



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des
transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral de l'énergie OFEN
Section Recherche énergétique et Cleantech

Projet UserGap : Annexe 2 - 23 décembre 2019

Le quartier et ses habitants

Analyses économétriques et Living Lab

Auteurs :

Joëlle Mastelic, HES-SO Valais-Wallis, IEE, joelle.mastelic@hevs.ch

Florian Bürki, HES-SO Valais-Wallis, IEE, florian.burki@hevs.ch

Stéphane Genoud, HES-SO Valais-Wallis, IEE, stephane.genoud@hevs.ch

Frédéric Revaz, HES-SO Valais-Wallis, IEE, frederic.revaz@hevs.ch

Francesco Cimmino, HES-SO Valais-Wallis, IEM, francesco.cimmino@hevs.ch M

ehdi Farsi, Université de Neuchâtel, mehdi.farsi@unine.ch

Sylvain Weber, Université de Neuchâtel, sylvain.weber@unine.ch



Résumé

Le projet UserGap propose une approche novatrice combinant ingénierie, économétrie et innovation ouverte pour analyser les écarts de performances (EdP) des bâtiments collectifs à basse consommation énergétique. Après avoir décomposé l'EdP et isolé le rôle des habitants, un laboratoire vivant teste des mesures ciblées de réduction de consommation. Ce projet a pour but de permettre de mieux calibrer les modèles de prévision pour adapter les normes et labels et étudier la construction de futurs quartiers durables.

L'Energy Living Lab a cherché à s'intéresser au niveau micro. L'analyse des pratiques sociales a permis de répondre à la question : « Quel est le rôle de l'utilisateur dans le gap de performance ? ». De plus, les différentes analyses économétriques du quartier ont apporté des réponses sur le rôle du quartier et de sa gestion dans le gap de performance, au niveau macro.

Différents entretiens qualitatifs ont été menés au sein du quartier en 2017, et ont permis de comprendre le rôle des services énergétiques pour les habitants, mais également d'évaluer leur niveau de satisfaction face à ces derniers.

Après avoir récolté des informations socio-démographiques, et de consommation de différents services énergétiques à l'aide d'un sondage en juin 2018, des analyses multivariées ont mis en lumière des liens entre la chaleur consommée par exemple, et les comportements des habitants face à l'utilisation des stores.

Finalement, différentes interventions dans le quartier ont permis le co-design de mesures avec les habitants afin de créer un « nudge », une solution par défaut, qui a été testée dans le quartier et permettant d'optimiser l'efficacité énergétique des ménages.



Liste des tableaux

Tableau 1 - Avantages de la co-conception, adapté de Steen et al (2011).....	17
Tableau 2 - Réponses aux questions de recherche, adaptées de Wackers (1998).....	25
Tableau 3 - Qualité des jeux de données	32
Tableau 4 - Groupement par année du meilleur compteur électrique	33
Tableau 5 - Relevés mensuels électriques	33
Tableau 6 - Rapport compteurs volume / compteurs énergie.....	34
Tableau 7 - Moyennes de consommation sur les 200 appartements	36
Tableau 8 - Valeurs des 199 appartements	36
Tableau 9 - Liste des bâtiments et caractéristiques.....	37
Tableau 10 - Comparaison des consommations.....	38
Tableau 11 - Estimations économétriques des déterminants de la consommation d'énergie.....	95
Tableau 12 - Estimations économétriques des déterminants de la consommation d'énergie	96
Tableau 13 - Estimations de la frontière efficiente	97
Tableau 14 - Déterminants de l'inefficience	99
Tableau 15 - Le paquet TSclust R.....	105
Tableau 16 - Résumé des relevés de consommation électrique par bâtiment.....	106



Liste des figures

Figure 1 - Deux phases distinctes du cycle de vie du bâtiment.....	12
Figure 2 Intervention intégrative avec l'approche Living La.....	12
Figure 3 - Écart de performance énergétique, adapté de Burmann et al (2014).	10
Figure 4 - Processus de conception d'une intervention, adapté de McKenzie-Mohr (2000).	13
Figure 5 - Mots clés utilisés pour faire des recherches dans la littérature existante.	14
Figure 6 - Processus de co-design, adapté de Sanders (2008).	16
Figure 7 - Différents types d'énergie, adaptés de Patterson (1996)	18
Figure 8 - Qu'est-ce que l'efficacité énergétique, Adapté de Patterson et al, (1996)	19
Figure 9 - Processus de co-création dans le secteur des services, adapté de Chesbrough (2011)	20
Figure 10 - Qu'est-ce qu'un service énergétique, d'après Fell (2017)	21
Figure 11 - Groupes sociaux dans le secteur du bâtiment, adapté de Geels (2004)	23
Figure 12 - Principaux éléments de la conception de la recherche	26
Figure 13 - Processus du Living Lab intégré.....	31
Figure 14 - Facteurs X des bâtiments et des ménages et consommation d'énergie dans le secteur résidentiel, adapté de Estiri, (2014).	28
Figure 15 – Exemple de modèle SEM	29
Figure 16 - Sexe et âge des répondants.....	39
Figure 17 - Propriétaire / locataire.....	40
Figure 18 - Possession d'un animal de compagnie	40
Figure 19 - Type de ménage	41
Figure 20 - Nombre de personnes par ménage / catégorie.....	41
Figure 21 - Profession des habitants	42
Figure 22 - Niveau d'éducation le plus élevé du ménage	42
Figure 23 - Revenu mensuel par ménage.....	43
Figure 24 - Importance des services énergétiques pour les habitants	44
Figure 25 - Satisfaction vis-à-vis des services énergétiques	45
Figure 26: Nuage des mots sur satisfaction	
Figure 27 - Insatisfaction vis-à-vis de la ventilation.....	46
Figure 28 - Importance d'autres services énergétiques pour les habitants	46
Figure 29 - Satisfaction d'autres services énergétiques pour les habitants.....	47
Figure 30 - Insatisfaction de la température du logement en été.....	48
Figure 31 - Analyse Tétraclasses - Matrice Llosa	49
Figure 32 - Pratique d'aération du logement en hiver	50



Figure 33 - Moment d'ouverture des fenêtres	51
Figure 34 - Durée d'ouverture des fenêtres la nuit en hiver.....	51
Figure 35 - Durée d'ouverture des fenêtres en journée en hiver.....	52
Figure 36 - Température de confort de l'appartement.....	53
Figure 37 - Installation d'un chauffage d'appoint et d'un climatiseur	54
Figure 38 - Installation d'un ventilateur d'appoint.....	54
Figure 39 - Utilisation des stores du logement par les habitants.....	55
Figure 40 - Gestion des stores durant la journée.....	55
Figure 41 - Gestion des stores durant la nuit.....	56
Figure 42 - Lave-linge et sèche-linge.....	57
Figure 43 - Nombre d'installations à laver installées.....	57
Figure 44 - Nombre de cycles de machine à laver par semaine.....	58
Figure 45 - Nombre de cycles de sèche linge par semaine.....	58
Figure 46 - Façon de faire la vaisselle	58
Figure 47 - Nombre de cycles de lave-vaisselle par semaine	58
Figure 48 - Taille du réfrigérateur.....	59
Figure 49 - Congélateur intégré ou non	59
Figure 50 - Taille du congélateur.....	59
Figure 51 - Existence d'un congélateur séparé.....	60
Figure 52 - Placement du congélateur.....	60
Figure 53 - Taille du congélateur.....	60
Figure 54 - Estimation du prix d'un kWh	61
Figure 55 - Réponses aux questions liées aux attitudes	62
Figure 56 - Réponses liées aux attitudes II.....	63
Figure 57 - Réponses liées aux attitudes III.....	63
Figure 58 - Réponses liées aux attitudes IV	64
Figure 59 - Description des échantillons de consommation de chaleur	65
Figure 60 - Corrélation du type de ménage avec la chaleur	66
Figure 61 - Corrélation de la formation sur la consommation du chauffage	66
Figure 62 - Corrélation du salaire sur la consommation du chauffage	67
Figure 63 - Corrélation de l'âge sur la consommation du chauffage.....	68
Figure 64 - Corrélation de la chaleur avec le fait d'être propriétaire	68
Figure 65 - Corrélation de la chaleur avec le fait d'avoir un animal de compagnie	69
Figure 66 - Corrélation de la chaleur avec le nombre de personnes dans le ménage	69
Figure 67 - Aération du logement et corrélation avec la consommation de chauffage.....	70



Figure 68 - Corrélation entre la chaleur et le moment d'ouverture des fenêtres en hiver.....	71
Figure 69 - Corrélation du temps d'ouverture des fenêtres la nuit en hiver avec la chaleur.....	71
Figure 70 - Temps d'ouverture des fenêtres le jour en hiver corrélé à la chaleur.....	72
Figure 71 - Croisement entre la température de confort souhaitée et la chaleur moyenne annuelle....	72
Figure 72 - Croisement entre la présence d'un chauffage d'appoint dans le logement et la chaleur moyenne annuelle	73
Figure 73 - Croisement de la température moyenne de chaque pièce en hiver et la consommation de chaleur annuelle moyenne	73
Figure 74 - Croisement entre l'abaissement des stores et la consommation de chaleur annuelle moyenne	74
Figure 75 - Croisement entre l'utilisation des stores et la consommation de chaleur annuelle moyenne	75
Figure 76 - Croisement entre la préoccupation concernant les conditions environnementales et la chaleur.....	76
Figure 77 - Croisement entre la conscience des habitants et la chaleur	76
Figure 78 - Croisement entre la conscience des personnes et la consommation de chauffage	77
Figure 79 - Croisement entre le scepticisme des habitants et leur consommation de chaleur.....	77
Figure 80 - Croisement entre la responsabilité face à la question énergétique et les consommations de chaleur.....	78
Figure 81 - Croisement entre le scepticisme face aux écologistes et la consommation de chaleur	78
Figure 82 - Croisement entre l'avis des habitants sur les politiciens et la consommation de chauffage	79
Figure 83 - Croisement entre l'espoir de l'humain sur le DD et la consommation de chaleur	79
Figure 84 - Description de l'échantillon concernant l'électricité	80
Figure 85 - Description de l'échantillon concernant l'eau.....	81
Figure 86 - Croisement entre l'eau et la consommation moyen	81
Figure 87 - Consommation d'eau croisée au type de ménage	82
Figure 88 - Croisement de la consommation d'eau avec le niveau d'éducation le plus élevé du ménage	82
Figure 89 - Croisement entre l'âge et la consommation d'eau.....	83
Figure 90 - Corrélation de la consommation d'eau avec la possession d'un animal de compagnie	83
Figure 91 - Corrélation de la consommation d'eau avec la satisfaction du label Minergie	84
Figure 92 - Croisement de la crainte des habitants avec leur consommation d'eau	84
Figure 93 - Croisement du scepticisme des habitants avec leur consommation d'eau	84
Figure 94 - Consommation de chauffage.....	88
Figure 95 - Consommation d'eau chaude	89
Figure 96 - Consommation d'électricité.....	89
Figure 97 - Représentation schématique d'une frontière stochastique.....	98



