cette part se situe au-dessus de la moyenne de l'espace européen où elle compte pour environ 60%.

Consommation finale d'électricité par secteur de 1973 à 2010 (TWh)

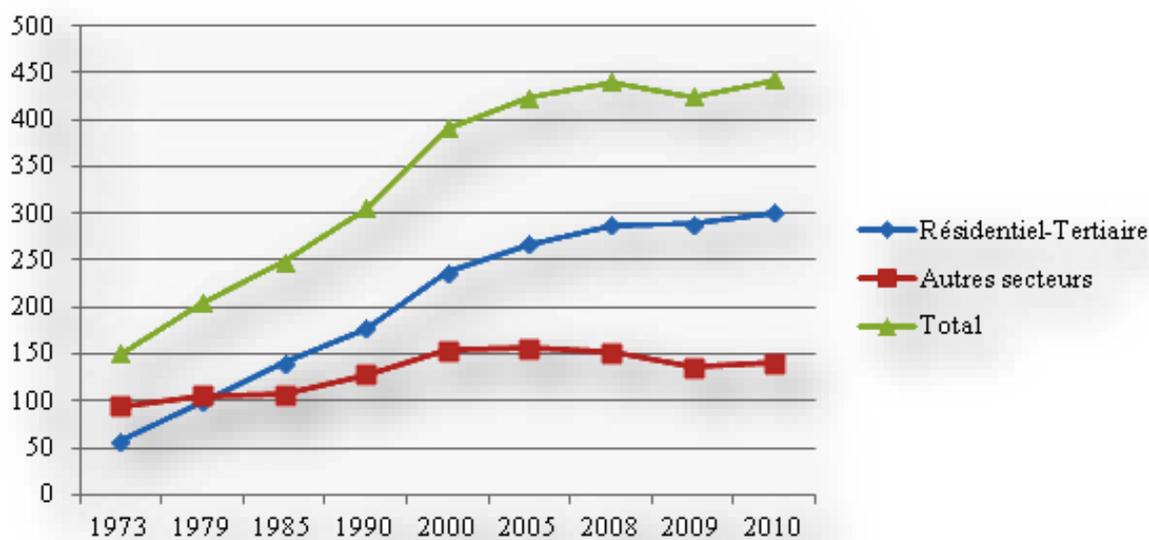
	1973	1979	1985	1990	2000	2005	2008	2009	2010
Sidérurgie	12	13	10	11	11	11	12	9	10
Industrie (hors sidérurgie)	72	83	87	105	127	126	121	108	111
Résidentiel-tertiaire	57	99	141	177	237	267	288	289	301
Agriculture	3	4	4	5	6	7	7	7	8
Transport	6	7	7	8	10	12	13	12	12
Total	151	205	248	305	391	423	440	425	442

Source : (Service de l'observation et des statistiques , 2013)

Annexe 8: Evolution de Consommation finale d'électricité du secteur résidentiel-tertiaire

Comme cela a été relevé précédemment, en France, le secteur résidentiel-tertiaire est le secteur qui consomme le plus d'électricité, loin devant tous les autres secteurs réunis (industrie, transport, agriculture), comme le montre le graphique ci-dessous.

Consommation d'électricité par secteur de 1973 à 2010 (TWh)



Source : (Service de l'observation et des statistiques , 2013)

Historiquement, la consommation domestique d'électricité a fortement augmenté depuis 1985. Cette hausse est due entre autres à la multiplication des usages spécifiques de l'électricité (bureautique, hi-fi, consoles de jeux, etc.) par les ménages français. Selon le Commissariat général au développement durable (Service de l'observation et des statistiques, 2011), la consommation d'électricité pour les usages spécifiques (services qui ne peuvent être rendus que par recours à l'énergie électrique) tels que l'éclairage et l'électroménager, a été multipliée par 2 entre 1985 et 2008, en raison de la progression de l'équipement électrodomestique (électroménager, multimédia, climatisation, etc.).

Tous usages confondus, la consommation domestique d'électricité par habitant est passée de 1560 kWh/an/habitant en 1985 à 2750 kWh/an/habitant en 2009.

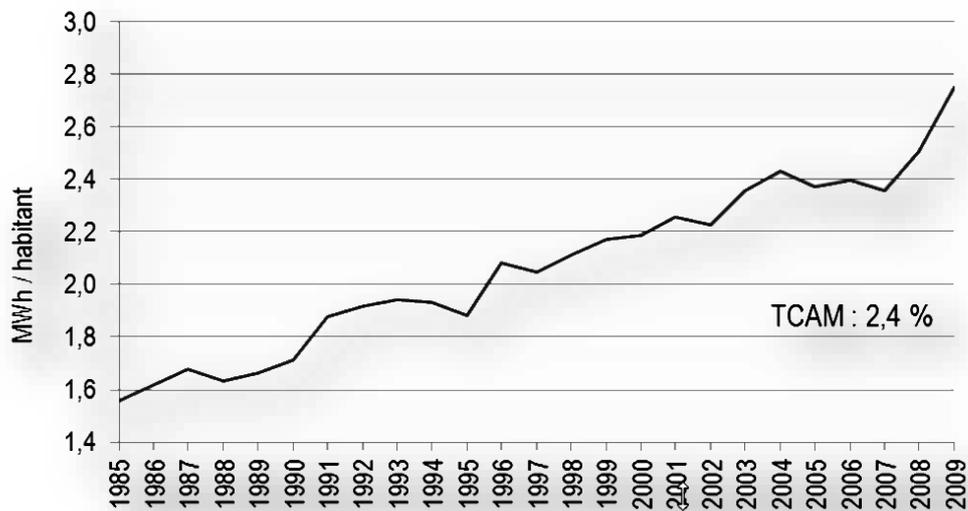
Consommation domestique d'électricité par habitant⁵⁸ en France (kWh/habitant)

	1985	1990	1995	2000	2005	2009
kWh/habitant	1560	1710	1880	2190	2370	2750

Source : (Observatoire de l'Industrie Electrique, 2013)

Cette consommation domestique d'électricité par habitant a connu un bond de son taux de croissance annuel moyen (TCAM) qui a presque doublé en France entre 1985 et 2010.

Croissance de la consommation domestique d'électricité par habitant



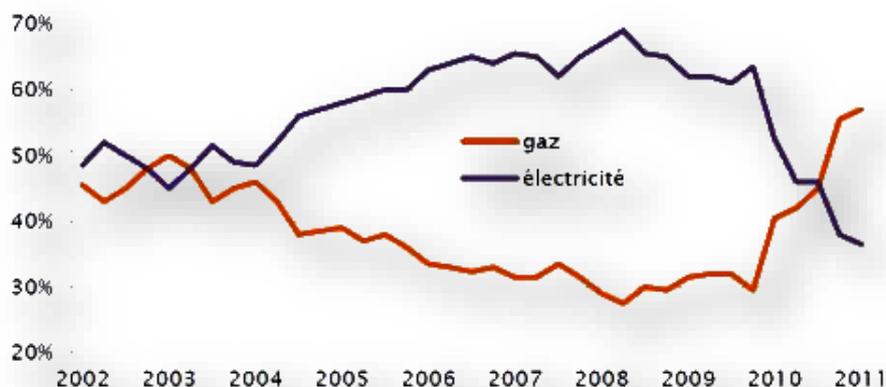
Source : (Observatoire de l'Industrie Electrique, 2013)

⁵⁸ La consommation domestique par habitant correspond au rapport entre la consommation domestique d'électricité (l'électricité livrée aux particuliers) et le nombre total d'habitants (population).

Annexe 9 : Evolution du parc de chauffage

Il est important de noter qu'en France, dont le parc nucléaire fournit près des trois quarts de la demande d'énergie électrique, les ménages avaient été pendant longtemps encouragés par des mesures incitatives à s'équiper en « *Tout électrique* ». Le chauffage électrique a pendant longtemps dominé le chauffage au gaz. Jusqu'en 2008, près de 70% des logements nouvellement construits étaient encore équipés en chauffage électrique. Il faut rappeler que le chauffage électrique a connu un succès rapide après que la France ait décidé d'intensifier son programme électronucléaire dès le premier choc pétrolier (1973), dans le but d'amortir les conséquences négatives des prix élevés du pétrole sur sa balance de commerce extérieur et également de réduire sa dépendance énergétique en hydrocarbures. Le chauffage électrique était ainsi devenu compétitif par rapport au chauffage au fuel et au charbon, encore important à l'époque, et facile à utiliser, au point de devenir le moyen de chauffage moderne le plus répandu. L'ADEME précise même que près de 80 % des logements construits en 2009, ont été équipés de chauffage électrique. C'est ainsi qu'en 2011, le chauffage électrique équipait environ 31 % des logements individuels et collectifs en France (ADEME, 2012). Mais, compte tenu de leur consommation élevée, ce type de chauffage contribue fortement aux « pics » de consommation électrique observés aux heures de pointe (à partir de 19h), ce qui entraîne parfois des coupures sur le réseau de transport de l'électricité d'EDF, en périodes de grand froid. Comme le montre le graphique ci-dessous, après une inversion qui n'a pas duré (en 2003), il faudra attendre 2010 pour voir à nouveau les tendances s'inverser. Le chauffage au gaz reprend le dessus sur le chauffage électrique, et durablement cette fois.

Evolution du parc de chauffage entre 2002 et 2011



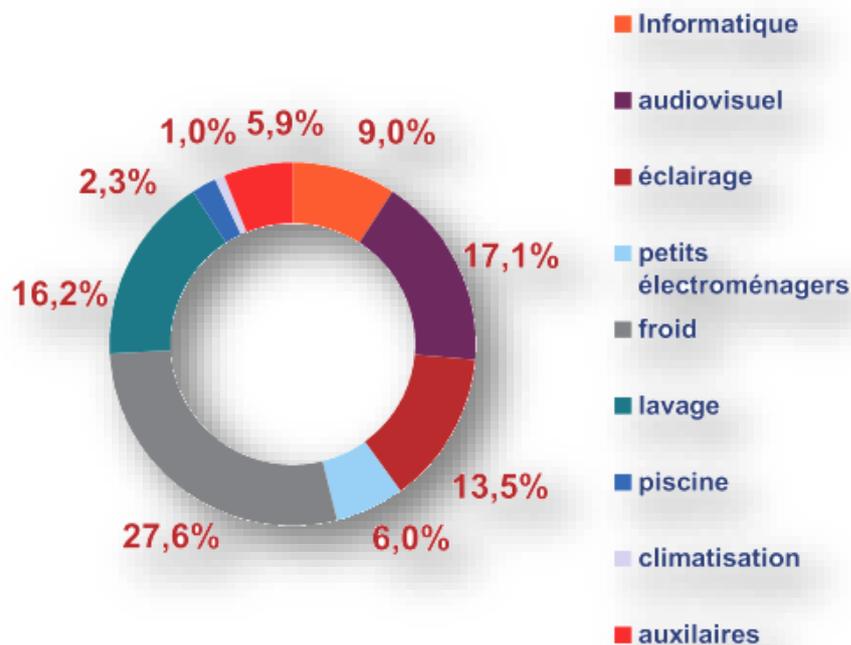
Source : (Gaz in Focus, 2013)

Annexe 10: Ventilation des consommations spécifiques d'électricité

Concernant l'équipement des ménages français, selon l'INSEE, il se résumait en 1985 au lave-linge, au réfrigérateur et au téléviseur. Sont ensuite apparus lave-vaisselle, fours à micro-onde, magnétoscopes et lecteurs DVD, consoles de jeux vidéo, ordinateurs et téléphones portables. Les ménages ont même marqué une tendance à multiplier le nombre de téléviseurs dans leur foyer.

Concernant ces usages spécifiques de l'électricité par les ménages, les plus grands postes de consommation sont le froid (réfrigération, congélation) qui vient en tête (27,6%), suivi par l'audiovisuel (17,1%), le lavage (16,2%), l'éclairage (13,5%) et l'informatique (9%).

Ventilation des consommations spécifiques d'électricité

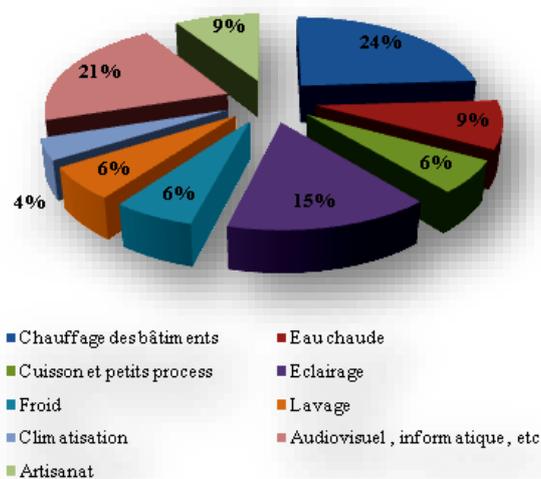


Source : (Allibe, 2012, p. 40)

Annexe 11: Consommation d'énergie des ménages en France et en région PACA

En France, la structure de la consommation dans le secteur Habitat-Tertiaire montre qu'en termes d'usages de l'électricité, le chauffage arrive nettement en tête (24%), suivi par l'audiovisuel et l'informatique (21%), et l'éclairage (15%) en 2011.