Figure 98 - Matrice pouvoir / intérêt	101
Figure 99 - Analyse des correspondances pour les variables socio-démographiques	104
Figure 100 - Matrice importance / satisfaction	108
Figure 101 - Exemple de vanne connectée et de douche connectée Hydrao	111
Figure 102 - Exemple de bouton connecté programmable	111
Figure 103 - Cartes Persona	113
Figure 104 - Cartes d'action	113
Figure 105 - Cartes d'Usages	113
Figure 106 - Représentation des mesures journalières d'eau sanitaire pour un ménage	115



Contents

1	Introduction.....	10
1.1	Contexte et arrière-plan.....	10
	La performance énergétique dans les bâtiments résidentiels.....	10
	Le marketing social communautaire et co-conception.....	12
	Définition des concepts clés : co-design, économie d'énergie, marketing social.....	14
	Méthode de revue de la littérature.....	14
	Comment définir le " co-design " ?.....	15
	La valeur ou l'avantage co-créé.....	16
	Comment définir " économie d'énergie " ?.....	18
	La notion complexe de « service ».....	19
	Le concept de « services énergétiques ».....	21
	Comment définir le " marketing social " ?.....	22
	Le carrefour des différents cadres conceptuels.....	23
1.2	Justification du projet.....	25
1.3	Objectifs du projet.....	25
2.	Procédure et méthode.....	27
	Mixed methods séquentielles.....	27
	Récupération des données des smart meters.....	27
	Sondage et modèles économétriques.....	28
	Le questionnaire.....	29
	Mise en place du processus Living Lab Intégré.....	31
3.	Résultats et commentaires.....	32
3.1	Evaluation des consommations électriques et comparaison aux données des smart meters (Tâche 1.2).....	32
	Qualité du jeu de données.....	32
	Comparaison des consommations électriques avec la norme SIA 380/4.....	35
	Impact des smart-meters sur la consommation électrique.....	37
3.2	Résultats des analyses des facteurs humains (tâche 2.2).....	39
	Description de l'échantillon du sondage.....	39
	Satisfaction et importance des services énergétiques.....	44
	Pratiques des habitants en matière de consommation d'énergie.....	49
	Autres services énergétiques.....	56
	Connaissances du prix de l'énergie.....	61
	Attitudes vis-à-vis de l'environnement.....	62



Résultats des analyses multivariées	65
Analyses multivariées du chauffage.....	65
Electricité	80
Analyses de la consommation d'eau chaude sanitaire	81
Analyses économétriques	86
3.3 Mise en place d'un processus Living Lab dans le quartier.....	100
Résultats de l'identification des parties prenantes (Tâche 3.1)	100
Résultats de la sélection de pratiques (Tâche 3.2).....	107
Résultat de la co-création de mesures énergétiques (Tâche 3.3)	110
Résultat de la mise en place d'interventions ciblées dans le quartier (Tâche 3.4)	113
Evaluation des consommations réelles après la mise en place du Living Lab (Tâche 3.5).....	114
4. Conclusions et résumé	116
5.1 Recommandations à destination des entreprises de construction	116
Recommandations pour le développement des normes SIA	119
5. Bibliographie	122



1 Introduction

L'annexe 2 se concentre sur le travail d'analyses économétrique et sur le processus Living Lab mis en place dans le projet UserGap. Elle vient approfondir la synthèse du projet. Elle traite du niveau du quartier dans son ensemble (MACRO) et des ménages (MICRO). L'annexe 1 traite quant à elle le niveau du bâtiment (MESO). Cette introduction est tirée de la thèse de doctorat de Joelle Mastelic (2019), cheffe du projet UserGap financé par l'Office Fédéral de l'Energie et la Conférence des Directeurs Romands de l'Energie.

1.1 Contexte et arrière-plan

La performance énergétique dans les bâtiments résidentiels

En Suisse, la consommation d'énergie des ménages représente 32,2% de la consommation totale d'énergie ; c'est la plus grande consommation avant l'industrie : 30,9 %, services : 27,1 %, transport : 8,1 % et l'agriculture : 1,7 % (OFEN, 2016). Comprendre comment augmenter l'efficacité énergétique dans les bâtiments d'habitation pourrait avoir un impact majeur sur la réalisation de l'objectif fixé par le Conseil fédéral dans la "Stratégie énergétique 2050". De plus, la consommation d'énergie diminue dans le secteur industriel et augmente dans le secteur résidentiel, ce qui met l'accent sur les besoins en programmes d'efficacité énergétique dans ce domaine.

Dans le secteur du bâtiment, de nombreux défis restent ouverts, tels que **l'écart de performance énergétique (EdP)**. Il existe souvent un écart entre la performance énergétique prévue (pré-occupation) et la performance énergétique réelle (post-occupation), même dans les bâtiments à faible consommation, une partie de cet écart est liée au "comportement des occupants" détaillé par Burmann et al (2014) dans la **Figure 1**, lors de l'analyse de la directive sur la performance énergétique des bâtiments (EPBD). Cet écart n'est pas entièrement expliqué dans la littérature.

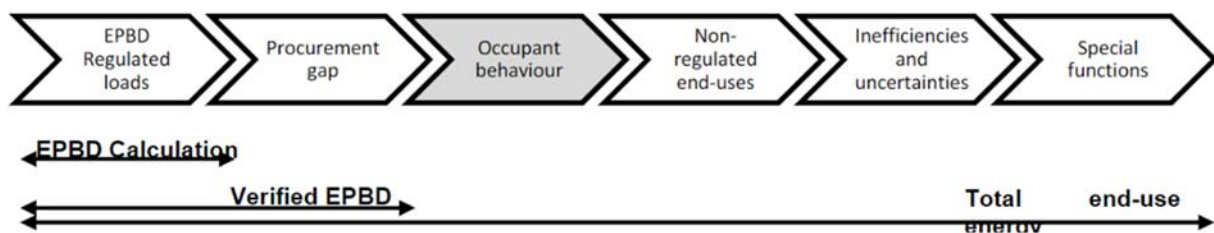


Figure 1 - Écart de performance énergétique, adapté de Burmann et al (2014).

Quelles sont les mesures visant à accroître l'efficacité énergétique et à réduire l'écart de performance dans les bâtiments résidentiels ? Cette question est déjà étudiée depuis des décennies. Par exemple, en 2006, une étude s'est concentrée sur la volonté de payer pour des mesures d'économie d'énergie dans les bâtiments résidentiels en Suisse (Banfi, Farsi, Filippini, et Jakob). L'équipe de recherche a mené une « Choice Experiment » avec deux échantillons pour les appartements loués et les propriétaires. Ils ont conclu qu'il existe une volonté importante de payer pour l'efficacité énergétique. Ils ont fondé leur étude sur les préférences déclarées parce que les données sur les préférences révélées "*ne sont que très peu disponibles puisque le marché des technologies d'EE est encore restreint*". À l'époque, les mesures recommandées étaient d'appuyer la communication et l'information des décideurs "*à savoir les consommateurs, les investisseurs et les institutions financières*". Les données sur l'efficacité énergétique,



grâce au déploiement des compteurs intelligents, deviennent aujourd'hui plus accessibles et il est possible d'observer les comportements des consommateurs dans le contexte et non par le biais de "variables substitutives" comme les attitudes vis-à-vis de la consommation d'énergie. C'est ce que propose l'équipe de recherche dans ce projet : **étudier les comportements avec des données sociodémographiques issues d'enquêtes et des données de consommation issues de compteurs intelligents et de factures d'électricité.**

Aujourd'hui, de nombreuses recherches ont montré qu'il existe un écart entre attitude et comportement dans le secteur environnemental et que **les recherches basées uniquement sur des données déclaratives des attitudes ne reflètent pas la réalité des comportements individuels** (Kollmuss & Agyeman, 2002). La collecte de données par le biais d'enquêtes est intéressante car elle permet d'obtenir des données sociodémographiques ou de comparer les attitudes (telles que les normes sociales) et les comportements mesurés, par exemple, par les données des compteurs intelligents. Par contre, les auteurs s'opposent à l'utilisation des attitudes comme approximation des comportements, car cela pourrait générer d'importantes divergences. D'autres méthodes et processus doivent être développés.

La richesse d'un tel projet de recherche appliquée interdisciplinaire est d'acquérir différentes perspectives spécialisées et "naïves" sur les trois parties du système sociotechnique. Les ingénieurs sont spécialisés dans les artefacts, le bâtiment lui-même, les appareils, les normes techniques et architecturales. Les marketers sont spécialisés dans les attitudes et les comportements humains, sur la compréhension des normes sociales tacites. Les économistes offrent une perspective différente de la prise de décision rationnelle basée sur la valeur monétaire, l'analyse des variables influençant le système avec une analyse économétrique.

Si nous nous concentrons sur les règles qui prévalent dans un système sociotechnique, Scott propose une typologie de ces règles : régulatrice, normative et cognitive (dans Geels, 2004, p. 904). Ces règles sont écrites ou tacites, selon le type de règles. Ils influencent la manière dont les acteurs utilisent l'énergie et dont les artefacts techniques sont conçus et fonctionnent. Dans cette recherche appliquée, il existe de nombreuses règles écrites et tacites. Des exemples de normes réglementaires écrites s'appliquent à la construction d'un bâtiment à faible consommation, comme en Suisse la norme SIA 380/1 sur les exigences thermiques pour le chauffage et la norme SIA 380/4 sur la consommation d'énergie électrique dans le bâtiment. Telles sont les principales normes qui seront étudiées dans le contexte des bâtiments suisses à faible consommation.

Les artefacts techniques sont également programmés avec des règles normatives. Par exemple, le système de gestion de l'énergie du bâtiment est programmé pour optimiser le fonctionnement des services énergétiques : ventilation, éclairage, chauffage. Les règles cognitives sont également ancrées dans les artefacts et dans les acteurs qui influencent le processus décisionnel. Les règles cognitives sont souvent tacites et difficiles à faire émerger à la surface. Des méthodes de recherche qualitative seront utilisées pour approfondir la compréhension de ces règles cognitives. C'est une contribution importante des sciences sociales de **faire émerger et rendre visible des normes sociales cognitives latentes.**

Si l'on se concentre sur les **acteurs**, les consommateurs d'énergie sont appelés "occupants" dans la littérature technique. Les ingénieurs et les architectes séparent deux phases principales dans la construction d'un bâtiment à faible consommation : "avant l'occupation", lorsque l'immeuble est vide ; et "après l'occupation", lorsque les occupants sont dans l'immeuble, comme l'illustre la **Figure 2**.

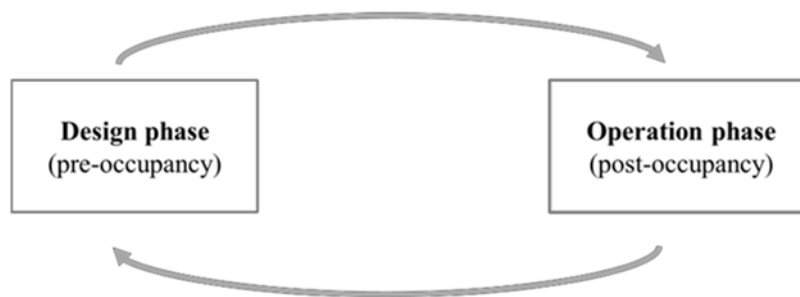


Figure 2 - Deux phases distinctes du cycle de vie du bâtiment

Dans ce projet, nous soutenons que comprendre les modèles utilisés par les "occupants" lorsqu'ils consomment de l'énergie en phase de fonctionnement et essayer de changer ces modèles (recherches sur le "changement de comportement") ne suffit pas pour comprendre le système complexe et agir sur lui. De notre point de vue, sans comprendre les interactions avec les artefacts techniques et les règles, nous n'avons pas la vision complète du système sociotechnique pour pouvoir développer une intervention et agir sur la performance énergétique (Geels, 2004). **Dans ce projet, l'accent n'est pas seulement mis sur le "changement de comportement", mais sur le "changement de système"**. L'intégration des parties prenantes dans la phase d'exploitation est intéressante à des fins d'optimisation. Ce qui est plus intéressant, c'est d'obtenir un retour d'information pour la conception future des services énergétiques.

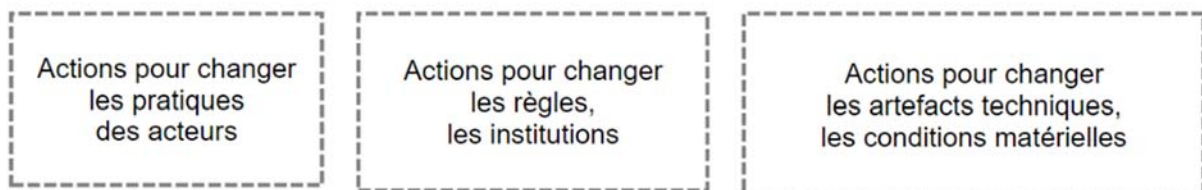


Figure 3 Intervention intégrative avec l'approche Living La

Comme le montre la **Figure 3**, l'intervention sur le système pourrait inclure : (1) actions de changement des pratiques des acteurs, (2) actions de changement des règles et des institutions et (3) actions de changement des artefacts techniques, des conditions matérielles. **Une combinaison de ces trois types d'actions semble, d'après nos premières intuitions de recherche, appropriée et doit être testée dans ce projet de recherche appliquée.**

Le marketing social communautaire et co-conception

En 2013, l'Agence européenne pour l'environnement a réalisé une méta-analyse de différents types de mesures visant à accroître l'efficacité énergétique. Un rapport intitulé "Atteindre l'efficacité énergétique par le changement de comportement : que faut-il faire ?" résume l'impact des différentes mesures et leurs recommandations concernant les futurs programmes d'efficacité énergétique. Dans leur conclusion, l'une des recommandations était **d'intégrer différents intervenants dans la conception et la mise à l'essai des mesures ou des programmes d'efficacité énergétique** (AEE, 2016, p. 43). Ils recommandent également de combiner différents types de mesures telles que des compteurs intelligents pour informer les résidents de leur consommation d'énergie, des programmes basés sur les pratiques sociales et l'engagement communautaire.



Comment les différentes parties prenantes peuvent-elles s'engager dans la co-conception d'interventions d'économie d'énergie ? C'est précisément ce que ce projet entend mieux comprendre, car la littérature ne répond pas à ces questions. Ce type de programmes d'efficacité énergétique impliquant différents intervenants est également proposé par des psychologues sociaux tels que McKenzie-Mohr. Il a mené une revue de littérature en 2000 qui démontre, à l'aide de nombreux exemples, qu'une " **approche attitude-comportement** " basée sur des campagnes d'information intensive a peu ou pas d'effet sur le comportement. Les campagnes basées uniquement sur une "approche d'intérêt économique personnel" n'affectent pas non plus le comportement à long terme. Un obstacle évident à l'efficacité énergétique est le coût de l'énergie, qui est actuellement faible par rapport au prix des technologies d'efficacité énergétique. Le délai de retour doit être le plus court possible et un délai de retour trop long interdit tout investissement dans des technologies à faible consommation. **Les interventions fondées uniquement sur des incitations par les prix semblent insuffisantes.**

McKenzie-Mohr propose une approche alternative appelée "Community based social marketing" :

*"Le **marketing social communautaire** (MSC) fusionne les connaissances de la psychologie et l'expertise du marketing social. Le marketing social met l'accent sur le fait que la conception de programmes efficaces commence par la compréhension des obstacles que les gens perçoivent lorsqu'ils s'engagent dans une activité." "Le marketing social souligne également l'importance d'une orientation stratégique des programmes afin qu'ils ciblent des segments spécifiques du public et qu'ils surmontent les obstacles qui empêchent ce segment de s'engager dans le comportement. » (2000)*

Sa méthode suit cinq étapes comme le montre la **Figure 4** : (1) Choisir un comportement, (2) Identifier les obstacles et les avantages, (3) Concevoir des stratégies, (4) Piloter une intervention, (5) Mettre en œuvre et évaluer à grande échelle.



Figure 4 - Processus de conception d'une intervention, adapté de McKenzie-Mohr (2000).

M. McKenzie-Mohr déclare que son objectif est de **donner accès à la littérature scientifique aux planificateurs énergétiques**. Il pourrait être considéré comme une " approche descendante " pilotée par des planificateurs professionnels qui conçoivent et mettent en œuvre un plan d'efficacité énergétique. Dans le projet UserGap, les équipes de recherche proposent une " **approche ascendante** " de **co-conception de l'intervention avec les parties prenantes à l'aide d'un Energy Living Lab**. L'hypothèse est qu'une " approche ascendante " permettrait de mieux aborder les obstacles actuels et d'élaborer un plan d'efficacité énergétique plus proche des besoins des intervenants. Cela pourrait aussi accroître l'acceptation sociale du plan. Nous aimerions tester le processus de marketing social en combinaison avec le processus de co-design dans un laboratoire vivant :

"Les laboratoires vivants (LL) sont définis comme des écosystèmes d'innovation ouverts et centrés sur l'utilisateur, basés sur une approche systématique de co-création par l'utilisateur, intégrant les processus de recherche et d'innovation dans des communautés et des environnements réels " (ENoLL, 2018).



Définition des concepts clés : co-design, économie d'énergie, marketing social

L'objectif de cette section est de définir les principaux concepts utilisés dans le projet. Différentes disciplines étudient comment concevoir une intervention d'économie d'énergie. En raison de la quantité de littérature, il ne serait pas réaliste d'être exhaustif ; l'objectif principal est de définir les termes et de formuler les questions de recherche. La structure du chapitre est la suivante : la méthode d'examen de la documentation sera détaillée, puis la définition des différents termes et les liens entre les termes aux intersections des axes de recherche suivront.

Méthode de revue de la littérature

Pour passer en revue la littérature existante, un brainstorming a été effectué sur les mots clés, après une première revue exploratoire de la littérature. Ensuite, les mots-clés ont été regroupés en sous- thèmes avec un arbre de pertinence. Les principaux mots clés ont donné lieu à une nouvelle recherche documentaire, comme le proposent Saunders et al (2016, p. 73). Les mots-clés suivants ont été utilisés : "co?design" (le signe " ?" est utilisé pour considérer différentes orthographes), "économie d'énergie" et "marketing social". L'outil de recherche en ligne utilisé est Google scholar, l'intervalle est de 2000 à 2018, et la date de recherche est le 20 avril 2018. Un résumé des résultats est illustré à la Figure 5.

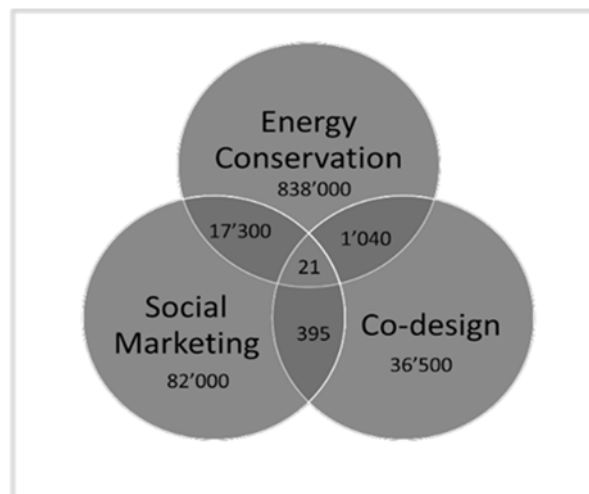


Figure 5 - Mots clés utilisés pour faire des recherches dans la littérature existante.

La difficulté et la richesse de cette recherche réside dans son positionnement à l'intersection de plusieurs disciplines aux paradigmes différents (du positivisme au constructivisme) et aux méthodes différentes (qualitatives et quantitatives), qui complique et enrichit l'analyse de la littérature.

Il existe une quantité énorme de documentation sur les trois mots clés pris séparément ; cependant, il y a peu de documents à l'intersection des différents thèmes. Afin de définir les termes de la recherche et d'encadrer les questions de recherche, un bref résumé est proposé. Le LL est un concept récent et il n'est pas bien établi en tant que courant de littérature. Pour cette raison, nous n'avons pas utilisé le terme "Living Lab" comme mot clé de la revue de la littérature, mais nous avons plutôt utilisé des mots clés reflétant les flux de littérature établis. Nous considérons le LL comme un phénomène : "un fait ou un événement d'intérêt scientifique susceptible d'être décrit et expliqué scientifiquement".



Dans les sections suivantes, les concepts seront définis à partir de la littérature et une combinaison des différents concepts sera proposée. Le phénomène étudié est l'Energy Living Lab et son impact potentiel sur l'écart de performance énergétique. Un processus de co-conception est appliqué pour élaborer un plan d'économie d'énergie avec les intervenants. Le plan est le résultat du processus de co-conception. À la fin du processus de co-conception, une intervention de marketing social sera effectuée pour tester l'impact du plan sur l'écart de performance énergétique.