Consommation d'électricité du secteur Habitat-Tertiaire en 2011



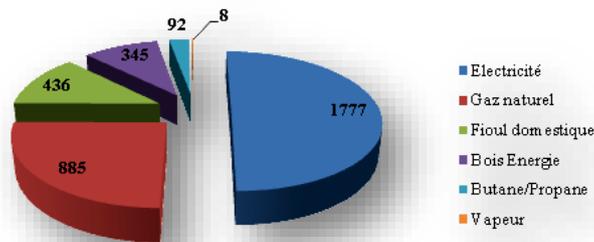
Source : (GLOBAL CHANCE, 2013)

Au niveau de la région PACA, la consommation annuelle d'énergie finale du secteur résidentiel-tertiaire a connu une croissance moyenne de 1,5 % par an, soit un taux croissance deux fois plus rapide que celui de la population qui a atteint près de 5 millions d'habitants en 2008. Selon le bilan de l'Observatoire Régional de l'Energie (ORE, 2011), cette consommation est passée de 3,5 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) en 1998 à plus de 4,5 Mtep en 2008, soit une hausse de près de 30 % en dix ans. La consommation moyenne par habitant est passée de 0,8 tep/habitant à 0,9 tep/habitant, soit une hausse de 12% sur la même décennie. Toujours selon cet Observatoire, la consommation énergétique finale de la Région PACA représente 8% de la consommation de toute la consommation énergétique finale de la France ; tandis que pour ce qui concerne la consommation du secteur « Habitat » elle représente un tiers de la consommation énergétique finale de la Région et se caractérise par la prédominance de l'usage chauffage (75%). En termes d'usages de l'énergie, cette consommation du chauffage est suivie par celles du lavage (3,7%), de l'audiovisuel (5%), du froid (6,8%), de

l'informatique (3,6%), de l'éclairage (3,2%) et des autres usages (3,6%). Il faut relever que l'ORE considère que les ménages de la région PACA privilégient le recours à l'électricité et que le chauffage électrique est plus fréquent dans cette région que dans le reste de la France. En Région PACA 36,5 % des logements sont équipés de chauffage individuel électrique contre 27 % pour toute la France (Métropole).

En termes de consommation des ressources d'énergie, en 2011, pour une consommation totale de 13300 kilo tonne équivalent pétrole (Mtep ou 1000 ktep), la consommation du secteur Résidentiel-Tertiaire a été de 3,543 Mtep, réparti en électricité (1777 ktep) ; gaz naturel (885 ktep) ; fioul domestique (436 ktep) ; bois énergie (345 ktep) ; butane-propane (92 ktep) et vapeur (8 ktep).

Consommation finale d'énergie du secteur Résidentiel-Tertiaire par ressource (2011) en ktep

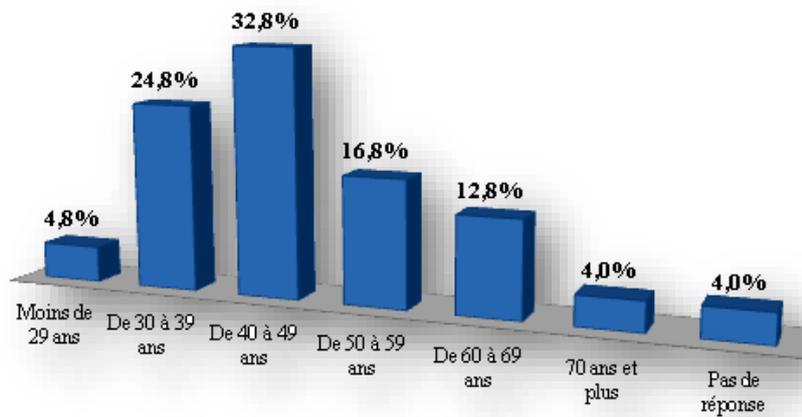


Source : (ORE, 2011)

Annexe 12: Statistiques descriptives des variables quantitatives

	Source	N	Moyenne	Ecart-type	Min	Max	1 ^{er} quartile	2 ^{ème} quartile	3 ^{ème} quartile
Age	<i>Q10 Questionnaire principal</i>	125	46.79	12.14	24	84	38	45	55
Nombre d'adultes	<i>Q8 Questionnaire principal</i>	125	2.36	1.007	1	5	2	2	3
Nombre d'enfants	<i>Q9 Questionnaire principal</i>	125	0.68	0.916	0	3	0	0	1
Unité de consommation en 2011	<i>Q8 et Q9 Questionnaire principal</i>	125	2.29	0.81	1	4.6	1.7	2.4	2.9
Unité de consommation en 2012	<i>Q8 et Q9 Questionnaire principal</i>	125	2.29	0.83	1	4.6	1.7	2.4	2.9
Nombre de pièces	<i>Q4 Questionnaire principal</i>	125	4.81	1.94	1	11	3	5	6
Surface habitable	<i>Q3 Questionnaire principal</i>	125	118.68	59.33	20	380	78.5	107.5	140
Nombre d'ampoule à basse consommation 2011	<i>Q15.3 Questionnaire principal</i>	125	7.59	6.25	0	28	3	8	8
Nombre d'ampoule à basse consommation 2012	<i>Q38 Questionnaire final</i>	80	10.18	7.33	0	28	3	8	13
Revenu	<i>Q41 Questionnaire principal</i>	125	56436.97	27234.75	9400	112175	31250	53450	82825

Annexe 13: Age de l'échantillon



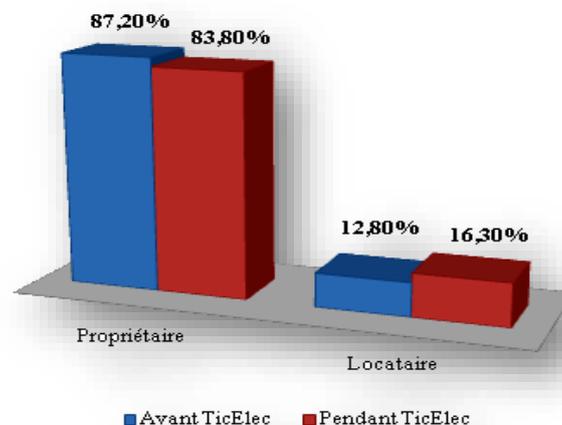
n=125 ; Q10 Questionnaire principal

Annexe 14: Diplôme le plus élevé du foyer

Entre 1 et 5 années d'études après le baccalauréat	63	50,4%
Plus de 5 années d'études après le baccalauréat	48	38,4%
CAP ou BEP	11	8,8%
Baccalauréat	1	0,8%
Autre	1	0,8%
Pas de réponse	1	0,8%

n=125 ; Q44 Questionnaire principal

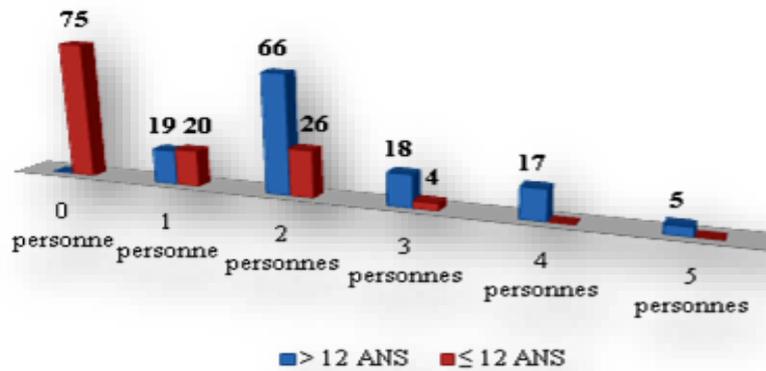
Annexe 15: Statut des occupants des logements



n=125 ; Q2 Questionnaire principal

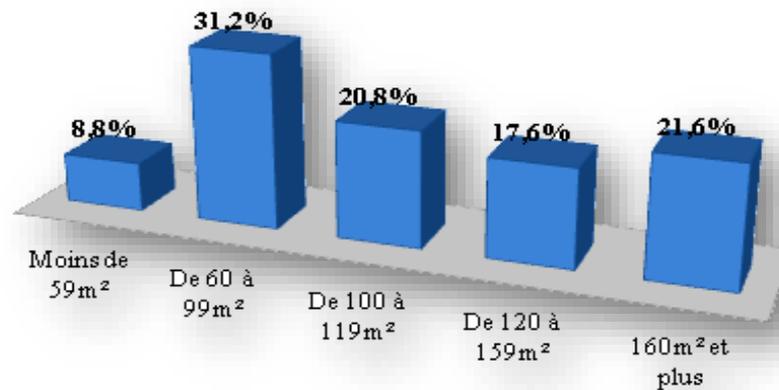
n=80 ; Q22 Questionnaire final

Annexe 16: Composition des ménages



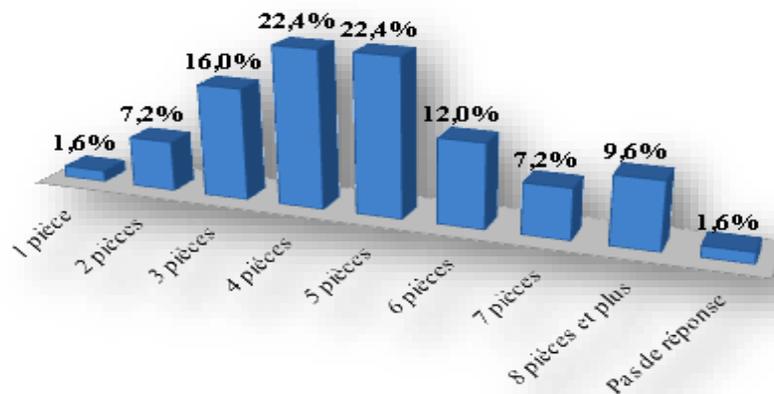
n=125 ; Q8 et Q9 Questionnaire principal

Annexe 17: Surface habitable des logements



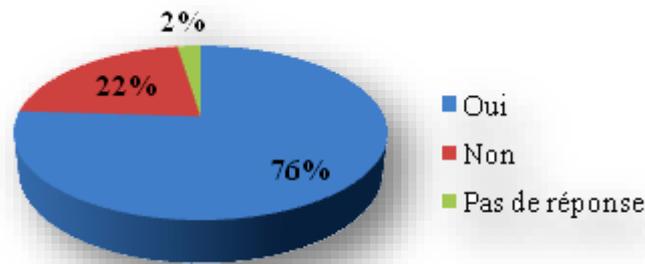
n=125 ; Q3 Questionnaire principal

Annexe 18: Nombre de pièces habitables



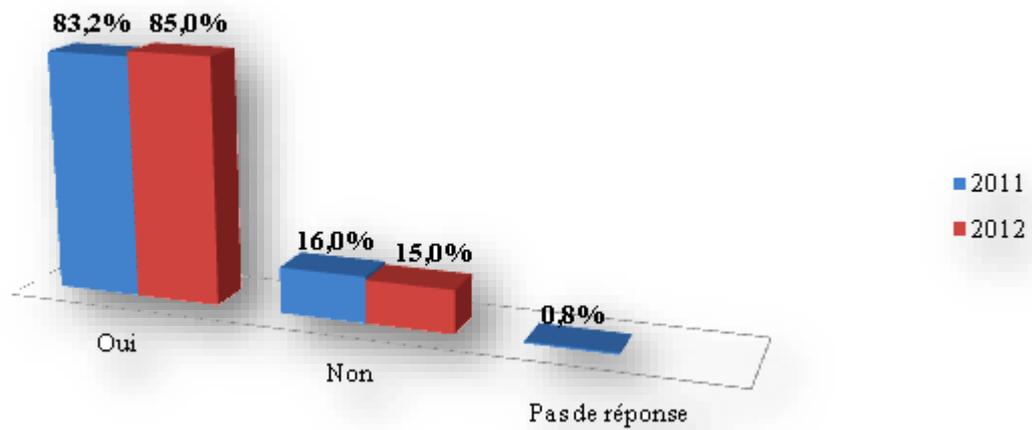
n=125 ; Q4 Questionnaire principal

Annexe 19: Possession d'un chauffage électrique



n=125 ; Q32 Questionnaire principal

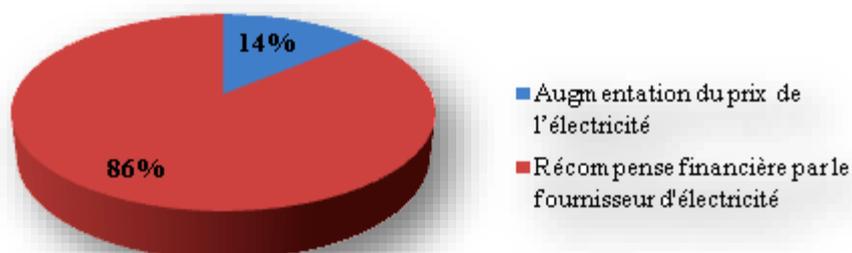
Annexe 20: Implication des ménages dans la maîtrise de la demande d'électricité



n=125 ; Q15 Questionnaire principal

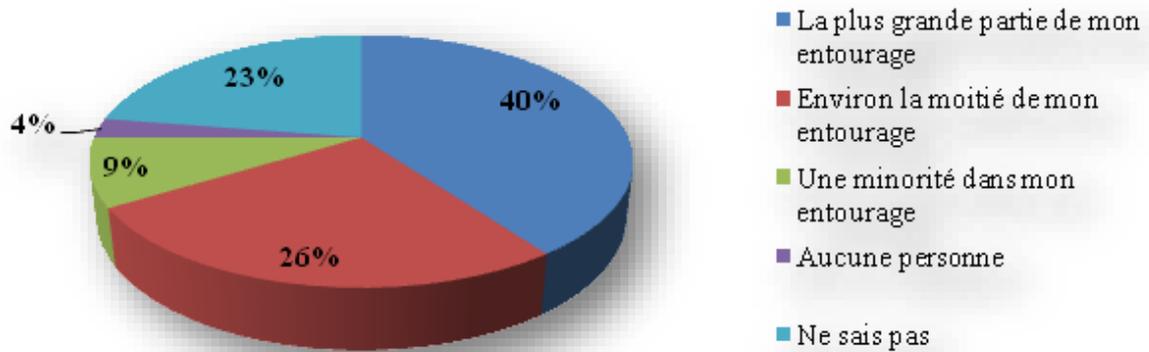
n=80 ; Q42 Questionnaire final

Annexe 21: Avis des ménages sur la méthode de réduction de la consommation électrique