Comment définir le " co-design " ?

Les termes co-design et co-création sont des mots avec polysémie, abondamment utilisés dans la littérature de l'innovation. Une clarification du sens des deux concepts et une différenciation sémantique semblent importantes dans ce projet qui les mobilise fortement.

Avant d'explorer la littérature scientifique qui les définit, un passage dans le dictionnaire semble être un premier pas important. Pour définir le "co-design", il faut d'abord définir le mot "design". Selon le dictionnaire Webster, le terme "design" signifie : "(1) créer, façonner, exécuter ou construire selon le plan", ou (2) "concevoir et planifier dans l'esprit, avoir comme but, concevoir pour une fonction ou une fin spécifique". Cette définition n'aide pas à clarifier la différence entre design et création, car elle définit le terme "design" en référence au terme "créer". Il est intéressant de noter que cette définition contient le terme "construire"... (par exemple un artefact), ne limitant pas la conception à la phase amont du processus d'innovation (idéation, prototypage). Avec cette définition, la co-production fait partie d'un processus de co-conception. Le lien avec le plan est également utile dans cette thèse axée sur la planification des économies d'énergie. On peut concevoir une intervention en fonction du plan d'EE ou on peut concevoir le plan d'EE lui-même, puis concevoir et exécuter une intervention dans les bâtiments à faible consommation. Les notions de "fonction" et de "fin" sont également intéressantes car ces mots clés sont mobilisés dans la définition des "services énergétiques".

Que signifie le préfixe "co-" ? Dans le même dictionnaire, "co-" est défini comme :

"(1) avec ; ensemble ; conjointement ; conjointement ; conjointement (p.i. coexistant, cohéritier), (2) dans ou au même degré, (3) a. celui qui est associé dans une action à un autre (p.i. co-auteur, collègue de travail), b. celui qui généralement une part moindre dans le devoir ou la responsabilité (p.i. copilote)".

Dans ce projet, fondé sur l'« empowerment » des parties prenantes, les auteurs voient le terme "co-" comme dans la définition (1) ensemble, conjointement (2) dans ou au même degré et (3) a. un terme qui est associé dans une action à une autre. Les différentes parties prenantes réaliseront l'action d'élaboration conjointe d'un plan d'économie d'énergie pour le quartier. Elle n'est pas alignée sur la définition (3) b. ayant généralement une part de responsabilité moindre : les parties prenantes sont considérées sur un pied d'égalité dans les écosystèmes d'acteurs.

Après cette première phase de définition du concept à partir du dictionnaire, il est temps d'analyser la littérature scientifique pour définir le terme clé "co-design". Sanders et Stappers, chercheurs dans la discipline du design, ont contribué au développement de la définition scientifique du co-design avec leur article phare " Co-creation and the new landscapes of design" (2008). Ils définissent le co-design en référence à la co-création :

"Les termes co-design et co-création sont aujourd'hui souvent confondus et/ou traités comme synonymes l'un de l'autre. Les opinions sur les personnes qui devraient être impliquées dans ces actes collectifs de créativité, quand et dans quel rôle varient considérablement. Les auteurs prennent la co-création pour désigner tout acte de créativité collective, c'est-à-dire de créativité partagée par deux ou plusieurs personnes. La co-création est un terme très large" [...] "Par co-design, on désigne la créativité collective telle qu'elle s'applique à l'ensemble d'un processus de conception [...]"



Nous utilisons le co- design au sens large pour désigner la **créativité des concepteurs et des personnes non formées en design qui travaillent ensemble dans le processus de développement du design.** (2008, p. 3)

Dans ce projet, les intervenants non formés en planification des économies d'énergie seront intégrés avec des planificateurs professionnels dans un processus de créativité pour co-concevoir une intervention. Les différentes phases de la co-conception seront présentées ci-dessous. Dans une approche d'apprentissage tout au long de la vie, les parties prenantes sont intégrées au début du processus d'élaboration de la conception, dans le "Fuzzy front end", comme l'appellent Sanders et Stappers (2008), comme l'illustre la **Figure 6.**

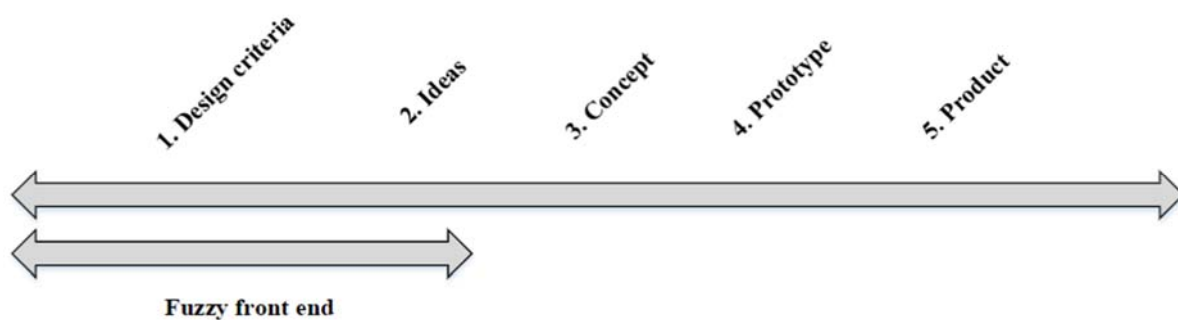


Figure 6 - Processus de co-design, adapté de Sanders (2008).

Steen et al (2011) s'appuient sur le papier séminal de Sanders et Stappers et analysent les avantages de la co-conception. Ils définissent le co-design comme une "coopération créative pendant les processus de conception" et l'opposent à la co-création "qui se réfère également à la coopération créative pendant la prestation et l'utilisation des services, par exemple, aux interactions entre les clients et le fournisseur de services aux points de contact des services". Cette définition distingue la co-conception et la co-création du point de vue du processus : la co-conception précède la prestation et l'utilisation des services. Ils séparent la phase de conception de la phase d'exploitation. Pour un nouveau service, cette définition permet de faire une distinction satisfaisante entre les deux concepts. Mais pour une refonte d'un service existant, comme dans notre cas du service énergétique, cette définition est plus problématique. Les utilisateurs ont déjà une interaction avec le service (post- occupation du bâtiment) et la séparation entre "côté demande" et "côté offre" formulée par Steen et al (2011) n'est pas claire. Avec une boucle de rétroaction de la phase d'exploitation à la phase de conception, il y aura une refonte du service avec les intervenants, c'est-à-dire une co-conception.

La valeur ou l'avantage co-créé

La notion de co-création de valeur est considérée dans ce projet comme le résultat du processus de co-design. La notion de valeur est également polysémique et dans ce projet, la valeur co-créée peut être comprise comme les bénéfices du processus de co-design. Steen et al (2011) proposent, comme dans le **Tableau 1**, de séparer les avantages de la co-conception en trois catégories : (1) - Avantages pour le projet de conception du service lui-même (2) Avantages pour les clients ou utilisateurs du service (3) Avantages pour l'organisation ou les organisations concernées. Ils ont passé en revue les différents avantages potentiels de la co-conception, à partir d'une vaste analyse documentaire.



	Avantages pour le projet de conception du service	Avantages pour les clients ou utilisateurs du service	Avantages pour l'organisation
<i>Améliorer la génération d'idées</i>	<ul style="list-style-type: none"> - De meilleures idées - Meilleure connaissance des besoins des clients ou des utilisateurs - Meilleure génération d'idées 		<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la créativité - Meilleure focalisation sur les clients ou les utilisateurs - Une meilleure coopération entre les différentes personnes ou organisations et entre les disciplines
<i>Améliorer le service</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Meilleure définition de la qualité de service - Des innovations plus réussies 	<ul style="list-style-type: none"> - Meilleure adéquation entre le service et les besoins des clients ou des utilisateurs, et meilleure expérience du service - Meilleure qualité de service - Un service plus différencié 	
<i>Améliorer la gestion des projets</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Meilleure prise de décision - Coûts de développement réduits - Réduction du temps de développement ou de mise sur le marché - Amélioration continue 		
<i>Améliorer les effets à long terme</i>		<ul style="list-style-type: none"> - Satisfaction accrue des clients ou des utilisateurs - Une plus grande fidélité des clients ou des utilisateurs - Éduquer les utilisateurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Des innovations plus réussies, p. ex. rapide diffusion - Amélioration des pratiques et des processus d'innovation et capacités - Plus de soutien et d'enthousiasme pour l'innovation et le changement - De meilleures relations entre le fournisseur de services et les clients - De meilleures relations publiques

Tableau 1 - Avantages de la co-conception, adapté de Steen et al (2011)

Dans ce projet, "co-crédation de valeur" signifie co-crédation d'un bénéfice pour les différents acteurs impliqués dans le processus de co-design. La valeur n'est pas seulement du point de vue du client ou de l'entreprise, comme c'est souvent le cas en marketing. Elle est plus grande et peut profiter à la société dans son ensemble. Cette partie manque dans la liste des avantages de Steen et al (2011) et pourrait constituer une dimension supplémentaire. Comme le mentionne Vargo & Lusch, **la valeur est toujours co-crédée lorsque le service est consommé, car la valeur est la résultante du processus** (2004).

Le terme "co-design" a été choisi dans ce projet pour sa spécificité, associée à la conception d'un service avec les parties prenantes. In fine, l'objectif du processus de conception du service est de co-crédé de la valeur avec les parties prenantes. La co-crédation de valeur est considérée dans ce projet comme le résultat du processus de co-design. Elle est également mentionnée par Steel et al (2011) : **"L'ensemble du processus de développement et de fourniture de services est (ou devrait être) orientée vers l'obtention d'avantages pour les clients et les utilisateurs."**



Comment définir " économie d'énergie " ?

Pour définir l'économie d'énergie, il faut commencer par définir l'énergie. Qu'est-ce que l'énergie ? L'énergie est définie par le dictionnaire en ligne Webster comme :

"une entité fondamentale de la nature qui est transférée entre les parties d'un système dans la production d'un changement physique au sein du système et généralement considérée comme la capacité d'effectuer un travail", une deuxième définition est proposée : "l'énergie utilisable (comme la chaleur ou l'électricité) ; également : les ressources pour produire cette énergie1."2

On voit dans ces deux définitions que le terme "énergie" peut être compris différemment. Patterson propose une catégorie et une séparation entre "Primary energy", "Consumer energy" et "End use energy" comme dans la **Figure 7**, qui donne des exemples du processus de transformation de l'énergie d'une ressource naturelle à une utilisation finale (1996).

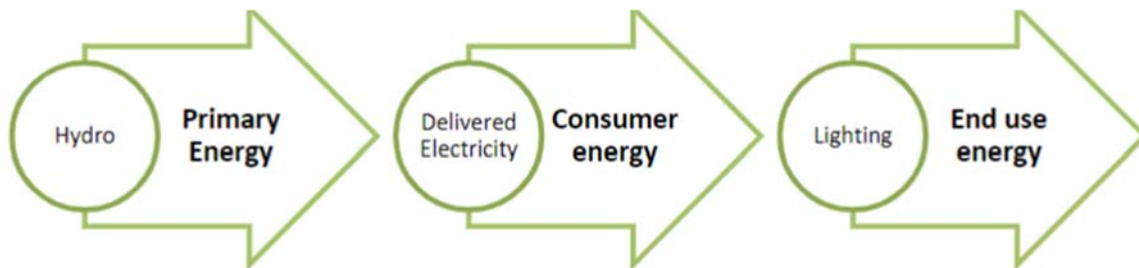


Figure 7 - Différents types d'énergie, adaptés de Patterson (1996)

Dans ce projet, le terme "énergie" est utilisé comme "énergie finale" pour fournir un service énergétique tel que l'éclairage. **L'accent est mis sur la prestation de services du point de vue du marketing et de la science des services.**

Qu'est-ce que l'efficacité énergétique ? Patterson a déclaré qu'on n'a pas accordé suffisamment d'attention à la définition des termes et des indicateurs pour le rendre opérationnel. En outre, il rend compte des questions méthodologiques qui se posent lorsqu'il s'agit de le rendre opérationnel.

*« L'efficacité énergétique est un terme générique et il n'existe pas de mesure quantitative sans équivoque de l'"efficacité énergétique". Il faut plutôt se fier à **une série d'indicateurs** pour quantifier les changements dans l'efficacité énergétique. En général, l'efficacité énergétique consiste à utiliser moins d'énergie pour produire la même quantité **de services ou useful output.** » (Patterson, 1996, p. 1).*

¹ <https://www.merriam-webster.com/dictionary/energy>



La définition est illustrée à la **Figure 8**. Pour Patterson, la façon de définir "Useful output" et "Energy input" du processus suscite des considérations méthodologiques sérieuses, souvent ignorées dans la littérature. Il classe le type d'indicateurs en quatre catégories : (1) Thermodynamique, (2) Physique-Thermodynamique, (3) Économique-Thermodynamique et (4) Économique. Dans la deuxième catégorie, on tente de mesurer la "**prestation de service du processus**", l'efficacité enthalpique ne mesure que "useful output", le reste est gaspillé. L'efficacité enthalpique est souvent appelée "first-law efficiency" en référence à la première loi de la thermodynamique : "dans tout processus de conversion, l'énergie ne peut être créée ou détruite" (Patterson, 1996, p. 2). Il mentionne également que cette méthode ne tient pas compte de la qualité de l'énergie, qu'il considère comme un grave problème méthodologique. Il propose sa propre méthode d'opérationnalisation.

$$\boxed{\text{Energy Efficiency}} = \boxed{\text{Useful output of a process}} / \boxed{\text{Energy input into a process}}$$

Figure 8 - Qu'est-ce que l'efficacité énergétique, Adapté de Patterson et al, (1996)

Dans notre compréhension, "energy input" (énergie primaire, énergie de consommation) peut être considéré comme le "côté production" et "useful output" peut être considéré comme le "côté consommation" ("énergie pour utilisation finale"). Elle suit un processus de transformation de la production à la consommation. **L'économie d'énergie est considérée dans ce projet comme l'action visant à réduire "l'energy input" pour la fourniture du "useful output"**. Ce projet se concentre sur le côté consommation, la "**prestation de services du processus**". L'idée est de mieux définir ce que l'on entend par "résultat utile" ou "prestation de services" du point de vue de la science des services et de proposer un moyen novateur de rendre opérationnel et mesurer "useful output". De nouvelles méthodes doivent être mises au point pour le quantifier non seulement en termes économiques mais aussi en termes sociaux. Les marketeurs et les sociologues sont des spécialistes dans ce domaine.

La notion complexe de « service »

Il y a eu un changement dans le marketing avec l'article fondateur de Vargo et Lusch : « *Evolving to a new dominant logic for marketing* » (2004). Ils définissent un service comme : « l'application de compétences spécialisées (connaissances et aptitudes) par des actes, des processus et des performances au profit d'une autre entité ou de l'entité elle-même. » (Vargo et Lusch, 2004, p. 3). Dans le cas du bâtiment, les ingénieurs et les architectes utilisent leurs compétences spécialisées pour développer des artefacts (bâtiments, systèmes de chauffage et de ventilation, appareils, matériaux...), qui sont les véhicules pour apporter le bénéfice (la valeur) aux "occupants". Cette valeur est créée lorsqu'elle est consommée. La valeur est toujours co-crée en interaction avec le système. "*En bref, le marketing est passé d'une vision dominée par les marchandises, dans laquelle la production tangible et les transactions discrètes étaient centrales, à une vision dominée par les services, dans laquelle l'intangibilité, les processus d'échange et les relations sont centraux* " (Vargo & Lusch, 2004). De ce paradigme de « Service Dominant Logic », le lien entre l'efficacité énergétique, la prestation de services et la co-créeation de valeur est plus clair.



Comme l'ont mentionné Gassman, Enkel et Chesbrough (2010), il est nécessaire de poursuivre la recherche sur l'innovation ouverte dans le secteur des services. Chesbrough se concentre sur l'innovation ouverte dans les services dans un article où il fait le lien entre l'innovation ouverte et la co-création : une étape du processus d'innovation ouverte est la "co-création de services" (2011). Il propose le modèle suivant à la **Figure 9**, avec une mention intéressante de l'intégration des "connaissances tacites". L'ouverture des frontières de l'entreprise permet une intégration des connaissances tacites de l'environnement, qui comprend "les clients, partenaires, compléments ou autres tiers".

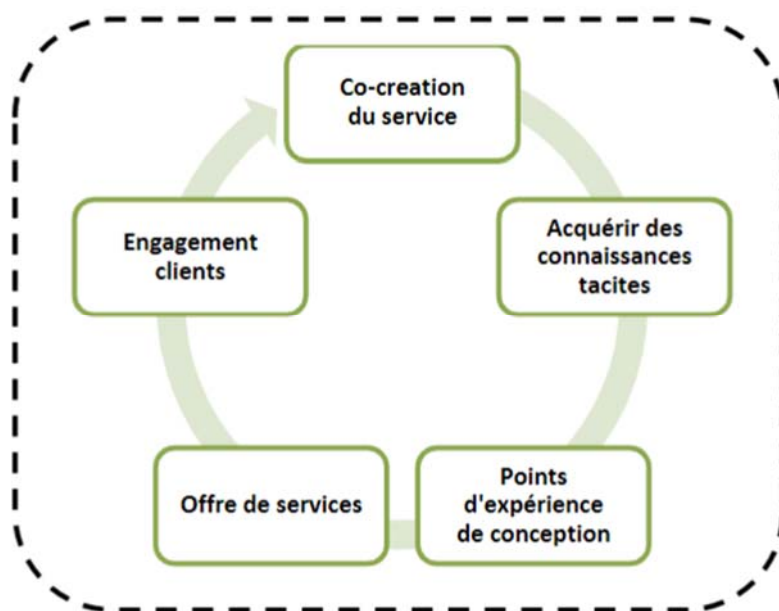


Figure 9 - Processus de co-création dans le secteur des services, adapté de Chesbrough (2011)

Il s'agit clairement d'une perspective centrée sur l'entreprise avec un "environnement extérieur" représenté en dehors des lignes pointillées. De ce point de vue, il semble que les entreprises du secteur du bâtiment et de l'énergie devraient engager les clients dans des activités visant à co-concevoir une intervention d'économie d'énergie. Cependant, il pourrait aussi être compris différemment, dans une perspective centrée sur le client. Heinonen propose de se rapprocher des clients : "Au lieu de se concentrer sur la façon dont les clients peuvent s'engager dans la co-création avec l'entreprise, **les fournisseurs de services devraient plutôt se concentrer sur leur implication dans la vie des clients.**" (Heinonen et al., 2010 cité par Grönroos & Voima, 2013). Au lieu d'intégrer les clients au sein du département R&D des services publics, les entreprises devraient aller au-delà des frontières de l'entreprise pour apprendre des pratiques sociales, avec des méthodes ethnographiques par exemple.

Dans cette perspective, **le rôle des différents acteurs du système évolue**. Les utilisateurs deviennent des co-concepteurs, avec des planificateurs professionnels. Gassman et ses collaborateurs (2010) proposent également un rôle évolutif pour les universités "*des tours d'ivoire aux médiateurs du savoir*" (p. 4), qui va dans le même sens que Sanders et Stappers : **le chercheur devient un facilitateur dans le processus d'innovation ouverte** (2008).



Le concept de « services énergétiques »

Une recherche récente de Michael James Fell a été menée sur la définition du concept (2017). Il souligne l'importance croissante de la gestion de la demande, d'où l'intérêt de mieux définir les "services énergétiques". Il a analysé 185 articles de deux revues différentes contenant le terme "**service énergétique***". Ce concept n'est mentionné que dans **0,5% des articles sur la thématique "Energie"** qu'il analyse. Sur ces 185 articles, seuls 10% proposent une définition des services énergétiques et 50% donnent des exemples de services énergétiques (173 exemples au total). Fell a élargi la revue de la littérature avec la "littérature grise" et a trouvé 12 définitions supplémentaires.

Il a constaté des incohérences dans les différentes définitions proposées et a élaboré sa propre définition à partir d'une analyse du contenu des documents sélectionnés :

« Les services énergétiques sont les fonctions exécutées à l'aide d'énergie qui sont des moyens d'obtenir ou de faciliter les services ou états finaux souhaités. »

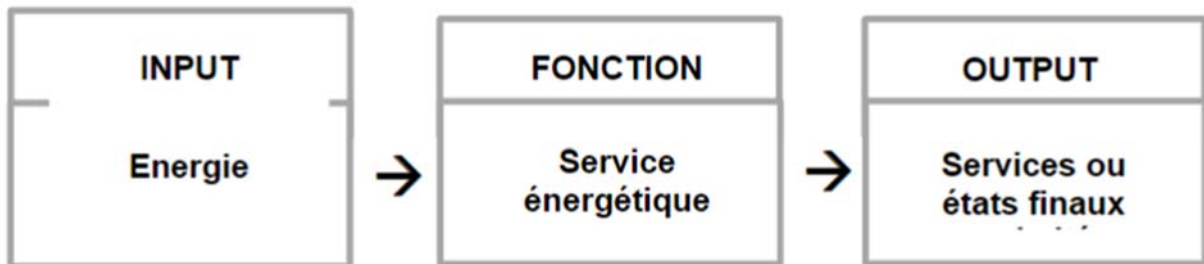


Figure 10 - Qu'est-ce qu'un service énergétique, d'après Fell (2017)

Il différencie la "fonction" et les "états finaux", ce qui n'est pas souvent le cas dans les différents documents qu'il a examinés : "il est nécessaire de déterminer où s'arrêtent les services énergétiques, et où commencent les services finaux." (...) Il propose des exemples : Le service énergétique "éclairage" a pour but de pouvoir voir la nuit (service final) ". (Fell, 2017, p. 8).