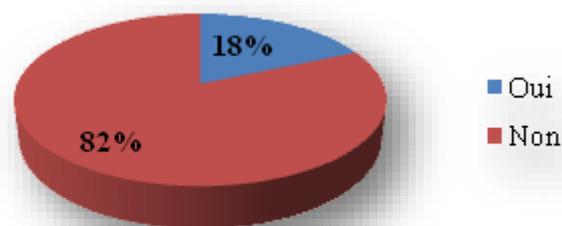
n=80 ; Q44 Questionnaire final

Annexe 22: Ampoules à basse consommation dans l'entourage des ménages



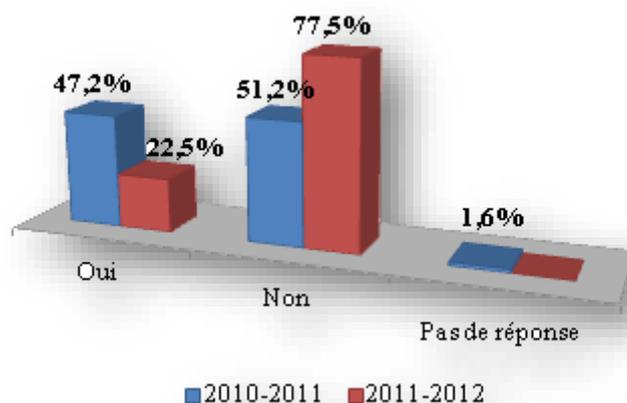
n=80 ; Q34 Questionnaire final

Annexe 23: Recours à la climatisation en été



n=125 ; Q17 Questionnaire principal

Annexe 24: Achat de nouveaux appareils électroménagers



n=80 ; Q23 Questionnaire principal et Q30 Questionnaire final

Annexe 25 :Pré-Questionnaire



Pré-Questionnaire Projet TicElec



** Obligatoire*

Afin de vous identifier, veuillez indiquer ci-dessous votre Nom et adresse mail : *

Nom* :

Adresse mail* :

1. Quel type de compteur électrique possédez-vous ?

- A roue (affichage mécanique)
 Numérique (affichage à cristaux liquides) ?

2. Possédez-vous une connexion Internet à la maison ?

- Oui
 Non

3. Quelle est la distance entre votre compteur général et votre box Internet ?

4. Pensez-vous que les technologies de l'information et de la communication disponibles pour les ménages (COMPTEURS ELECTRIQUES EVOLUES QUI PEUVENT COMMUNIQUER AVEC VOTRE ORDINATEUR, ...) permettront de réduire la consommation d'électricité au niveau national ?

- Oui
 Non

5. Avez-vous décidé de participer au projet TICELEC après nous avoir rencontrés lors de la "Journée du Développement Durable" ?

- Oui
 Non

6. Avez-vous déjà participé à une expérience similaire (DANS LE DOMAINE DES économies d'énergie, ou d'eau, ou autres liée à la maîtrise de la consommation en général) ?

- Oui
 Non



UBINODE *Minding Networks*



7. A l'heure actuelle, faites vous partie d'une association prenant en considération la question du développement durable ou liée à la protection de l'environnement ?

- Oui
 Non

Vous avez atteint la fin de ce pré-questionnaire. Nous sommes en train de construire un questionnaire un peu plus détaillé afin d'obtenir des informations sur vos usages de l'électricité. Nous restons à votre disposition pour toute assistance par téléphone dans le remplissage du questionnaire qui vous sera envoyé.

*Accepteriez-vous d'être contacté par téléphone à l'avenir à une heure qui vous convient ?
 Si oui, veuillez nous indiquer votre numéro de téléphone et vos heures de disponibilité.*

Envoyer

Nous contacter :



info-projet@ticelec.fr



06.69.43.13.00

Site internet:



http://ticelec.fr

Annexe 26: Questionnaire Principal



Questionnaire Principal Projet TicElec


** Obligatoire*

Afin de vous identifier, veuillez indiquer ci-dessous votre Nom et adresse mail : *

Nom* : Adresse mail* :

1. Quel type de logement occupez-vous ? [il s'agit de LA résidence SUR BIOT QUE VOUS OCCUPEREZ DANS LE CADRE DU PROJET TICELEC]

- Appartement
- Villa
- Maison de village
- Autres

2. Etes-vous ou votre conjoint propriétaire de ce logement ?

- Oui
- Non

3. Quelle est la surface habitable de ce logement (en mètre carrés, hors garage, terrasse, et cabanes dans le jardin) ?

4. Quel est le nombre de pièces habitables (hors garage, terrasse, et cabanes dans le jardin) ?

5. Si vous avez une piscine et/ou un jardin, sont-ils équipés d'appareils électriques (chauffe-piscine ou arrosage électrique automatique pour le jardin) ?

- Oui
- Non

6. Depuis Septembre 2010, le logement est-il occupé par au moins une personne tous les jours de la semaine ?

- Oui
- Non



Si vous avez répondu « Non » à la question précédente [6], veuillez répondre à la question [6.1]. Sinon, aller à la question [7].

6.1. Veuillez indiquer le nombre de jours d'occupation entre 1 et 7.

7. Depuis septembre 2010, combien de personnes minimum occupent le plus souvent ce logement tous les jours de la semaine ?

8. Depuis septembre 2010, combien de personnes d'âge supérieur à 12 ans habitent dans ce logement ?

9. Depuis septembre 2010, combien d'enfants d'âge inférieur ou égal à 12 ans habitent dans ce logement ?

10. Quel est l'âge du membre du ménage le plus âgé ? [Donner l'âge qui correspond à celui du dernier anniversaire]

11. Depuis septembre 2010, combien de personnes occupent ce logement au moins 1 jour de la semaine (HORS WE) entre 9h et 19h ?

12. Depuis Septembre 2010, combien de personnes occupent ce logement tous les jours de la semaine (HORS WE) à partir de 19h ?

13. Depuis septembre 2010, combien de personnes déjeunent le midi dans ce logement tous les jours de la semaine (HORS WE) ?

14. Entre Septembre 2011 et août 2012, est-il prévu un changement dans la structure familiale de votre foyer ? (NOUVELLE NAISSANCE, ...)

- Oui
- Non

15. Diriez-vous que votre ménage s'inscrit jusqu'ici dans une démarche de maîtrise de sa consommation d'électricité ?

- Oui
- Non

Si vous avez répondu « Oui » à la question précédente [15], veuillez répondre aux questions [15.1], [15.2] et [15.3]. Sinon, aller à la question [16].

15.1. Eteignez-vous la lumière dans les pièces inoccupées ?

- Rarement
- De temps en temps
- La plupart du temps
- Toujours

15.2. Possédez-vous au moins un boîtier / appareil qui permet de piloter automatiquement l'allumage et/ou l'extinction d'un ou plusieurs de vos appareils électriques ?

- Oui
- Non

15.3. Reporter-vous l'utilisation de certains appareils électriques aux heures creuses (de 13h30 à 16h30 le jour et de 2h30 à 7h30 la nuit)

- Oui
- Non

16. Si vous possédez des ampoules basses consommation, veuillez indiquer leur nombre ci-dessous.

17. Utilisez-vous un système de climatisation en été ?

- Oui
- Non



18. Vous chauffez-vous [Vous pouvez cocher plus d'une réponse]

- Au gaz naturel
- A l'électricité
- A radiateur à eau chaude
- Avec une chaudière au fioul domestique
- Sources d'énergie renouvelables (géothermie, solaire, ...)

Si « électricité » figure dans votre réponse à la question précédente [18], veuillez répondre à la question [19]. Sinon, aller à la question [20].

19. Est-ce le mode de chauffage que vous utilisez le plus ?

- Oui
- Non

20. Avez-vous changé au cours des quatre dernières années votre système de chauffage ou votre chauffe eau, pour utiliser des énergies renouvelables ?

- Oui
- Non

Si vous avez répondu « Oui » à la question précédente [20], veuillez répondre à la question [20.1]. Sinon, aller à la question [21].

20.1. Cette décision a-t-elle été prise par :

- Vous seul et avec votre conjoint
- Vous seul, mais aussi en discutant avec mon entourage direct et mes amis
- Le biais d'informations publiées dans les associations et agences gouvernementales

21. Quel système de cuissons utilisez-vous ?

- Gaz naturel
- Electrique
- Les deux
- Autre

Si vous avez répondu « Les deux » à la question précédente [21], veuillez répondre à la question [21.1]. Sinon, aller à la question [22].

21.1. Cuisinez-vous plus souvent au gaz ?

- Oui
- Non

22. Lorsque vous vous absentez de votre habitation quelques jours (long week-end, vacances), vous :

	Hiver	Demi - Saison	Eté
Mettez le disjoncteur électrique à l'arrêt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Coupez que certains appareils	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maintenez un fonctionnement normal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

23. De septembre 2010 à août 2011, avez-vous équipé votre habitation d'un nouvel appareil électroménager ?

- Oui
 Non

Si vous avez répondu « Oui » à la question précédente [23], veuillez répondre à la question [23.1], [23.2]. Sinon, aller à la question [24].

23.1. Etait-ce pour remplacer un appareil usagé ?

- Oui
 Non

23.2. Quels furent les critères qui ont principalement motivés votre choix ?

- *Nouveauté technologique et design* :
- Pas Important
 Peu Important
 Assez Important
 Très Important
- *Fonctionnalités de l'appareil (bruit, capacité)* :
- Pas Important
 Peu Important
 Assez Important
 Très Important
- *Consommation énergétique (eau et électricité)* :
- Pas Important
 Peu Important
 Assez Important
 Très Important
- *Label écologique (ou classe de l'appareil)* :
- Pas Important
 Peu Important
 Assez Important
 Très Important



24. Pouvez-vous indiquer une estimation du montant de votre facture annuelle d'électricité (en euros TTC) ?

- Jusqu'à 500€ par an
- Entre 501€ et 750€ par an
- Entre 751€ et 1 250€ par an
- Entre 1 251€ et 2 000€ par an
- Entre 2 001€ et 3 000€ par an
- Plus de 3 000€ par an

25. Votre fournisseur d'électricité est-il EDF ?

- Oui
- Non

26. Payez-vous un forfait mensuel pour votre facture d'électricité (la même somme tous les mois avec calcul du solde à la fin de l'année) ?

- Oui
- Non

27. Quel est le mode de paiement de votre facture durant l'année ?

- Chèque
- Prélèvement automatique
- Virement postal ou bancaire que vous effectuez au moment où vous recevez la facture

28. Aujourd'hui, certains ménages sont abonnés pour le gaz et l'électricité chez un seul fournisseur. Est-ce votre cas ?

- Oui
- Non

29. Quel est le type de tarif d'électricité auquel vous êtes abonné ?

- Standard (Même prix en heures creuses et heures pleines)
- Heures creuses/heures pleines (Le prix du kWh en heures creuses est inférieur à celui en heures pleines)
- Effacement jours de pointe (Le tarif EJP ne s'applique que si vous êtes abonné chez EDF)
- Tarif de première nécessité
- Autre (Tarifs avec plus de deux périodes tarifaires sur l'année, comme par exemple, le tarif TEMPO d'EDF)

30. Vous souciez-vous de votre consommation électrique globale ?

- Pas du tout
- Très peu
- Souvent
- Beaucoup

Si vous avez répondu « Pas du tout » ou « très peu » à la question précédente [30], veuillez répondre à la question [30.1]. Sinon, aller à la question [31].

30.1. Veuillez indiquer pourquoi ? [Vous pouvez cocher plus d'une réponse]

- Parce que vous jugez que le service rendu par vos appareils électroménagers est vital
- Parce que vous n'avez pas le temps
- Parce que vous vous souciez de la facture plutôt que de la consommation

31. Possédez-vous une machine à laver le linge ?

- Oui
- Non

Si vous avez répondu « Oui » à la question précédente [31], veuillez répondre à la question [31.1]. Sinon, aller à la question [32].

31.1. Vous souciez-vous de la consommation électrique de votre machine à laver ?

- Pas du tout
- Très peu
- De temps en temps
- Souvent
- Beaucoup

Si vous avez répondu « Pas du tout » ou « très peu » à la question précédente [31.1], veuillez répondre à la question [31.1.1]. Sinon, aller à la question [32].

31.1.1. Veuillez Indiquer pourquoi ? [Vous pouvez cocher plus d'une réponse]

- Parce que vous jugez le service rendu par votre machine à laver vital
- Parce que par habitude et usage répété, vous ne vous posez plus cette question
- Parce que vous avez du mal à savoir quelle est sa consommation
- Je ne sais pas

32. Possédez-vous au moins un appareil de chauffage électrique ?

- Oui
- Non



Si vous avez répondu « Oui » à la question précédente [32], veuillez répondre à la question [32.1]. Sinon, aller à la question [33].

32.1. Vous souciez-vous de la consommation électrique de vos chauffages ?

- Pas du tout
- Très peu
- De temps en temps
- Souvent
- Beaucoup

Si vous avez répondu « Pas du tout » ou « très peu » à la question précédente [32.1], veuillez répondre à la question [32.1.1]. Sinon, aller à la question [33].

32.1.1. Veuillez Indiquer pourquoi ? [Vous pouvez cocher plus d'une réponse]

- Parce que vous jugez le service rendu par votre chauffage vital
- Parce que vous n'avez pas le temps de maîtriser sa consommation
- Pas d'avis

33. Combien d'ampoules à basse consommation possédez-vous ?

34. Selon vous, pour préparer un même plat, quel moyen de cuisson utilise le plus d'énergie ?

- Cuisiner sur une plaque électrique
- Cuisiner sur une gazinière

35. Etes-vous d'accord avec l'affirmation suivante :

« Les consommateurs ont le droit d'utiliser la quantité d'électricité qu'ils veulent dès lors qu'ils payent leur facture » ?

- Oui
- Non

36. En maîtrisant votre consommation, vous pouvez réduire votre facture d'électricité. Certaines études évaluent l'ampleur de la réduction de facture entre 5% et 10%, ou plus selon la composition du ménage, le type de tarif qu'il a choisi, ... En ce qui vous concerne, l'économie budgétaire est-elle une motivation suffisante ?

- Oui
- Non

37. Si vous avez des motivations autres que financières, quelles sont-elles ? [En 2 ou 3 lignes]

38. Le réchauffement climatique est-il lié aux activités humaines seulement ?

- Oui
 Non

39. Pensez-vous qu'en maîtrisant votre consommation d'électricité vous pouvez contribuer à freiner l'épuisement des ressources non renouvelables (charbon, fuel, gaz, uranium) qui servent à produire cette électricité ?

- Oui
 Non

40. Pensez-vous que réduire la consommation d'électricité permettrait de diminuer la pollution atmosphérique ?

- Oui
 Non

41. Dans quelle **tranche** de revenu annuel votre ménage se situe-t-il (en euros annuel imposable tel que figurant sur la déclaration de revenus) ?

- Jusqu'à 9 400€ par an \ jusqu'à 783€ par mois
 Entre 9 401€ et 15 000€ par an \ entre 784€ et 1250€ par mois
 Entre 15 001€ et 23 750€ par an \ entre 1251€ et 1980€ par mois
 Entre 23 751€ et 38 750€ par an \ entre 1981€ et 3230€ par mois
 Entre 38 751€ et 68 150€ par an \ entre 3231€ et 5630€ par mois
 Entre 68 151€ et 97 500€ par an \ entre 5631€ et 8125€ par mois
 Plus de 97 500 par an \ plus de 8125€ par mois

42. Quel est votre âge ? [donner l'âge qui correspond à celui du dernier anniversaire]

43. Etes-vous vous-même ou votre conjoint retraité ?

- Oui
 Non



44. Quel est votre diplôme le plus élevé ? (« Votre » ici est la personne qui remplit ce questionnaire)

- Brevet des collèges
- CAP ou BEP
- Baccalauréat
- Entre 1 et 5 années d'études après le baccalauréat
- Plus de 5 années d'études après le baccalauréat
- Autre

45. A quelle catégorie socioprofessionnelle appartenez-vous ?

- Agriculteurs exploitants
- Artisans, commerçants et chefs d'entreprise
- Cadres et professions intellectuelles supérieures
- Employés
- Ouvriers
- Professions intermédiaires (EXEMPLES : instituteurs, les infirmières, les assistantes sociale, contremaîtres, agents de maîtrise ...)
- Retraités
- Autres personnes sans activité professionnelle

Vous avez atteint la fin de ce questionnaire. Nous restons à votre disposition pour toute assistance par téléphone dans le remplissage du questionnaire ou pour toute autre information complémentaire .

Envoyer

Nous contacter :



info-projet@ticelec.fr



06.69.43.13.00

Site internet:



http://ticelec.fr

Annexe 27: Questionnaire Final



Questionnaire Final Projet TicElec



** Obligatoire*

Afin de vous identifier, veuillez indiquer ci-dessous votre Nom et adresse mail : *

Nom* :

Adresse mail* :

1. Pouvez-vous nous indiquer la période durant laquelle vous avez participé à l'expérience TicElec ? [Exemple: De Décembre 2011 à Mars 2012]

2. Participez-vous toujours à l'expérience TicElec ?

- Oui
 Non

Si vous avez répondu « Oui » à la question précédente [2], veuillez répondre aux questions [2.1] et [2.2]. Sinon, aller à la question [3].

2.1. Si votre participation au projet TicElec était à refaire, le referiez-vous ?

- Oui
 Non

2.2. Pourquoi ?

3. Faites-vous partie des ménages dotés d'équipement de mesure TicElec ?

- Oui
 Non



----- PHASE INITIALE -----

4. Quel équipement avez-vous reçu ?

- Capteur du compteur général
- Capteur du compteur général + Prises nomades

5. Le guide d'installation vous a t'il été utile ?

- Oui
- Non

*Si vous avez répondu « Non » à la question précédente [5], veuillez répondre à la question [5.1].
Sinon, aller à la question [6].*

5.1. Pourquoi ?

[Vous pouvez cocher plus d'une réponse]

- Explications peu claires et trop techniques
- Photos peu explicites
- Pas adapté à mon logement

6. Quel genre de matériel pensiez-vous recevoir ?

- Aucune attente particulière
- Un matériel de ce type
- Quelque chose de plus simple

----- PHASE D'UTILISATION -----

7. Lors de l'utilisation du pack TicElec, avez-vous rencontré des obstacles ?

	Oui	Non
Au niveau des piles	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Au niveau de la visibilité sur l'écran	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Au niveau de la connexion pour obtenir mes données personnelles	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. Avez-vous déplacé les prises nomades après l'installation initiale ?

[Question destinée aux ménages du groupe 3 "totalement équipé"]

- Oui
 Non

9. Avez-vous consulté le portail TicElec en dehors de votre domicile ?

- Oui
 Non

10. Quels sont les différents appareils électroménagers ou équipements qui ont le plus suscité votre attention ?

(ex : congélateur, réfrigérateur, ordinateur ... etc)

11. Comment avez-vous utilisé l'équipement TicElec ?

Merci de cocher deux réponses uniquement

- Pour suivre ma consommation au jour le jour
 Pour observer la structure de ma consommation (quels équipements à quelle heure)
 Pour réduire ma consommation en utilisation normale
 Pour réduire ma consommation lors des périodes creuses (nuit, absence...)

12. Combien de temps avez-vous utilisé l'équipement ?

- Moins de 3 mois
 Entre 3 et 6 mois
 Entre 6 mois et 1 an

Si vous avez répondu « Moins de 3 mois » à la question précédente [12], veuillez répondre à la question [12.1]. Sinon, aller à la question [13].



12.1. Avez vous été confronté aux situations suivantes ?

	Oui	Non
J'ai appris suffisamment pendant les 3 premiers mois	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Le portail TicElec m'a déçu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les informations étaient insuffisantes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les capteurs sont tombés trop souvent en panne	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
J'ai perdu l'intérêt pour le projet rapidement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les capteurs étaient inesthétiques	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La connexion ne passait pas bien	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

13. Avez-vous été gêné par la transmission de vos données personnelles de consommation sur le portail TicElec ?

- Oui
 Non

14. Les capteurs (et éventuellement les prises nomades) ont-ils eu un caractère encombrant, voire intrusif ?

- Oui
 Un peu
 Pas du tout
 Ne sait pas

15. Pouvez vous nous indiquer votre appréciation éventuelle de l'équipement TicElec, par rapport à :

	Très satisfait	Satisfait	Peu satisfait	Très peu satisfait
La qualité du matériel	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La mobilité des capteurs/prises nomades	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Le design du matériel	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La facilité d'utilisation du portail TicElec : http://ticelec.fr/portail	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Suggestions :

16. Quels sont les autres problèmes potentiels que vous avez rencontrés avec le matériel TicElec (lors de l'installation et/ou de l'utilisation) ?

----- A L'AVENIR -----

17. Est-ce que l'idée de suivre et maîtriser sa consommation *via* des prises nomades et *via* une plate-forme vous semble-t-elle intéressante ?

- Oui
- Non

18. Selon vous, un simple affichage des conditions tarifaires et de votre propre consommation énergétique en temps réel vous suffirait-elle pour mieux maîtriser votre consommation ?

- Oui
- Non

19. Serait-il intéressant, pour vous, d'avoir un équipement tel que le pack TicElec, agrémenté d'options de surveillance des biens et des personnes ?

- Oui
- Non

20. Quel serait, selon vous, le meilleur fournisseur d'un tel service ?

- Votre fournisseur d'énergie
- Votre opérateur téléphonique
- Une société tierce privée



-----LES CHANGEMENTS AU NIVEAU DE VOTRE LOGEMENT-----

21. La surface habitable de votre logement a-t-elle augmenté depuis le début de l'expérience ?

- Oui
 Non

*Si vous avez répondu « Oui » à la question précédente [], veuillez répondre à la question [21.1].
 Sinon, aller à la question [22].*

21.1. Pouvez vous préciser le nombre de m² supplémentaires ?

- Entre 0 et 20 m²
 Entre 20 et 40 m²
 Plus de 40 m²

22. Votre statut d'occupation de votre logement a-t-il changé ?

- Oui, de locataire à propriétaire
 Oui, de propriétaire à locataire
 Non

23. Depuis le début de l'expérience TicElec, combien de personnes supplémentaires résident à votre domicile ?
 (Par exemple arrivée d'un étudiant ou locataire, une naissance, le retour d'un proche au domicile familial ... etc)

24. Depuis le début de l'expérience TicElec, combien de personnes ne résident plus à votre domicile ?
 (Par exemple départ pour étude, séparation familiale, ou autres cas de figure)

25. Depuis septembre 2011, combien de jours/semaine, votre domicile est-il occupé par, au moins, une personne ?

- 1
 2
 3
 4
 5
 6
 7

26. Depuis septembre 2011, combien de personnes occupent au minimum le plus souvent ce logement tous les jours de la semaine ?

27. Durant l'expérience TicElec, avez-vous :

	Oui	Non
Réalisé de nouveaux investissements pour améliorer la performance énergétique de votre logement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Réalisé de nouveaux investissements dans l'isolation de votre domicile	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Equipé votre logement de nouveaux équipements électriques de plein air (picine, éclairage automatique ..)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Equipé votre logement de nouveaux équipements multimédia (Hi-Fi, ordinateur ...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Opté pour un système de climatisation en été	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

28. Si vous avez équipé votre logement de nouveaux équipements multimédia (Hi-fi, ordinateur ...), quels furent les critères déterminants pour l'achat (de 1 à 5 par ordre de priorité) ? (1 primordial5 négligeable)

	1	2	3	4	5
Prix	<input type="radio"/>				
Qualité	<input type="radio"/>				
Bruit	<input type="radio"/>				
Encombrement	<input type="radio"/>				
Consommation énergétique	<input type="radio"/>				

29. Durant l'expérience TicElec, avez-vous changé de type de chauffage ?

- Oui
 Non

Si vous avez répondu « Oui » à la question précédente [29], veuillez répondre à la question [29.1]. Sinon, aller à la question [30].

29.1. Pour quel type de chauffage avez-vous opté ?

- Le gaz naturel
 L'électricité
 Une chaudière au fioul domestique à condensation
 Une chaudière à fioul traditionnelle
 Un équipement avec énergie renouvelable

30. Durant le projet TicElec avez-vous réalisé de nouveaux achats d'équipement électro ménager ?

- Oui
 Non



Si vous avez répondu « Oui » à la question précédente [30], veuillez répondre aux questions [30.1], [30.2] et [30.3]. Sinon, aller à la question [31].

30.1. Lequel ou lesquels ?

- Machine à laver
- Machine à sécher le li
- Lave vaisselle
- Congélateur
- Réfrigérateur
- Four
- Micro-onde

30.2. Parmi l'achat d'équipement électro ménager le plus important et significatif pour vous, pouvez vous préciser les motivations de votre achat

- L'ancien était en panne
- L'ancien consommait trop (énergie, eau)
- Vous n'en aviez pas
- Votre famille s'est agrandie ou vous avez déménagé
- Vous aviez envie de nouveauté

30.3. Quels furent les critères qui ont motivé votre achat par ordre de priorité (de 1 à 5 par ordre de priorité)

	1	2	3	4	5
Prix	<input type="radio"/>				
Qualité	<input type="radio"/>				
Bruit	<input type="radio"/>				
Encombrement	<input type="radio"/>				
Consommation énergétique	<input type="radio"/>				

31. Depuis Septembre 2011, avez-vous eu une modification de votre revenu dans votre foyer ?

- Oui
- Non

Si vous avez répondu « Oui » à la question précédente [31], veuillez répondre à la question [31.1]. Sinon, aller à la question [32].

31.1. Merci de préciser :

- Une augmentation de 10 à 20%
- Une augmentation de plus de 20%
- Une diminution de 10 à 20%
- Une diminution de plus de 20%

-----VOS PRATIQUES ENERGETIQUES -----

32. Avez vous dans votre entourage (famille, voisins ou amis) des personnes qui ont réalisé des investissements pour améliorer la performance énergétique de leur logement (par exemple dans l'isolation, le renouvellement de la chaudière pour réduire la consommation, les équipements utilisant les énergies renouvelables ...etc) ?

- Aucune personne
- Une minorité dans mon entourage
- Environ la moitié de mon entourage
- La plus grande partie de mon entourage
- Ne sais pas

33. Combien d'ampoules à basse consommation possédez-vous ?

- 0 ampoule
- De 5 à 10 ampoules
- De 6 à 10 ampoules
- De 11 à 15 ampoules
- De 16 à 20 ampoules
- De 21 à 25 ampoules
- Plus de 25 ampoules

34. Avez vous dans votre entourage (amis, voisins ou famille) des personnes qui utilisent des ampoules à basse consommation ?

- Aucune personne
- Une minorité dans mon entourage
- Environ la moitié de mon entourage
- La plus grande partie de mon entourage
- Ne sais pas

35. Lorsque vous avez terminé d'utiliser votre petit électroménager (ex : micro-onde, machine à café, grille pain ...), les laissez vous généralement en « mode veille » et branchés sur la prise électrique ?