Pour encadrer ses recherches et analyser une quantité "gérable" de littérature, Fell a analysé des articles de deux revues différentes, à savoir : "Energy Policy" et la récente revue "**Energy Research and Social Science**". Ces revues ne se concentrent pas sur la partie "service" du concept "service énergétique" mais sur la partie "énergie". Dans ce projet, nous soutenons que **la discipline marketing peut contribuer à définir le "service énergétique" dans une perspective différente et complémentaire**. Plus précisément, la science des services pourrait aider à définir en général ce qu'est un service. Cette recherche est ancrée dans le paradigme Service Dominant Logic (SDL), proposé par Vargo et Lusch en 2004. SDL se situe à la croisée des disciplines Marketing et Service Science. SDL considère que toutes les économies sont des économies de services et que **le service est ce qui crée de la valeur pour les résidents**. Le watt, par exemple, ne crée pas de valeur pour les résidents ; ce n'est qu'un produit, un "véhicule" qui apporte la valeur du service aux résidents. La valeur (l'avantage) est toujours co-crée lorsque le service est consommé. Lorsque des watts sont perdus pendant le transport, ils ne créent aucune valeur.

Dans le secteur de l'énergie et du point de vue de l'ingénierie, les consommateurs sont souvent, pour l'instant, au bout de la chaîne de valeur en tant que consommateurs du service énergétique. Qu'arrive-t-il s'ils sont placés au début de la chaîne de valeur, en tant que co-créateurs de valeur, lorsqu'ils conçoivent des services énergétiques en collaboration avec des intervenants clés ? **Quel serait l'impact sur la performance énergétique des bâtiments basse consommation ?**



Dans la discipline de l'ingénierie, l'accent est souvent mis sur la partie production, sur l'apport de la prestation de services énergétiques, sur les artefacts, une technologie spécifique par exemple. Dans la discipline du marketing, l'accent est mis sur les résultats, du côté de la demande, sur la prestation de services dans un paradigme SDL. **Un système de chauffage, par exemple, n'est pas ce qui crée de la valeur pour les résidents, ce qui crée de la valeur, c'est le service énergétique fourni par le système de chauffage** : "chauffage", l'état final est de se sentir bien au chaud et à l'aise à la maison. Ce cadre théorique de co-création de valeur au sein de SLD est utilisé au niveau méta pour décentraliser l'attention du produit aux services dans un secteur où la technologie est prédominante.

Comment définir le " marketing social " ?

Tout d'abord, le terme "social" doit être défini : "Social : de ou en relation avec la société humaine, l'interaction de l'individu et du groupe, ou le bien-être des êtres humains en tant que membres de la société." Dans la littérature scientifique, Kotler et Zaltman ont inventé le terme marketing social en 1971 déjà :

« Le marketing social est la conception, la mise en œuvre et le contrôle de programmes visant à influencer l'acceptabilité des idées sociales et impliquant des considérations de planification des produits, de tarification, de communication, de distribution et de recherche marketing. »

A partir de cette première définition, une "idée sociale" est une idée liée au **bien-être des êtres humains**. Kotler et Zaltman décrivent le marketing social comme un processus qui peut être utilisé pour concevoir un programme, ce que nous avons appelé une intervention. Dans cet article, ils proposent une adaptation des 4P à dimension sociale. Après près de 50 ans, cet article contient encore des idées importantes, par exemple sur la thématique de la pollution qui n'a pas proposé un "produit" clair à acheter, un appel à l'action clair. Avec la multiplication d'acteurs non coordonnés, elle a provoqué un "surenchérissement d'intérêt" (déjà mentionné en 1971). **Dans le cas de l'EE, il est particulièrement intéressant de ne pas se concentrer uniquement sur les coûts " monétaires ", mais aussi sur les " coûts d'opportunité " et les " coûts psychiques ", peu souvent intégrés dans les programmes d'efficacité énergétique.** *"Les auteurs croient que des causes sociales spécifiques pourraient bénéficier d'une réflexion et d'une planification marketing"* (Kotler & Zaltman, 1971). Présenté de cette façon, le marketing devient un outil ; il n'est ni positif ni négatif. L'impact de l'outil sur la société est positif ou négatif. Aujourd'hui, le marketing est souvent utilisé de manière péjorative au sein de la population et a une connotation de manipulation. Les auteurs avaient déjà mis en garde les spécialistes du marketing social contre ce phénomène dans ce document en 1971. **Le marketing peut également être utilisé pour une implication sociale positive.**

En 2000, un psychologue, McKenzie-Mohr, frustré de voir que les planificateurs professionnels de l'environnement n'utilisaient pas les connaissances de la recherche sur le marketing social, a proposé un processus simple pour élaborer une intervention en marketing social. Il l'a appelé **"marketing social communautaire"**. Le processus comprend quatre étapes à suivre pour élaborer une intervention :

(1) Découvrir les obstacles et choisir les comportements, (2) Concevoir des stratégies, (3) Piloter, et (4) Évaluer. Ce processus commun de marketing a été illustré par différents exemples de marketing social dans son article. **L'agent de changement est toujours un planificateur professionnel, mais ce planificateur est encouragé à faire des recherches préliminaires et à tester son plan in situ dans des projets pilotes.** Cela constitue l'intervention de marketing social. L'intérêt de ce processus est aussi de fusionner un plan de marketing et un plan d'économie d'énergie afin de mieux cibler l'intervention sur l'auditoire. C'est également le point de vue de l'équipe de recherche lorsqu'elle élabore une intervention visant à accroître l'efficacité énergétique dans les bâtiments à faible consommation.



Le carrefour des différents cadres conceptuels

Ce projet se situe au carrefour de la production et de la consommation de services énergétiques dans les bâtiments basse consommation, nécessitant une recherche interdisciplinaire : (1) mieux comprendre le système sociotechnique (Geels, 2004), et (2) agir sur lui par une intervention d'économie d'énergie. Dans cette partie, les liens entre les différentes disciplines et les cadres conceptuels seront proposés. Dans la pratique, **les ingénieurs et les architectes se concentrent souvent sur la production et les spécialistes du marketing, les sociologues et les psychologues sur la consommation**. Ces deux axes différents montrent une séparation claire entre la production et la consommation, avec des acteurs différents impliqués à chaque étape du processus, comme on peut le voir dans la **Figure 11** proposée par Geels (2004).

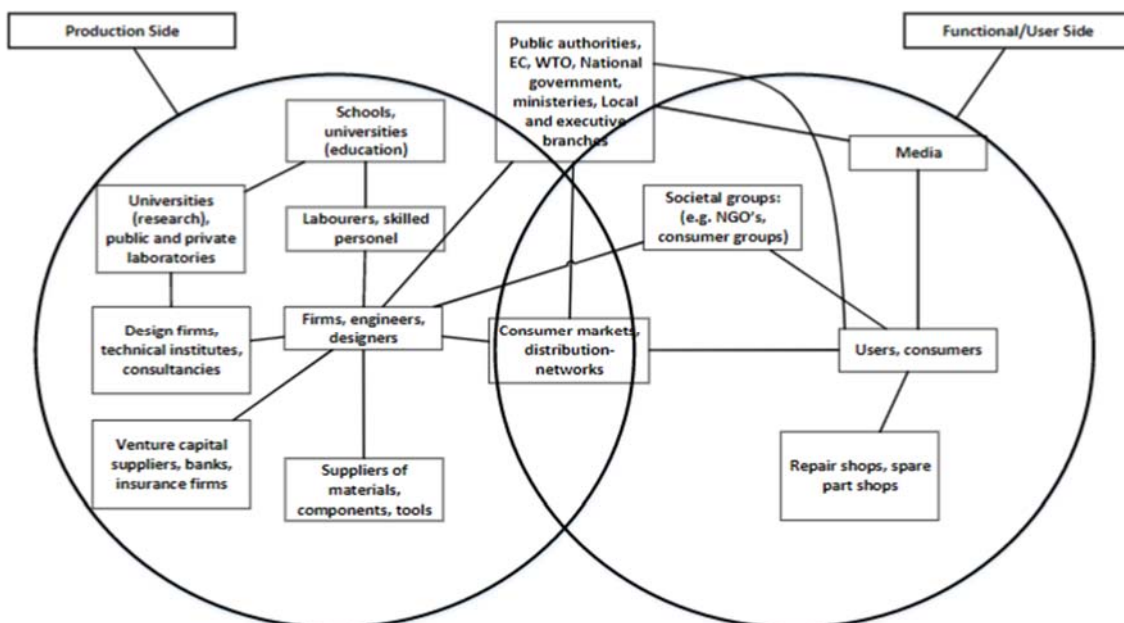


Figure 11 - Groupes sociaux dans le secteur du bâtiment, adapté de Geels (2004)

Le service, par définition, est produit et consommé simultanément (Vargo & Lusch, 2004), ce qui signifie que la frontière entre production et consommation n'est pas aussi claire qu'à la Figure 11 et qu'il n'est pas évident de séparer "côté production" et "côté fonctionnement/utilisateur" comme proposé par Geels dans son modèle, avec "marchés consommateurs, réseau de distribution" à l'intersection (2004). Par conséquent, il n'est pas évident de séparer les acteurs qui participent à la "production", comme les architectes et les ingénieurs, et ceux qui participent à la "fonction/utilisateur", comme les "occupants", les "utilisateurs" et les "consommateurs" (une terminologie différente est utilisée dans différentes disciplines). **Dans le cadre d'un processus de co-design, les parties prenantes traditionnellement considérées du "côté de la demande" co-développent des produits, des services et des interventions, avec les acteurs traditionnellement considérés du "côté de la production".**



La notion de "prosommateurs" complique la modélisation, car le consommateur d'énergie peut être le producteur de sa propre énergie : où placer le "prosommateur" dans ce modèle ? Le modèle est toujours une simplification d'une réalité complexe, mais dans ce cas, même les cercles séparant la production et la consommation devraient être revus dans une perspective de science du service. Comme le proposent Vargo et Lusch, les consommateurs sont toujours des co-créateurs de valeur lorsqu'ils consomment le service ; toutes les économies sont des économies de services (2004).