- Oui
- Non

36. Concernant l'usage de votre ordinateur à la maison, seriez vous prêt à l'éteindre si votre prochaine utilisation intervient dans :

	Oui	Non
15 minutes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
30 minutes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1 heure	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Plus d'une heure	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



37. Éteignez-vous les lumières des pièces inoccupées ?
Merci de donner une réponse pour chacun des critères

	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord
Je le fais rarement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je le fais souvent, depuis longtemps (routine)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je le fais automatiquement sans y penser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je le fais inconsciemment	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je trouve difficile de ne pas le faire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

38. Reportez-vous l'utilisation de certains appareils électriques aux heures creuses (de 13h30 à 16h30 le jour et de 2h30 à 7h30 la nuit) (ex : Chauffe bain, machine à laver ...etc) ??
Merci de donner une réponse pour chacun des critères

	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord
Je le fais rarement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je le fais souvent, depuis longtemps (routine)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je le fais automatiquement sans y penser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je le fais inconsciemment	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je trouve difficile de ne pas le faire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

39. Lorsque vous ouvrez les fenêtres de votre logement, coupez-vous votre chauffage ou votre climatiseur ?

	Oui	Non
Été	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Demi-saison	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hiver	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

40. Pourriez-vous nous indiquer combien de temps ouvrez-vous vos fenêtres par jour ?

	15 minutes	30 minutes	1 heure	Plus d'une heure
Été	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Demi-saison	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hiver	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

41. Pouvez-vous illustrer vos pratiques face aux situations suivantes ?

	Toujours	Souvent	Quelquesfois	Rarement	Jamais
Je baisse/éteins le chauffage lorsqu'une pièce est inoccupée	<input type="radio"/>				
Je baisse/éteins le chauffage quand je quitte mon domicile pendant une longue période	<input type="radio"/>				
J'utilise des ampoules électriques à basse consommation	<input type="radio"/>				
J'éteins la lumière dans les pièces où il n'y a personne	<input type="radio"/>				
J'éteins le chauffage/radiateurs lorsque j'ouvre les fenêtres	<input type="radio"/>				
Quand j'achète un nouvel équipement électrique, je veille à sa consommation énergétique (étiquette)	<input type="radio"/>				
Lorsque je n'utilise plus un appareil disposant d'une position veille, je pense à l'éteindre complètement	<input type="radio"/>				

42. Individuellement, pensez-vous que vous pouvez contribuer à une meilleure performance énergétique de votre logement ?

- Oui
 Non

43. Personnellement quelles seraient les raisons qui vous pousseraient à changer votre consommation énergétique ?

	1	2
Des informations quotidiennes sur ma consommation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Des modifications de tarif	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Le bilan la performance énergétique de mon logement (chauffage, eau chaude sanitaire, lavage ...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Des conseils individuels pour mieux maîtriser ma consommation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Des aides financières pour m'aider à réaliser des travaux d'isolation dans mon logement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Une gestion automatisée de mes consommations (programmation chauffage, lancement d'appareils ...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Une comparaison de ma consommation par rapport à un groupe de référence dans ma commune ou dans mon département	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Une information sur les périodes de pointe de consommation sur le réseau	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limiter mon empreinte carbone	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Afin d'inciter les ménages à maîtriser leur consommation d'électricité, il y a plusieurs solutions envisageables, dont celles qui affectent directement le prix de l'électricité. Ces dernières peuvent être classées dans deux groupes. En résumé, soit on augmente le prix de l'énergie pour tous les ménages (l'idée est que si l'énergie est plus chère, les ménages feront plus attention), soit on réduit le prix de l'énergie SEULEMENT pour les ménages qui font des efforts. Ceci étant dit,

44. Parmi les deux options suivantes, laquelle choisiriez-vous ?

- « L'augmentation du prix de l'électricité pour tous est un bon moyen pour inciter les ménages à faire des efforts de maîtrise de leur consommation d'électricité (cette augmentation ne s'appliquerait pas aux tarifs de première nécessité dont bénéficient les ménages à très faibles revenus) »
- « Un ménage devrait être récompensé financièrement (par une ristourne sur facture annuelle) chaque fois qu'il arrive à ne pas dépasser un niveau de consommation (déterminé avec son fournisseur) »

45. L'expérience TicElec vous-a-t-elle servi à mieux maîtriser votre consommation et votre budget électricité ?

- Beaucoup
 Un peu
 Très peu
 Pas du tout
 Ne sais pas



46. Pensez-vous avoir changé certaines pratiques de consommation énergétiques grâce à cette expérience ?

- Oui
- Non

Si vous avez répondu « Oui » à la question précédente [46], veuillez répondre à la question [46.1]. Sinon, aller à la question [47].

46.1. Ce changement a-t'il été provoqué principalement par :

- Des discussions avec votre entourage direct (famille, voisins ou amis)
- Une meilleure information
- Des changements au sein de votre foyer
- Pour réduire votre facture énergétique
- Par une prise de conscience des postes les plus énergivores au sein de votre logement
- Par une volonté de réduire votre empreinte écologique

47. A quel moment de la journée pensez-vous consommer le plus d'électricité ?

Vous pouvez cocher plus d'une réponse

- Le matin
- Le midi
- L'après-midi
- Le soir en rentrant du travail
- La nuit

48. Parmi ces propositions, sélectionnez les trois usages qui selon vous consomment le plus ?

Veuillez ne sélectionner que 3 réponses

- L'eau chaude sanitaire
- Le multimédia (TV, ordinateur ...)
- L'éclairage
- Le réfrigérateur
- Le chauffage électrique
- Le lave-vaisselle
- Le lave-linge
- Les plaques/four électrique

49. D'une manière générale, pensez-vous pouvoir contribuer individuellement à la protection de l'environnement ?

- Non
- Oui, un peu
- Oui, beaucoup
- Ne sais pas

50. Personnellement, quelles seraient les raisons qui vous pousseraient à adopter des habitudes énergétiques plus respectueuses de l'environnement

Merci d'indiquer en 1, votre principal critère, en 2, votre second critère ... etc

	1	2	3	4	5
Si vous êtes mieux informé	<input type="radio"/>				
Si cela ne vous coûte pas plus cher	<input type="radio"/>				
Si cela ne diminue pas votre qualité de vie	<input type="radio"/>				
Si tout le monde fait çancombrement	<input type="radio"/>				
Rien de tout cela	<input type="radio"/>				

Vous avez atteint la fin de ce questionnaire. Nous restons à votre disposition pour toute assistance par téléphone dans le remplissage du questionnaire ou pour toute autre information complémentaire .

Envoyer

Nous contacter :



info-projet@ticelec.fr



06.69.43.13.00

Site internet:



http://ticelec.fr



Bibliographie

- Abrahamse, W., Steg, L., Vlek, C. & Rothengatter, T. 2005. *A review of intervention studies aimed at household energy conservation*, Journal of Environmental Psychology, Vol. 25, issue 3, pp. 273-291.
- Abrahamse, W., Steg, L., Vlek, C. & Rothengatter, T. 2007, *The effect of tailored information, goal setting, and tailored feedback on household energy use, energy-related behaviors, and behavioral antecedents*, Journal of Environmental Psychology, Vol. 27 No. 4, pp. 265-276.
- ACCENTURE, 2011. *Revealing the values of the new energy consumer*. Accenture end-consumer observatory on electricity management 2011, Accenture.
- ADEME, 2010. *Loisirs, cuisine, bureautique... Maîtrisez la consommation de vos équipements électriques*.
- ADEME, 2011. *Guide de l'éco-résponsabilités*. [Online] Available at: <http://www.ecoresponsabilite.ademe.fr/files/download/guide-AER-en-ligne.pdf>
- ADEME, 2012. *Chiffres Clés du Bâtiment - Énergie-Environnement*.
- ADEME, 2013. *Espace Éco-citoyens - ADEME*. [Online] Available at: <http://ecocitoyens.ademe.fr/>
- Agence Bio, 2012. *Baromètre de consommation et de perception des produits biologiques en France*, Etude No. 1201517 - Edition 2012.
- Ajzen, I., 2002. *Residual Effects of Past on Later Behavior: Habituation and Reasoned Action Perspectives*, Personality and Social Psychology Review, Vol.6 No. 2, pp. 107-122.
- Ake, K., Justiniano, C., Morrill, M. & Woods, M. 2011, *Reducing Household Carbon Footprints: A Program to Engage the Mass Audubon Community*, Massachusetts Audubon Society & Tufts University Department of Urban & Environmental Policy and Planning, MA.

- Alcott, H., 2009. *Social Norms and Energy Conservation*. [Online] Available at: <http://web.mit.edu/allcott/www/papers.html> Washington, D.C.: American Council for an Energy-Efficient Economy.
- Allen, D. & Janda, K. 2006, *The effects of household characteristics and energy use consciousness on the effectiveness of real-time energy use feedback: a pilot study*, Proceedings of the ACEEE 2006 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 7, American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC, pp. 1-12.
- Allibe, B., 2012. *Modélisation des consommations d'énergie du secteur résidentiel français à long terme*, Thèse - Spécialité Economie de l'environnement et des ressources naturelles .
- Arnsperger, C. & Varoufakis, Y., 2006. *What is neoclassical economics? The three axioms responsible for its theoretical oeuvre, practical irrelevance and, thus, discursive power*, Post-Autistic Economics Review, Vol.38, pp. 1-10.
- ATEFO, 2007. *Etat et avenir de la consommation durable : vers une gouvernance de la consommation ?*, Lancement du Réseau Citoyen pour la Consommation Durable .
- Ayres, I., Raseman, S. & Shih, A. 2009, *Evidence from two large field experiments that peer comparison feedback can reduce residential energy usage*, Working Paper Series No. 15386, NBER, Cambridge, MA.
- Bandura, A., 1986. *Social Foundations of Thought and Action: A Social Cognitive Theory*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Banfi, S., Farsi, M., Filippini, M. & Jakob, M., 2008. *Willingness to Pay for Energy-Saving Measures in Residential Buildings*, Energy Economics, Vol. 30, issue 2, pp. 503-516.
- Banque Mondiale, 2013. *Consommation d'électricité KWh par habitant*. [Online] Available at: <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/EG.USE.ELEC.KH.PC>
- Bartiaux, F. 2006, *Do information and awareness work? Mental compartmentalisation and consumers' behaviours*, in Andersen, M.M. and Tukker, A. Eds, Proceedings of the Workshop of the Sustainable Consumption Research Exchange Network, Changes to

- Sustainable Consumption, Score Report, Copenhagen, April 20-21, pp. 23-36, available at: www.score-network.org
- Bee, R., 2007. *Changement climatique et réchauffement planétaire*, Etats-Unis: Foreign Policy Association.
- Benders, R.M., Kok, R., Moll, H.C., Wiersma, G. & Noorman, K.J. 2006, *New approaches for household energy conservation – in search of personal household energy budgets and energy reduction options*, Energy Policy, Vol. 34 No. 18, pp. 3612-3622.
- Berkhout, F., Muskens, J. C. & Velthuisen, J. W., 2000. *Defining the rebound effect*. Energy Policy Vol.28, N.6-7, pp 425-432.
- Bertoldi, P., Hirl, B. & Labanca, N., 2012. *Energy Efficiency Status Report 2012 : Electricity Consumption and Efficiency Trends in the EU-27*, JRC Scientific and Policy Reports. Report EUR 25405 EN.
- Binswinger, M., 2004. *Time-saving innovations and their impact on energy use: some lessons from a household-production-function approach*. International Journal of Energy Technology and Policy, Vol. 2, No. 3, pp. 209-218.
- Brandon, G. & Lewis, A., 1999. *Reducing Household Energy Consumption: a Qualitative and Quantitative Field Study*, Journal of Environmental Psychology, Vol. 19, issue 1, pp. 75-85.
- Brisepierre, G., 2013. *Analyse sociologique de la consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels et tertiaires*, ADEME.
- Brookes, L., 1978. *Energy Policy, The Energy Price Fallacy and the Role of Nuclear Energy in the UK*. Energy Policy Vol.6, No.1, pp. 94-106.
- Brug, J., De Vet, E., De Nooijer, J. & Verplanken, B., 2006. *Predicting fruit consumption: Cognition, motivation, and habits*, Journal of Nutrition and Behavior, Vol. 38, No. 2, pp.73-81.
- Buensdorf, G. & Cordes, C., 2008. *Can sustainable consumption be learned? A model of cultural evolution*, Ecological Economics Vol. 67, issue 4, pp. 646-657.

- Buenstorf, G., 2004. *The Economics of Energy and the Production Process: An Evolutionary Approach*. Edward Elgar, Cheltenham, University of Kassel, Germany, 203p.
- Burkett, J. P., 2006. *Microeconomics: Optimization, Experiments and Behavior*, Oxford University Press, New York.
- Carroll, E. & Brown, M., 2009. *Research to Inform Design of Residential Energy Use Behavior Change Pilot*. Conservation Improvement Program Presentation for the Minnesota Office of Energy Security. July Franklin Energy.
- Carroll, E., Hatton, E. & Brown, M., 2009. *Residential Energy Use Behavior Change Pilot*. CMFS project code B21383. April Franklin Energy.
- Case, M., Brutts, M. & Harbaugh, W., 2008. *AMI/Smart Energy Pricing SEP Update Presentation—October 15 2008*. Baltimore, Md.: Baltimore Gas and Electric.
- Casteran, B. & Ricroch, L., 2008. *Les logements en 2006*, INSEE PREMIERE No. 1202., Juillet 2008.
- Cayla, J.-M., 2011. *Les ménages sous la contrainte carbone : exercice de modélisation prospective des secteurs résidentiel et transports avec TIMES*, Economies and finances. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- CDC Climat, 2013. *Chiffres clés du climat : France et Monde*, Service de l'observation et des statistiques.
- CEA, 2011. *Unlocking the Potential of the Smart Grid—A Regulatory Framework for the Consumer Domain of Smart Grid*. Arlington, USA: Consumer Electronics Association CEA.
- CEGDD, 2008. *TIC et Développement Durable*.
- Centre d'analyse stratégique, 2013. [Online] Available at: <http://www.strategie.gouv.fr/content/limiter-effet-rebond-efficacite-energetique-logement-na320>

- Chappells, H. & Shove, E., 2005. *Debating the Future of Comfort: Environmental Sustainability, Energy Consumption and the Indoor Environment*. Building Research and Information, Vol. 33, No. 1, pp. 32-40.
- Chick, M. 2002, *Le tarif vert retrouve: the marginal cost concept and the pricing of electricity in Britain and France, 1945-1970*, The Energy Journal, Vol. 23 No. 1, pp. 97-116.
- Clastres, C. 2011, *Smart grids : another step towards competition, energy security and climate change objectives*, Energy Policy, Vol. 39 No. 9, pp. 5399-5408.
- Cowan, R. 1990, *Nuclear power reactors: a study in technological lock-in*, The Journal of Economic History, Vol. 50 No. 3, pp. 541-567.
- CREDOC, 2013. *Comment limiter l'effet rebond des politiques d'efficacité énergétique dans le logement ?*, Centre d'analyse stratégique; Note d'analyse No. 320.
- CREDOC, Dujin, A., Poquet, G. & Maresca, B., 2007. *La maîtrise des consommations dans les domaines de l'eau et de l'énergie*, Cahier de recherche No. 237.
- Crosbie, T., 2006. *Household energy studies: The gap between theory and method*. Energy & environment, Vol. 17, issue 5, pp 735 – 753.
- Daamen, D. D. L., Staats, H., Wilke, H. A. M. & Engelen, M., 2001. *Improving environmental behavior in companies. The effectiveness of tailored versus nontailored interventions*. Environment and Behavior, Vol. 33, No. 2 , pp. 229-248.
- Darby, S. 2010. *Smart metering: what potential for householder engagement?*. Building Research & Information, Vol. 38 No. 5, pp. 442-457.
- Darby, S., 2000. *Making it obvious: Designing feedback into energy consumption*, In Proceedings of the 2nd International Conference on Energy Efficiency in Household Appliances and Lighting. Naples, Italy: Italian Association of Energy Economists/ECSAVE Programme..
- Darby, S., 2005. *Learning about energy - how will low-impact energy use become a way of life*, Proceedings of the European Council for an Energy Efficient Economy. Vol. 7, pp. 1335-1342.

- Darby, S., 2006a. *The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption: A Review for DEFRA of the Literature on Metering, Billing and Direct Displays.*, Oxford, UK: Environmental Change Institute, University of Oxford.
- Darby, S., 2006b. *Social learning and public policy: lessons from an energy-conscious village*, Energy Policy, Vol. 34, issue 17, pp. 2929-2940.
- Davis, L. W., 2008. *Durable Goods and Residential Demand for Energy and Water: Evidence from a Field Trial*. RAND Journal of Economics, Vol. 39, No. 2, pp. 530-546.
- De Almeida, E. L. F., 1998. *Energy Efficiency and the Limits of Market Forces: The Example of the Electric Motor Market in France*. Energy Policy, Vol. 26, No. 5, pp 441-454.
- DeCanio, S.J. 1998, *The efficiency paradox: bureaucratic and organizational barriers to profitable energy-saving investment*, Energy Policy, Vol. 26 No. 5, pp. 441-454.
- Dessus, B., 2008. *Energie et climat : réalités, enjeux et priorités*. Géoéconomie 2008/1, Issue 44, pp. 11-31.
- DEWHA, 2008. *Energy use in the Australian residential sector 1986-2020*. Canberra: Australian Government : Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts.
- Direction générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature, 2010. *Le Grenelle Environnement et le bâtiment*.
- Direction générale de l'énergie et du climat, 2014. *Plan d'action de la France en matière d'efficacité énergétique*.
- EEA, 2013. *Trends and projections in Europe 2013 – Tracking progress towards Europe's climate and energy targets until 2020*, No. 10.
- Ehrhardt-Martinez, K. & Garrison-Institut, 2012. *Engaging Households and Saving Energy through Smart Feedback Initiatives*.
- Ehrhardt-Martinez, K., Donnelly, K. & Laitner, J. 2010. *Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs: A Meta-Review for Household Electricity-Saving Opportunities*, American Council for an Energy Efficient Economy, Washington, DC.

- Ek, K. & Söderholm, P. 2010, *The devil is in the details: household electricity saving behavior and the role of information*, Energy Policy, Vol. 38 No. 3, pp. 1578-1587.
- Electric Power Research Institute, 2009. *Residential Electricity Use Feedback: A Research Synthesis and Economic Framework*, Palo Alto.
- Elliott, J., Martinez, M., Mitchell-Jackson, J. & Williamson, C., 2006. *The California Bill Analysis Pilot: Using Web-Based Bill Analysis as a Tool to Reduce On-Peak Demand*, Washington, D.C.: American Council for an Energy-Efficient Economy.: In Proceedings of the ACEEE 2006 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 2, pp 94–105.
- Enerdata & ADEME, 2012. *Energy Efficiency Trends in Buildings in the EU*.
- ENERDATA, 2014. *Global Energy Statistical Yearbook 2014*. [Online] Available at: <https://yearbook.enerdata.net/energy-intensity-GDP-by-region.html> [Accessed 2015].
- ENERDATA, 2014. *Global Energy Statistical Yearbook*. [Online] Available at: <https://yearbook.enerdata.net/energy-intensity-GDP-by-region.html>
- EPRI 2009, *Residential electricity use feedback: a research synthesis and economic framework*, Report No. 1016844, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA.
- EUROPEAN COMMISSION, 2009. *Europeans' attitudes towards climate change*, Special Eurobarometer 313.
- European Environment Agency, 2013. *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990 - 2011 and inventory report 2013*. [Online] Available at: http://www.eea.europa.eu/publications/european-union-greenhouse-gas-inventory-2013/at_download/file
- European Environment Agency, 2013. *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-...2011 and inventory report 2013*, No. 8.
- Eurostat 2013, available at: http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Electricity_and_natural_gas_prices_statistics#Electricity_household_consumers accessed January 6, 2014.

- Farhar, B. & Fitzpatrick, C., 1989. *Effects of Feedback on Residential Electricity Consumption: A Literature Review*, Golden, Colorado: Solar Energy Research Institute.
- Faruqui, A., Sergici, S. & Sharif, A., 2010. *The impact of informational feedback on energy consumption - a survey of the experimental evidence*. Energy Vol. 35, issue 4. pp 1598-1608.
- Finon, D. & Glachant, J.M. 2008, *La hausse inéluctable des prix de l'électricité en France: faut-il corriger les effets de l'intégration du marché européen?*, Revue de l'Energie, Vol. 581, pp. 5-16.
- Fischer, C., 2007. *Influencing Electricity Consumption via Consumer Feedback: A Review of Experience*, In Proceedings of the ECEEE 2007 Summer Study on Energy Efficiency, Vol. 9, pp 1873–1884..
- Fitzpatrick, G. & Smith, G., 2009. *Technology-enabled feedback on domestic energy consumption: articulating a set of design concerns*. Pervasive Computing, European Council for an Energy-Efficient Economy Vol. 8, pp37–44.
- Flipo, F. & Gossart, C., 2009. *Infrastructure numérique et environnement : l'impossible domestication de l'effet rebond*, Terminal, pp.163-178.
- Frachet, L., 2013. *Tarifs résidentiels pour la réduction de la consommation électrique : une évaluation expérimentale d'acceptation et d'impact*, Université de Grenoble.
- Galbraith, J. K., 1988. *Time and the New Industrial State*, The American Economic Review, Vol. 78, No. 2, pp 373-376.
- Galvin Electricity Initiative, 2007. *The Path to Perfect Power: New Technologies Advance Consumer Control*, Palo Alto, CA: Galvin Electricity Initiative.
- Gardner, G. & Stern, P., 2002. *Environmental Problems and Human Behaviour*, Boston, MA: Pearson,.
- Gaz in Focus, 2013. *Observatoire du Gaz*. [Online] Available at: <http://www.gasinfocus.com/>

- GEIC - Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, 2001. *Bilan 2001 des changements climatiques : Les éléments scientifiques*.
- Geller, E. S., 1981. *Evaluating energy conservation programs: Is verbal report enough?*. Journal of Consumer Research, Vol. 8, pp 331–335.
- Geller, H. 2007, *Qu'est-ce qu'une politique énergétique efficace?*, Magazine alternatives, N113, 1er trimestre.
- Geoffron, P. & Monjon, S., 2011. *Quel mix énergétique pour la France ?*. Cahiers français, No. 366, pp 61-65.
- Geoffron, P., 2011. *Quels modèles économiques pour les smart grid*. CRE — 1er mars 2011.
- GLOBAL CHANCE, 2013. *La situation énergétique de la France : Etat des lieux*. [Online] Available at: http://www.transition-energetique.gouv.fr/sites/default/files/etat_des_lieux_france_1.pdf
- Gonzales, M. H., Aronson, E. & Costanzo, M., 1988. *Increasing the effectiveness of energy auditors: A field experiment*. Journal of Applied Social Psychology. Vol. 18, pp 1046–1066.
- Goodwin, N. R., Ackerman, F. & Kiron, D., 1997. *The Consumer Society*, Island Press, Washington D.C.
- Greening, L., Green, D. & Difiglio, C., 2000. *Energy Efficiency and Consumption - The Rebound Effect – A Survey*. Energy Policy, Vol. 28, No. 67, pp 389-401.
- Grepperud, S. & Rasmussen, I., 2004. *A General Equilibrium Assessment of Rebound Effects*. Energy Economics Vol. 26, No. 2, pp 261–282.
- Grønhøj, A. & Thøgersen, J., 2011. *Feedback on household electricity consumption: learning and social influence processes*. International Journal of Consumer Studies ISSN 1470-6423 ed. Aarhus, Denmark: Department of Marketing and Statistics, Aarhus School of Business, Aarhus University.
- Guy, S. & Shove, E., 2000. *A Sociology of Energy Buildings and the Environment*. London: Routledge.

- Halkier, B. 2001, *Routinisation or reflexivity? Consumers and normative claims for environmental considerations*, in Gronow, J. and Warde, A. Eds, *Ordinary Consumption*, Routledge, London and New York, NY, pp. 25-44.
- Hargreaves, T., Nye, M. and Burgess, J. 2010, *Making energy visible: a qualitative field study of how householders interact with feedback from smart energy monitors*, *Energy Policy*, Vol. 38 No. 10, pp. 6111-6119.
- Hayek, F., 1945. *The Use of Knowledge in Society*, *American Economic Review*, Vol. 35, No. 4, pp 519-530.
- Hayes, S. C. & Cone, J. D., 1977. *Reducing Residential Electrical Energy Use: Payments, Information, and Feedback*. *Journal of Applied Behavior Analysis*, Vol. 10 issue 3, pp. 425-435.
- Herring, H., 2004. *The Rebound Effect and Energy Conservation*. Dans CLEVELAND, C. ed., *The Encyclopaedia of Energy*, Academic Press/Elsevier Science.
- Herter, K., McAuliffe, P. & Rosenfeld, A., 2007. *An exploratory analysis of California residential customer response to critical peak pricing of electricity*, *Energy*, Vol. 32, pp. 25-34.
- Hertwich, E. G., 2005. *Consumption and the Rebound Effect: An Industrial Ecology Perspective*. *Environmental Science & Technology*, Vol. 39, No. 13, pp. 4673-4684.
- Horst, G. R., 2006. *Woodridge Energy Study & Monitoring Pilot*. Enabling Technologies, Benton Harbor, Michigan: Whirlpool Corporation
- Houde, S., Todd, A., Sudarshan, A., Flora, J., Armel, C. 2013. *Real-time Feedback and Electricity Consumption : A Field Experiment Assessing the Potential for Savings and Persistence*. *The Quarterly Journal of the IAEE's Energy Economics Education Foundation*, *Energy Journal Issues* Vol. 34, No. 1, p. 87.
- Hutton, R., Mauser, G. A., Filiatrault, P. & Ahtola, O. T., 1986. *Effects of cost-related feedback on consumer knowledge and consumption behavior: a field experimental approach*. *Journal of Consumer Research*. Vol. 13, No. 3, pp. 327-336.
- IAE 2012, *IAS statistics*, Electricity information, OCDE report, International Agency Energy.

- ICEDD, 2013. *Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable*. [Online]
Available at: <http://www.icedd.be/atlasenergie/pages/atlas.asp?article=eecotx01>
- INSEE, 2006. *Enquêtes Budget de famille 2006*. [Online]
Available at: <http://www.insee.fr/fr/publications-et-services/irweb.asp?id=BDF06>
- INSEE, 2006. La consommation des ménages en TIC depuis 45 ans. *INSEE PREMIERE*, No. 1101, Septembre 2006.
- INSEE, 2010. *Les dépenses d'énergie des ménages depuis 20 ans : Une part en moyenne stable dans le budget, des inégalités accrues*. [Online]
Available at: <http://www.insee.fr/fr/ffc/ipweb/ip1315/ip1315.pdf>
- INSEE, 2015. *De plus en plus de foyers équipés de biens électroniques*. [Online]
Available at: http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=0&ref_id=if20
[Accessed Octobre 2015].
- Jardine, C., Boardman, B., Osman, A., Vowles, J., Palmer, J. 2005. *Methane UK*. Environmental Change Institute Research Report Number 30. [Online]
Available at: <http://www.eci.ox.ac.uk/research/energy/downloads/methaneuk/methaneukreport.pdf>
- JRC, 2012. *Energy efficiency status report*, Centre Européen de Recherche - Joint Research Centre.
- Karlin, B., Davis, N., Sanguinetti, A., Gamble, K., Kirkby, D. & Stokols, D. 2014, *Dimensions of conservation exploring differences among energy behaviors*, Environment and Behavior Mayvol, Vol. 46 No. 4, pp. 423-452.
- Katzev, R. D. & Johnson, T. R., 1983. *A social psychological analysis of residential electricity consumption: The impact of minimal justification techniques*. Amsterdam: North-Holland: Journal of Economic Psychology, Vol. 3, pp. 267-284.
- Kempton, W. & Montgomery, L., 1982. *Folk quantification of energy*. Energy - The International Journal. Vol. 7, No. 10, pp. 817-827.