Qu'est-ce que cela signifie pour les services énergétiques et les économies d'énergie ? Si une intervention vise à modifier le système socio-technique et si le consommateur est toujours un co-créateur de valeur, la performance sociale du service dépend de la capacité du système socio-technique à fournir la valeur. La proposition du chercheur est d'intégrer le consommateur dans la chaîne de valeur en tant que co-concepteur. Si le consommateur n'est pas satisfait de la valeur créée dans le système, il a la possibilité de devenir un prosommateur et de produire sa propre énergie. Il devient un "lead user" comme l'a mentionné von Hippel, développant une solution pour répondre à ses propres besoins car la solution fournie par le marché ne le satisfait pas totalement (2005).

Les entreprises telles que les entreprises de services publics et les entreprises de construction ont le choix de les intégrer ou non. **Les consommateurs ont également la possibilité de modifier le système sociotechnique pour répondre à leurs propres besoins.** L'étude de leurs pratiques de consommation de la vie quotidienne et leur intégration dans la co-conception d'une intervention d'économie d'énergie irait dans le sens proposé par l'Open Innovation (OI). C'est la proposition que l'équipe de recherche testera dans ce projet. Comment intégrer les différents acteurs mentionnés par Geels (2004) ? Les Living Labs proposent une typologie des acteurs utilisant le modèle Quadruple Helix : (1) les universitaires, (2) les pouvoirs publics, (3) les entreprises privées et (4) les citoyens. L'innovation ascendante est l'approche centrale. Dans les LLs, les acteurs ne sont pas séparés par "côté production" et "côté fonctionnement/utilisateur" comme le propose Geels (2004) mais sont réunis dans un **écosystème d'acteurs contribuant par leur interaction à la co-conception de l'intervention.** Les LL sont considérés comme des intermédiaires d'innovation qui orchestrent le processus d'IO. Ils jouent également le rôle de catalyseurs. Steels et al ont également proposé une contribution importante aux avantages de la co-conception :

"Le processus de co-design a également apporté des avantages inattendus. Premièrement, les résultats de la recherche ont modifié les hypothèses implicites des chercheurs. Ainsi, en plus d'acquérir de nouvelles idées ou de nouveaux points de vue, le co-design peut aussi aider à changer des idées ou des points de vue existants." (2011, p.55).

Ces hypothèses sont ancrées dans les différentes parties du système sociotechnique : normes, acteurs, artefacts (Geels, 2004). Les normes architecturales nationales, par exemple, sont basées sur des hypothèses d'usage. Les artefacts tels que l'automate de régulation du système de ventilation sont basés sur des hypothèses. Les chercheurs ont également formulé des hypothèses sur le niveau de pouvoir et d'intérêt des différents acteurs qui peuvent différer de la réalité. Ces hypothèses, proposées pendant la phase de conception (phase préalable à l'occupation), peuvent ne pas être exactes, et une conception conjointe avec les intervenants pourrait modifier ces hypothèses au moyen d'une boucle de rétroaction entre la phase d'exploitation et celle de la conception. Ainsi, l'intérêt de l'intégration des méthodes agiles dans les LLs.



1.2 Justification du projet

Les recherches de co-design en Living Labs ont été menées principalement dans des secteurs tels que la santé, le tourisme, le développement régional... Peu d'articles décrivent l'utilisation de cette méthode participative pour la conception et l'exploitation des services énergétiques. Le but de cette recherche est de tester cette méthode dans le secteur de l'énergie et de comprendre comment intégrer différents types d'intervenants pour co-concevoir des interventions d'économie d'énergie pour réduire l'écart de performance énergétique lié aux pratiques sociales. Nous pouvons formuler les questions de recherche comme suit : **La méthode de co-conception utilisée dans les LL est-elle transférable au secteur de l'énergie ? Comment faire participer les principaux intervenants au processus de co-conception d'un plan d'économie d'énergie ? Quel serait l'impact sur l'écart de performance ? Existe-t-il un écart de performance sociale**

1.3 Objectifs du projet

Cette section propose de décomposer les questions de recherche pour aboutir aux objectifs. Pour plus de clarté, Wacker propose de répondre aux questions de base (1998), comme dans le Tableau 2 :

Questions	Réponse du projet
QUI	Les principales parties prenantes du partenariat public-privé personnes (PPPP)
QUOI	Co-conception de services énergétiques et d'interventions d'économie d'énergie
QUAND	Pendant la transition énergétique, grâce à une technologie de pointe.
OU	Dans les bâtiments à faible consommation, en Suisse, dans un cadre Living Lab
COMMENT	Avec des méthodes de co-conception et de marketing social communautaire
POURQUOI	Pour réduire l'écart de performance énergétique (variable dépendante)
DEVRAIT/ POURRAIT	Nous devrions intégrer les intervenants clés dans la co-conception d'une intervention d'économie d'énergie. Nous pourrions alors réduire l'écart de performance énergétique, ce qui aurait des répercussions positives sur l'environnement et la société.

Tableau 2 - Réponses aux questions de recherche, adaptées de Wackers (1998).



La Figure 12 représente schématiquement ce que les auteurs ont l'intention d'étudier dans ce projet :

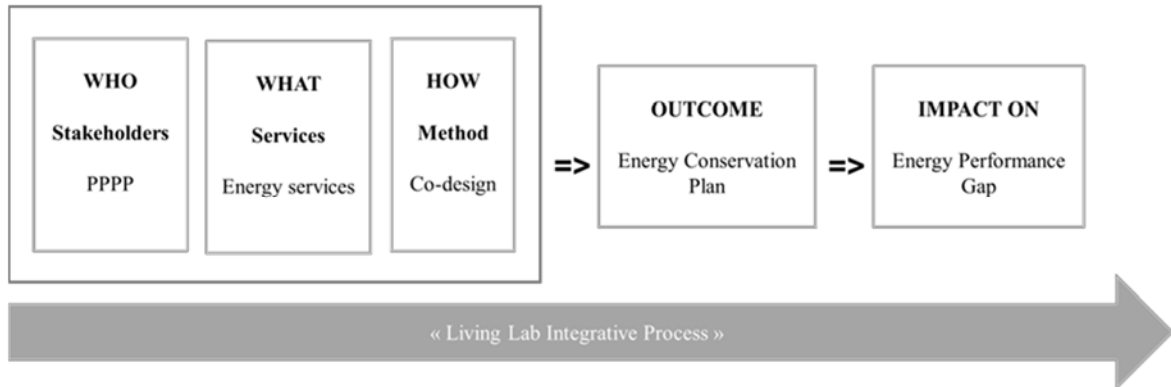


Figure 12 - Principaux éléments de la conception de la recherche



2. Procédure et méthode

Les bâtiments à faible consommation de l'éco-quartier étudié seront utilisés comme des laboratoires vivants où les interventions in situ seront menées en utilisant des mixed-méthods séquentielles. Différentes parties prenantes seront invitées à participer : (1) les chercheurs en sciences sociales auront un rôle de facilitateurs et conduiront et modéreront l'expérience, (2) les chercheurs en économétrie mesureront la performance énergétique avant et après les différentes interventions, (3) les ingénieurs surveilleront les bâtiments du quartier et sépareront l'influence des bâtiments et celle des occupants sur l'efficacité énergétique globale du bâtiment, (5) Les entreprises de construction donneront accès aux bâtiments et aux données de consommation et utiliseront les résultats pour la conception des futurs bâtiments à faible consommation, (6) Les occupants participeront aux différentes phases de la recherche appliquée : des entrevues qualitatives et des ateliers et (6) L'association Minergie utilisera les résultats de la recherche pour faire évoluer le processus de labellisation et communiquera les résultats de cette recherche.

Voici ci-dessous plus de détails sur les différentes méthodes économétriques et de marketing social.

Mixed methods séquentielles

Les **analyses économétriques** sont conduites au niveau des ménages du quartier (niveau MACRO), avec pour objectif d'expliquer les consommations d'énergie (chauffage, ECS, électricité) non seulement par les **éléments techniques du logement**, mais également par les **caractéristiques sociodémographiques** des ménages (nombre de personnes, âge, niveau d'éducation, ...). De tels modèles permettent ainsi d'indiquer quels facteurs sociodémographiques ont tendance à augmenter l'écart de performance ou au contraire à le réduire. Afin de pouvoir les effectuer, il est au préalable nécessaire de **relier les données de consommations du logement** (données du distributeur et du smart meter) **avec les données socio-démographiques du ménage** habitant dans ce logement.

Le lien entre ces deux bases de données s'est révélé plus compliqué que prévu. Les identifiants n'avaient effectivement pas été relevés de manière complète au moment de la collecte initiale des données car le constructeur trouvait ces données trop intrusives. Lors du premier sondage, le numéro d'appartement n'avait pas été demandé et avait été retiré de l'enquête, il s'agissait donc de « deviner » quel compteur été relié à quel répondant du sondage en croisant les informations sur le nom de rue, l'étage et l'exposition, exercice très laborieux et qui a fortement réduit l'échantillon de 150 à répondants au sondage de 2014 à 50 appartements avec consommation d'énergie...

Nous avons par conséquent dû relancer un sondage au mois de juin 2018 pour collecter de nouvelles données socio-démographiques auprès des ménages habitant le quartier d'Eikenott, ce qui a permis d'élargir le nombre de ménages pour réaliser les analyses économétriques. L'échantillon du deuxième sondage est constitué de **95 ménages sur les 300 appartements** que compte le quartier.

Récupération des données des smart meters

Grâce aux smart meters installés sur les bâtiments de l'éco-quartier de Gland, il a été possible de collecter certaines informations énergétiques relatives aux logements composant l'ensemble des bâtiments. Les smart meters ont mesuré un éventail large recouvrant l'énergie électrique et thermique (457 points de mesure), la consommation d'eau chaude sanitaire (252 points de mesure) et la température dans les zones séjour et nuit (619 points de mesure). Les données, à une fréquence variable de 10 minutes à



plusieurs heures selon le type, sont disponibles sur 5 années complètes, de 2014 à 2018. Il est à noter que les données 2018 et 2019 ont été fournies fin octobre 2019 (soit trois mois avant la fin du projet) et n'ont permis qu'une analyse sommaire. Trois années complètes de mesures ont été analysées. A partir des données historiques mensuelles sur trois années, il a été possible de comparer les paramètres réellement mesurés aux données utilisées dans le bilan thermique à partir du logiciel Lesosai. Sur la base de ces données, nous présentons les résultats pour les besoins de chauffage et les consommations électriques.