- Kendel, A. & Lazaric, N. 2015. *The diffusion of smart meters in France: A discussion of the empirical evidence and the implications for smart cities*. Journal of Strategy and Management. Vol. 8, issue 3, pp 231-234
- Kendel, A., Lazaric, N. & Maréchal., K. 2015. *What do people 'learn by looking' at direct feedback on their energy consumption? Results of a field study in Southern France*. Energy Journal (en cours de publication).
- Keppler, J.H. & Cometto, M. 2013, *L'interaction entre les énergies nucléaire et renouvelables et ses effets systémiques dans les réseaux électriques bas carbone*, Annales des Mines-Responsabilité et environnement, Vol. 69 No. 1, pp. 29-35.
- Keynes, J. M., 1937. *The General Theory of Employment* , Quarterly Journal of Economics, No. 51, pp. 209-223.
- Khazzoom, D., 1980. *Economic implications for mandated efficiency in standards for household appliances*. The Energy Journal, Vol. 1, pp. 21–40.
- Khazzoom, D., 1987. *Energy Saving Resulting from the Adoption of More Efficient Appliances*. The Energy Journal, Vol. 8, No. 4, pp. 85-89.
- King, D. A., 2004. *Climate Change Science: Adapt, Mitigate, or Ignore?*, Science, Vol. 303, No. 5655, pp. 176-177.
- Kluger, A. N. & DeNisi, A., 1996. *The effects of feedback interventions on performance : Historical review, a meta-analysis and preliminary feedback intervention theory*. Psychological Bulletin, Vol. 119, pp. 254-284.
- Kreuter, M., Farrell, D., Olevitch, L. & Brennan, L., 1999. *Tailoring health messages : customizing communication with computer technology*. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Publisher. Vol. 11, Issue 6, pp 542-543.
- Laffont, J. J., 1975. *Macroeconomic Constraints, Economic Efficiency and Ethics : An Introduction to Kantian Economics*. Economica, vol.42, No. 168, pp. 430-437.
- Laitner, J. A., Ehrhardt-Martinez, K. & McKinney, V., 2009a. *Examining the Scale of the Behaviour Energy Efficiency Continuum*. in ECEEE 2009 Summer Study: Act!

- Innovate! Deliver! Reducing Energy Demand Sustainably. La Colle sur Loup, France: European Council for an Energy-Efficient Economy.
- Lee, F. S. & Keen, S., 2004. *The Incoherent Emperor: A Heterodox Critique of Neoclassical Microeconomic Theory*, *Review of Social Economy*, Vol. 62, No. 2, pp. 169-199.
- Legendre, A., 2009. *L'homme est-il responsable du réchauffement climatique*. EDP Sciences. Bulles de sciences. 307p.
- Lehman, P.K. & Geller, E.S. 2005, *Behavior analysis and environmental protection: accomplishments and potential for more*, *Behavior and Social Issues*, Vol. 13 No. 1, pp. 13-32.
- Litvine, D. & Wüstenhagen, R., 2011. *Helping Light green consumers walk the talk: results of a behavioural intervention survey in the Swiss electricity market*, *Ecological Economics*, No. 70, pp. 462-474.
- Lundvall, B.Å., Johnson, B., Andersen, E.S. & Dalum, B. 2002, *National systems of production, innovation and competence building*, *Research Policy*, Vol. 31 No. 2, pp. 213-231.
- Lutzenhiser, L., 1993. *Social and Behavioural Aspects of Energy Use*. *Annual Review: Energy and Environment*, Vol. 18, pp. 247 -289.
- Lynas, M. 2007, *Carbon Counter: Calculate your Carbon Footprint*, Harper Collins, Glasgow.
- MacLellan, D. 2008, *Power cost monitor pilot – NSTAR*, *Proceedings of the 2008 Behavior, Energy, and Climate Change Conference*, Sacramento, November 19.
- Madlener, R. & Alcott, B., 2009. *Energy Rebound and Economic Growth: A Review of the Main Issues and Research Needs*. *Energy*, Vol. 34, No. 3, pp. 370-376.
- Mandil, C., Geoffron, P. & Chevalier, J.-M., 2011. *Les nouveaux défis de l'énergie : climat, économie, géopolitique*. *Economica*, 298p.
- Manral, L. 2010, *Towards a theory of endogenous market structure in strategy: exploring the endogeneity of demand-side determinants of firm investment strategy and market structure*, *Journal of Strategy and Management*, Vol. 3 No. 4, pp. 352-373.

- Manral, L. 2011, *Evolution of industries based on systemic technologies: how demand environment influences firm investment strategy?*, Journal of Strategy and Management, Vol. 4 No. 4, pp. 384-403.
- Maréchal, K. & Lazaric, N. 2009, *Changing habits and routines in energy consumption: how to account for both individual and structural influences while integrating the motivational dimension*, working paper, Centre for Economic and Social Studies on the Environment, Université Libre de Bruxelles.
- Maréchal, K. & Lazaric, N. 2010, *Overcoming inertia: insights from evolutionary economics into improved energy and climate policies*, Climate Policy, Vol. 10 No. 1, pp. 103-119.
- Maréchal, K. 2009, *An evolutionary perspective on the economics of energy consumption: the crucial role of habit*, Journal of Economic Issues, Vol. 43 No. 1, pp. 69-88.
- Maréchal, K. 2010, *Not irrational but habitual: the importance of 'behavioural lock-in' in energy consumption*, Ecological Economics, Vol. 69 No. 5, pp. 1104-1114.
- Maresca, B., Dijon, A. & Picard, R., 2009. *La Consommation d'Énergie dans l'Habitat entre Recherche de Confort et Impératif Ecologique*. Cahier de recherche No. 264, Décembre 2009, 87p.
- Martinez, M. S. & Geltz, C. R., 2005. *Utilizing a pre-attentive technology for modifying customer energy usage*, In Proceedings of the ECEEE 2005 Summer Study, Vol. 7, pp. 3–11. European Council for Energy-Efficient Economy.
- Marty, F. 2007, *La sécurité de l'approvisionnement électrique* Revue de l'OFCE, Vol. 101 No. 2, pp. 421-452.
- McCalley, L. T. & Midden, C. J. H., 2002. *Energy conservation through product-integrated feedback: The roles of goal-setting and social orientation*. Journal of Economic Psychology, Vol. 23, pp. 589-603.
- Meissner, F., 1974. *Economics and the Public purpose by John Kenneth Galbraith*, The Journal of Marketing, Vol. 11, pp. 37-58.

- Mizobuchi, K. & Takeuchi, K. 2013, *The influences of financial and non-financial factors on energy-saving behaviour: a field experiment in Japan*, Energy Policy, Vol. 63 No. C, pp. 775-787.
- MNE/CRE, 2012. *Baromètre annuel Energie-Info sur l'ouverture des marchés*. [Online] Available at: <http://www.cre.fr/documents/publications/etudes/6eme-barometre-annuel-energie-info-sur-l-ouverture-des-marches/consulter-la-synthese> [Accessed 2015].
- Moreau, L. & Wibrin, A. L., 2005. *Energy-related practices, representations and environmental knowledge: a sociological study*, ECEEE Summer Study Proceedings. WHAT WORKS & WHO DELIVERS. pp. 1301-1312.
- Morgan, S. L. & Winship, C., 2007. *Counterfactuals and Causal Inference: Methods and Principles for Social Research*, Analytical Methods for Social Research. New York: Cambridge University Press, 328pp.
- Moscatti, E. G. I., 2003. *History of Neoclassical Consumer Theory: A Neo-Kantian Epistemological Perspective*, La matematica nella storia dell'economia, Primo Workshop, Torino, 30p.
- Mountain, D. 2008, *Real-Time Feedback and Residential Electricity Consumption: British Columbia and Newfoundland and Labrador Pilots*, Mountain Economic Consulting and Associates Inc., Ontario.
- Mountain, D. C., 2006. *The Impact of Real-Time Feedback on Residential Electricity Consumption: The Hydro One Pilot*, Mountain Economic Consulting and Associates Inc.: Ontario. 4 p.
- Nair, G., Gustavsson, L. & Mahapatra, K. 2010, *Factors influencing energy efficiency investments in existing Swedish residential buildings*, Energy Policy, Vol. 38 No. 6, pp. 2956-2963.
- Nelson, R. R. & Winter, S. G., 1982. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge: Harvard University Press.

- NERA, 2008. *Cost Benefit Analysis of Smart Metering and Direct Load Control. Work Stream 4: Consumer Impacts*. Sydney: Phase 2 Consultation Report, NERA Economic Consulting, prepared for the Ministerial Council of Energy Smart Meter Working Group.
- 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, Vol. 21, No. 11, pp. 1133–1144.
- North, D. C., 1990. *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Observatoire de l'Industrie Electrique, 2013. [Online] Available at: <http://www.observatoire-electricite.fr/Evolution-de-la-consommation>
- ODYSEE, 2012. *Base de données ODYSSEE sur les indicateurs d'efficacité énergétique, gérée par Enerdata*.
- Ölander, F. & Thøgersen, J., 1995. *Understanding of consumer behaviour as a prerequisite for environmental protection*, Journal of Consumer Policy, No. 18, pp. 345–385.
- ORE - PACA, *Observatoire Régional de l'Energie - Provence-Alpes-Côte d'Azur*. [Online] Available at: <http://ore.regionpaca.fr/maitrise-de-lenergie.html>
- ORE, 2013. *Consommation régionale d'énergie finale - Bilan 2011*. [Online] Available at: http://www.ofme.org/bois-energie/documents/Energie/2013_REGION_ORE_brochure_energie.pdf
- Oulette, J. & Wood, W., 1998. *Habit and Intention in Everyday Life: The Multiple Processes by Which Past Behavior Predicts Future Behavior*, Psychological Bulletin, Vol. 124, No. 1, pp. 54-74.
- Parker, D., Hoak, D. & Cummings, J., 2008. *Pilot Evaluation of Energy Savings from Residential Energy Demand Feedback Devices*, Report FSEC-CR-1742-08 Washington, D.C.: U.S. Department of Energy.
- Parker, D.S., Hoak, D., Meier, A. & Brown, R. 2006, *How much energy are we using? Potential of residential energy demand feedback devices*, Proceedings of the ACEEE 2006 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 1, American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC, pp. 211-222.

- Pears, A., 2004. *Megawatts or negawatts distributed and demand side alternatives to new generation requirements*. Australia: Paper presented to Australian Institute of Energy Symposium - Energy in NSW 2004: A Strategic Review.
- Pehrsson, A. 2011, *Firms' customer responsiveness: relationships with competition, market growth, and performance*, Journal of Strategy and Management, Vol. 4 No. 4, pp. 347-364
- Petersen, J.E. Shunturov, V., Janda, K., Platt, G. & Weinberger, K. 2007, *Dormitory residents reduce electricity consumption when exposed to real-time visual feedback and incentives*, International Journal of Sustainability in Higher Education, Vol. 8 No. 1, pp. 16-33.
- Point Climat, 2013. *Les compteurs électriques communicants : une meilleure gestion du réseau, un effet incertain sur la maîtrise de la demande en énergie*, CDC Climat Recherche. NO. 31, Eclairage sur l'économie du changement climatique.
- Pruitt, B., 2005. *Salt River Project M-Power*, Presentation at the Second Annual Workshop for Energy Efficiency Program Design and Implementation in the Southwest.
- Reiss, P. C. & White, M. W., 2001. *Household Electricity Demand, Revisited*, Review of Economic Studies, Vol. 72, pp. 853-858.
- Ross, H. et al., 2010. *Understanding, enhancing and managing for social resilience at the regional scale: opportunities in North Queensland*. Report to the Marine and Tropical Sciences Research Facility. Reef and Rainforest Research Centre Limited, Cairns, Australia..
- Rovais, R., 2010. Des compteurs électriques intelligents... et chers. *Le Monde*, 10 06.
- RTE, 2009. *Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France*. [Online] Available at: http://www.rte-france.com/uploads/Mediatheque_docs/vie_systeme/annuelles/bilan [Accessed 2015].
- RTE, 2013a. *BILAN ÉLECTRIQUE DE LA RÉGION PACA*. [Online] Available at: http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/previsions_de_consommation_rte_v4_cle06bdba.pdf [Accessed 2015].

- RTE, 2013b. *Réseau de Transport d'Electricité*. [Online] Available at: www.rte-france.com
- Rudin, A., 2000. *Let's Stop Wasting Energy on Efficiency Programs - Energy Conservation as a Noble Goal*. *Energy and Environment*, Vol. 11, No. 5, pp. 539-551.
- Salies, E., 2010. *Penalizing consumers for saving electricity*, *Economics Bulletin*, Vol. 30, No. 2, pp. 1144-153.
- Samuelson, W. & Zeckhauser, R. 1988, *Status quo bias in decision making*, *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol. 1 No. 1, pp. 7-59.
- Schipper, L. & Grubb, M., 2000. *On the Rebound? Feedback Between Energy Intensities and Energy Uses in IEA Countries*. *Energy Policy* Vol.28, No. 67, pp. 367-388.
- Schleich, J., Klobasa, M., Gölz, S. & Brunner, M. 2013, *Effects of feedback on residential electricity demand – findings from a field trial in Austria*, *Energy Policy*, Vol. 61, pp. 1097-1106.
- Scott, K. 2008, *Energy trust of Oregon home energy monitor pilot*, *Proceedings of the 2008 Behavior, Energy, and Climate Change Conference*, November 19, Sacramento.
- Seaver, B. W. & Patterson, A. H., 1976. *Decreasing Fuel-Oil Consumption Through Feedback and Social Commendation*. *Journal of Applied Behavior Analysis*. Vol. 9, No. 2, pp. 147-152.
- Seligman, C., Becker, L. & Darley, J., 1978. *Behavioral Approaches to Residential Energy Conservation*. *Energy and Buildings* Vol. 1, Issue 3, pp. 325–337.
- Service de l'observation et des statistiques , 2013. *Bilan énergétique de la France pour 2012*, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. [Online] Available at:
- Service de l'observation et des statistiques, 2011. *Consommation des ménages et environnement*. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. [Online] Available at:

- Service de l'observation et des statistiques, 2013. *Chiffres clés des énergies renouvelables*, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. [Online] Available at: [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rep - chiffres cles energies.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rep_-_chiffres_cles_energies.pdf).
- Sexton, R., Brown-Johnson, N. & Konakayama, A., 1987. *Consumer Response to Continuous-display Electricity-use Monitors in a Time-of-use Pricing Experiment*, Journal of Consumer Research Vol. 14, No. 1, pp. 55–62.
- SGA, 2011. *Maximising consumer benefits*. Melbourne, Australia: Smart Grid Australia SGA.
- Shackle, G. L. S., 1973. *Epistemics and Economics*, Cambridge University Press.
- Shove, E. 2003a, *Converging conventions of comfort, cleanliness and convenience*, Journal of Consumer Policy, Vol. 26 No. 4, pp. 395-418.
- Shove, E., 2003b. *Comfort, cleanliness and convenience: the social organisation of normality*. Berg, Oxford and New York.
- Shove, E., 2003c. *Users, Technologies and Expectations of Comfort, Cleanliness and Convenience*. Innovation: European Journal of Social Science Research, Vol. 16, No. 2, pp. 193-206.
- Shove, E., 2005. *Changing human behaviour and lifestyle: a challenge for sustainable consumption?*. In: Consumption - Perspectives from ecological economics. Elgar, Cheltenham, pp. 111-132.
- Simon, H. A., 1945. *Administrative Behaviour - A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organizations*. New York, Free Press.
- Slavin, R., Wodarski, J. & Blackburn, B., 1981. *A group contingency for electricity conservation in master-metered apartments*, Journal of Applied Behavior Analysis. Vol. 14, pp375–363.
- SOeS, 2015. *Chiffres clés de l'énergie - Edition 2014*. [Online] Available at: <http://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-23961-chiffres-cles-energie-2014.pdf> [Accessed Octobre 2015].

- Sorrel, S. & Dimitriopoulos, J., 2005. *An Assessment of Evidence for a Rebound Effect from Improvements in Energy Efficiency: Scoping Note*. SPRU University of Sussex.
- Sorrell, S. & Dimitriopoulos, J., 2008. *The Rebound Effect: Microeconomic Definitions, Limitations and Extensions*. *Ecological Economics*, No. 65, pp. 636-649.
- Southerton, D., Chappell, H. & Vliet, B., 2004. *Sustainable Consumption: The Implications of Changing Infrastructures of Provision*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- SOWATT, Enerdata & ADEME, 2012. *French higher domestic specific electricity consumption Compared to Germany: Explanatory Factors Assessment*. Summary Report –France’s vs. Germany’s specific electricity consumption. [Online] Available at: <http://www.odyssee-mure.eu/publications/other/Summary-benchmark-electricity-EN.pdf>
- Staats, A. W., 1996. *Behavior and personality: Psychological behaviorism*. New York : Springer Publishing Company; 1 edition (September 3, 1996), 448p.
- Stern, N., 2006. The Stern Review Report : The Economics of Climate Change.. *London, HMTreasury*, 603 p.
- Stern, P. C., 1992. *What psychology knows about energy conservation*. *American Psychologist*. Vol. 47, No. 10, pp 1224–1232.
- Sweeney, J.C., Kresling, J., Webb, D., Soutar, G.N. and Mazzarol, T. 2013, *Energy saving behaviours: development of a practice-based model*, *Energy Policy*, Vol. 61, pp. 371-381.
- Teräväinen, T., Lehtonen, M. & Martiskainen, M. 2011, *Climate change, energy security, and risk – debating nuclear new build in Finland, France and the UK*, *Energy Policy*, Vol. 39 No. 6, pp. 3434-3442.
- Thaler, R.H. & Sunstein, C.R. 2009, *Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth, and Happiness*, 2008, Newhaven, Yale, MI.
- U.S Department of Energy, 2009. *The Smart Grid: An Introduction*, Washington, D-C. [Online] Available at: http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE_SG_Book_Single_Pages%281%29.pdf

- Ueno, T., Saeki, I. O. & Tsuji, K., 2005. *Effectiveness of displaying energy consumption data in residential houses: Analysis on how the residents respond*, In Proceedings of the European Council for Energy-Efficient Economy .ECEEE 2005 Summer Study - WHAT WORKS & WHO DELIVERS? Pp. 1289-1299.
- Ueno, T., Saeki, I.O. & Tsuji, K. 2005, *Effectiveness of displaying energy consumption data in residential houses: analysis on how the residents respond*, Proceedings of the ECEEE 2005 Summer Study, 6.100. European Council for Energy-Efficient Economy.
- Ueno, T.K. & Nakano, Y. 2006, *Effectiveness of displaying energy consumption data in residential buildings: to know is to change*, Proceedings of the ACEEE 2006 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 7, American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC, pp. 264-277.
- UFE, 2013. *L'intensité énergétique*. [Online] Available at: <http://ufe-electricite.fr/IMG/pdf/8.pdf>
- UFE, 2013. *Le panorama de la consommation d'énergie en France*. [Online] Available at: www.ufe-electricite.fr/IMG/pdf/5.pdf [Accessed 2015].
- Van Houwelingen, J. T. & Van Raaij, W. F., 1989. *The effect of goal setting and daily electronic feedback on in-home energy use*. Journal of Consumer Research, Vol.16, No. 1, pp. 98–105.
- Van Vliet, B., Chappells, H. & Shove, E., 2005. *Infrastructures of Consumption : Environmental Innovation in the Utilities Industries*. Earthscan, London. 130p.
- Varenio, C., 2012. *L'efficacité énergétique dans les bâtiments existants : déficit d'investissement, incitations et accompagnement*, Université de Grenoble: Economies and finances. .
- Vassileva, I., Dahlquist, E., Wallin, F., Campillo, J. 2013, *Energy consumption feedback devices' impact evaluation on domestic energy use*, Applied Energy, Vol. 106, Issue. C, pp. 314-320.
- Verplanken, B. & Orbell, S., 2003. *Reflections on Past Behavior: A Self-Report Index of Habit Strength*, Journal of Applied Social Psychology, Vol. 33, No. 6, pp. 1313-1330.

- Vikström, P., 2004. *Energy Efficiency and Energy Demand: A Historical CGE Investigation on the Rebound Effect in the Swedish Economy 1957*. Umea, Sweden. [Online] Available at: <http://umu.diva-portal.org/smash/get/diva2:141842/FULLTEXT01.pdf>
- Vuillecard, C., 2013. *Méthode de construction d'une offre d'effacement*, Paris: École nationale supérieure des mines de Paris.
- Waligorski, C. P., 2006. *John Kenneth Galbraith: The Economist as Political Theorist*, Rowman and Littlefield Publishers, 342p.
- Wall, R. & Crosbie, T. 2009, *Potential for reducing electricity demand for lighting in households: an exploratory socio-technical study*, Energy Policy, Vol. 37 No. 3, pp. 1021-1031.
- Welsch, H. & Kühling, J. 2009, *Determinants of pro-environmental consumption: the role of reference groups and routine behavior*, Ecological Economics, Vol. 69 No. 1, pp. 166-176.
- Wiedmann, T. & Minx, J., 2007. *A Definition of Carbon Footprint*. ISA UK Research Report 07-01.
- Wilhite, D. A., Hayes, M. J., Knutson, C. L. & Smith, K. H., 2000. *Planning for drought: Moving from crisis to risk management*. Journal of American Water Resources Association, Vol. 36, No. 4, pp. 697-710.
- Wilhite, H., Høivik, A. & Olsen, J.-G., 1999. *Advances in the use of consumption feedback information in energy billing: the experiences of a Norwegian energy utility*, In ECEEE Summer Study proceedings.
- Wilhite, H., Nakagami, H., Masuda, T., Yamaga, Y., & Haneda, H., 1996. *A cross-cultural*. Energy Policy, Vol. 24, No. 9, pp. 795-803.
- Wilk, R. & Wilhite, H., 1985. *Why Don't People Weatherize their Homes?: An Ethnographic solution*. Energy: The International Journal, Vol 10, No. 5, pp. 621-630.
- Winett, R. A., Hatcher, J. W., Fort, T. R., Leckliter, I. N., Love, S.Q., Riley, A. W., & Fishback, J. F. 1982. *The effects of videotape modeling and daily feedback on residential electricity*

- conservation, home temperature and humidity, perceived comfort, and clothing worn: Winter and summer.* Journal of Applied Behavior Analysis. Vol. 15, No. 3, pp. 381–402.
- Winett, R. A., Leckliter, I. N., Chinn, D. E., Stahl, B. & Love, S.Q. 1985. *Effects of television modeling on residential energy conservation.* Journal of Applied Behavior Analysis. Vol. 18, No. 1, pp. 33–44.
- Yakubovich, V., Granovetter, M. & McGuire, P. 2005, *Electric charges: the social construction of rate systems,* Theory and Society, Vol. 34 Nos 5-6, pp. 579-612.
- Yamamoto, Y., Suzuki, A., Fuwa, Y. & Sato, T. 2008, *Decision-making in electrical appliance use in the home,* Energy Policy, Vol. 36 No. 5, pp. 1679-1686.
- Yu, B., Zhang, J. & Fujiwara, A. 2013, *Evaluating the direct and indirect rebound effects in household energy consumption behavior: a case study of Beijing,* Energy Policy, Vol. 57 No. C, pp. 441-453.
- Zelem, M. C., 2010. *Le bon usage de l'électricité et les réalités sociologiques,* Cahiers de Global Chance No. 27.
- ZPRYME, 2011. *The New Energy Consumer.* Austin,USA: Zpryme Smart Grid Insights.

Smart Meter, Feedback et maîtrise de la consommation électrique :
Le cas du secteur résidentiel dans la commune de Biot – Alpes Maritimes

RÉSUMÉ :

Cette thèse a pour but d'étudier l'impact du retour d'information (feedback) vers les ménages sur leur capacité de maîtrise de leur consommation d'électricité et s'est appuyée sur une expérimentation menée sur le terrain, dans le cadre d'un projet intitulé *TicElec* (Technologies de l'Information pour une Consommation Electrique Responsable), réalisé dans la commune de Biot, dans les Alpes-Maritimes (un département marqué par des contraintes d'approvisionnement en électricité, en périodes froides) et associant l'Université, les Autorités locales et un Bureau d'études.

Notre problématique qui a porté sur l'impact de plusieurs types de feedback (inspirée par la typologie des feedback développée par Darby (2006a)) appliqués à trois groupes de consommateurs, sur une durée supérieure à six mois, a montré l'existence de différents comportements de consommation et de maîtrise de la demande d'électricité des ménages étudiés, plus ou moins marqués par le manque d'information sur leurs modes de consommation, c'est-à-dire le maillon faible des stratégies de maîtrise de l'énergie. Nous avons également montré que les résultats varient selon le type d'information transmis, la nature et la durée du feedback, mais que de manière générale, le feedback sur consommation (direct ou indirect) a été efficace pour la maîtrise de la demande d'électricité (par réduction et effacement en pointe), même si la réduction était plus grande chez les groupes à feedback direct, par action sur les comportements de restriction (Curtailed behavior), sans toutefois déclencher les comportements d'efficacité (Efficiency behavior) et de maintenance (Maintenance behavior), compte tenu des coûts et des délais de leur mise en œuvre.

Le maintien des efforts d'économie énergétique ne peut toutefois se faire que si le dispositif de feedback est prolongé dans le temps, de manière à ce que le ménage ne revienne pas à ses anciennes habitudes, malgré ses changements de comportement et sa prise de conscience. C'est donc dans ce sens que pourraient s'orienter de futures recherches, qui permettraient de sauvegarder les acquis et d'aborder tous les groupes de facteurs impactant une maîtrise efficace et totale de la demande électrique résidentielle.

MOTS CLÉS : *Feedback, Smart Meter, Smart Grid, comportement, consommation, habitudes, maîtrise de l'énergie.*

Smart Meter, Feedback and control of electricity consumption:
The case of the residential sector in the town of Biot – Alpes Maritimes

ABSTRACT :

This thesis aims to study the impact of feedback to households on their ability to control their electricity consumption and was based on an experiment conducted in the field, as part of a project called *TicElec* (Technologies de l'Information pour une Consommation Electrique Responsable), produced in the town of Biot, in Alpes-Maritimes (a department marked by power supply constraints in cold periods) and associating University, local authorities and a consulting firm.

Our problematic which focused on the impact of several types of feedback (inspired by the typology of feedback developed by Darby (2006a)) applied to three groups of consumers over a period greater than six months, showed the existence of different consumer behavior and control of the electricity demand of households studied, more or less marked by the lack of information about their consumption patterns, that is to say, the weak link in energy management strategies. We also have shown that the results depend on the type of transmitted information, the nature and duration of feedback, but in general, the feedback on consumption (direct or indirect) was effective in controlling the application for electricity (by reduction and erasing peak), although the reduction was greater in groups direct feedback by acting on the Curtailed behavior, without triggering Efficiency behavior and Maintenance behavior, given the costs and time of implementation.

Maintaining the energy-saving efforts, however, can be done only if the feedback device is extended in time, so that the household does not return to his old habits, despite his behavior change and awareness. It is in this sense that may guide future research that would preserve the gains and address all groups of factors impacting the effective and complete control of residential electricity demand.

KEY WORDS: *Feedback, Smart Meters, Smart Grid, behavior, consumption, habits, energy control*