Sondage et modèles économétriques

Concernant l'échantillon étudié, le quartier d'Eikenott comporte environ 400 ménages². Avec 95 répondants correspondant chacun à un ménage, nous avons des marges d'erreur (avec alfa à 5%) de 9.51%. Même si nous considérons une population de base plus petite (seulement les adultes) il faudrait avoir une taille de la population de 125.9 personnes afin d'avoir une marge d'erreur de 5%. Pour repérer les observations non-pertinentes (échelle systématique, outlier et peu documenté), les variables textes, de système ont été exclues, ainsi que les variables qui diffèrent des deux enquêtes.

Les résultats socio-démographiques seront tout d'abord présentés afin de définir le nombre d'habitants par ménage, la configuration du ménage, la profession, le niveau d'éducation. Ensuite, différentes analyses multivariées seront proposées en nous concentrant sur trois énergies différentes : le chauffage, l'électricité et finalement l'eau chaude sanitaire. Ces données de consommation ont ensuite été croisées avec les données socio-démographiques.

La difficulté de ce projet est de combiner les apports des différentes disciplines (marketing social, économétrie, statistique, ingénierie) pour **développer un modèle unique et interdisciplinaire**. Notre projet est basé sur l'hypothèse que les comportements, les caractéristiques techniques et leur interactions ont des effets sur la consommation énergétique (**sociotechnical system theory**) comme mentionné dans la **Figure 14** :

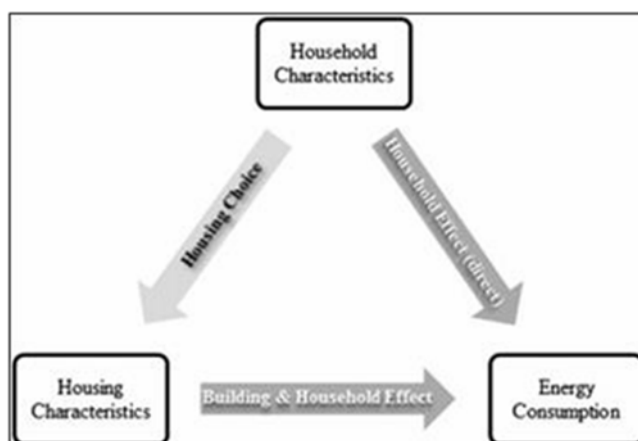


Figure 13 - Facteurs X des bâtiments et des ménages et consommation d'énergie dans le secteur résidentiel, adapté de Estiri, (2014)

² <https://www.24heures.ch/vaud-regions/la-cote/gland-nouveau-quartier-pour1100-habitants/story/11760490>



Dans notre cas spécifique, à la différence de la **Figure 14**, nous nous sommes intéressés à la séparation des différentes strates, afin de comprendre quel sera l'impact des mesures co-développées sur différents groupes cibles. Pour cette raison, au lieu de réaliser des modèles de type SEM (exemple de modèle dans la **Figure 15** toujours du même article), nous allons réaliser deux approches différentes :

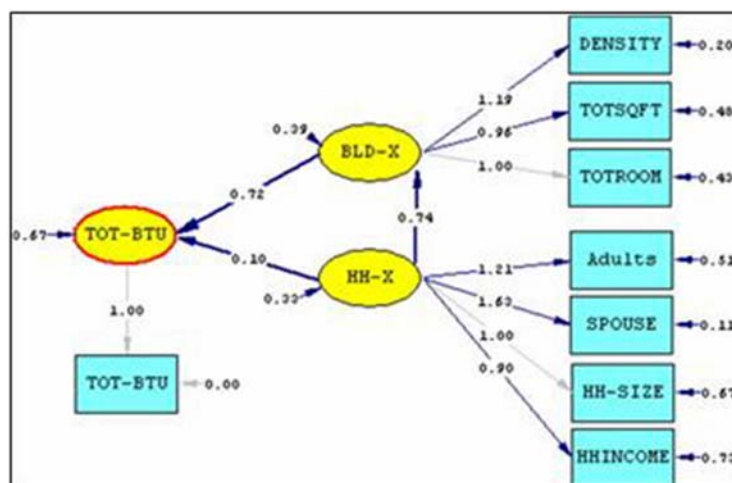


Figure 14 – Exemple de modèle SEM

- Un modèle appelé “stochastic frontier analysis” (SFA)
- Des indicateurs de performance basés sur des équations qui reflètent les comportements

Le questionnaire

Pour la rédaction d'un questionnaire, la méthodologie derrière le modèle SEM permet de définir les hypothèses et donc les questions que nous devons poser.

La procédure est la suivante :

1. Définir les « construits » que l'on veut intégrer dans le modèle (par revue de littérature). ->
2. Choix de variables qui peuvent mesurer les « construits ». ->
3. Définition des hypothèses qui relient toutes les variables entre elles. ->
4. Construction d'un modèle théorique : comment les variables sont reliées entre elles ? ->
5. Construction des tests pour vérifier le modèle empiriquement. ->
6. Construction du questionnaire (qui reprend la revue de littérature).



« Contruits »	Définition	Source
Critère socio-démographique	Un critère socio-démographique est un critère de segmentation ou de ciblage reposant sur une caractéristique sociale ou démographique des individus.	Common grounds (wikipedia)
Comportement en matière d'économie d'énergie	<p>La définition n'est pas unique.</p> <p>Dans l'article de référence, Cook identifie 7 niveaux qui impliquent des action différente (1981).</p> <p>Nous sommes dans la catégorie 7 « Les approches de la septième et dernière catégorie ont pour objectif commun d'informer et de guider les utilisateurs en ce qui concerne leurs efforts de conservation, quelle que soit la motivation de ces efforts.</p> <p>L'une de ces approches fait appel à diverses formes de feed-back fourni par un agent externe. L'autre concerne le self-monitoring, c'est-à-dire la remontée d'informations par les consommateurs eux- mêmes. »</p>	Cook, S. W., & Berrenberg, J. L. (1981). Approaches to encouraging conservation behavior: A review and conceptual framework. <i>Journal of Social Issues</i> , 37(2), 73-107.
Interface utilisateur	<p>L'interface utilisateur (IU), dans le domaine du design industriel de l'interaction homme-machine, est l'espace où se produisent les interactions entre les humains et les machines.</p> <p>L'objectif de cette interaction est de permettre un fonctionnement et un contrôle efficaces de la machine du côté humain, tandis que la machine fournit simultanément des informations qui facilitent le processus décisionnel des opérateurs.</p>	Common grounds (wikipedia)



Mise en place du processus Living Lab Intégré

Après avoir collecté et analysé les données sociodémographiques et les données des smart meter ainsi que la thermique du bâtiment, la phase de co-conception de mesures peut débuter. L'idée est d'intégrer différentes parties prenantes à l'élaboration d'un plan pour réduire l'écart de performance constaté (la partie liée aux pratiques sociales des occupants).

Nous travaillons avec la théorie du "**Community based social marketing**" (CBSM) qui part des comportements pour ensuite tenter de comprendre les barrières aux comportements pro-environnementaux (McKenzie-Mohr, 2000). Un plan d'efficacité énergétique est ensuite conçu pour contourner si possible ces barrières. Il sera piloté dans le quartier et les résultats du plan seront analysés grâce aux équations économétriques. Ce que nous proposons en plus du modèle, c'est de co-développer ce plan avec les parties prenantes, comme illustré dans la **Figure 13**.



Figure 15 - Processus du Living Lab intégré

Nous avons choisi de travailler sur les consommations (1) d'eau chaude sanitaire, (2) d'électricité et (3) de chauffage. Lors des entretiens qualitatifs en face-à-face réalisés en 2017, nous avons demandé aux habitants de décrire leurs consommations dans ces trois domaines. Nous allons ensuite comparer leurs réponses qualitatives avec les données quantitatives sur leurs consommations.

Comme illustré dans les recommandations du premier volet technique, le focus sur ces trois services énergétiques est important : le chauffage est le service énergétique le plus gourmand et où l'écart constaté est le plus élevé.



3. Résultats et commentaires

Cette partie reprend les principaux résultats des analyses, structuré dans l'ordre logique du processus. Le processus peut paraître linéaire, il est beaucoup plus complexe en réalité et nécessite des méthodes agiles et de nombreux ajustements qui figurent dans les recommandations. Pour rappel, l'annexe 1 se concentre sur l'analyse thermique basée sur la norme SIA 380/1 et étudie un bâtiment du quartier en profondeur (niveau MESO). L'annexe 2 comprend les analyses électriques et le rapport à la norme SIA 380/4 au niveau du quartier (MACRO). Elle étudie ensuite les facteurs explicatifs des écarts, à nouveau à un niveau MACRO puis propose des pistes d'interventions.

3.1 Evaluation des consommations électriques et comparaison aux données des smart meters (Tâche 1.2)

Tout d'abord, voici un bref rappel des questions de recherche pour cette partie :

- Existe-t-il un écart de consommation électrique par rapport à la norme SIA 380/4 ?
- Sur quelle(s) pratique(s) liées à la consommation électrique se concentrer dans le co-design ?
- Quelle est l'influence des smart meters sur la consommation notamment électrique ?
- Y a-t-il des différences entre les bâtiments du quartier ? Entre les propriétaires et les locataires ?

Qualité du jeu de données

La volumétrie des données recueillies est importante et la qualité de ces données est inégale, avec les données manquantes et des données aberrantes. Un gros travail de nettoyage de ces données a dû être fait pour pouvoir les utiliser, avec encore certainement des subissions de la qualité d'une partie de ces dernières :

	Energie	ECS	Température
	77'750'000	8'700'000	5'200'000
Nombre de points de mesure	457	252	619
Moyenne mesures / point de mesure (arrondi)		34'000	8'400
Max mesures / point de mesure	283'001	106'905	68'872
Min mesures / point de mesure	11'558	15	2

Tableau 3 - Qualité des jeux de données

On constate une **différence importante** dans la moyenne des mesures par point de mesure. L'énergie a une moyenne arrondie de mesures par point de 170'000, l'ECS de 34'000 et la température de 8'400. La différence de volumétrie dans l'enregistrement des données vient du fait que le système de smart meters ne stocke les données que lorsqu'il y a une variation significative afin d'économiser de la place dans la base de données.

Pour la température, les données stockées sont la valeur de température. Nous avons évalué que la différence qui déclenchait l'enregistrement devait être au minimum de 0.5°C. Etant donné que la



température des pièces à l'intérieur d'un logement ne varie pas rapidement, cela explique le peu de données présentes.

Pour les volumes, les données sont stockées sous forme d'index. Le système change de pas de mesure si aucune consommation n'est mesurée. Ainsi, nous avons des intervalles d'une heure et demie entre deux mesures lorsque l'index est identique, alors que cette fréquence passe à 10 minutes lorsque l'index change.

Cette façon de procéder, normale et légitime, ne nous permet pas de simplement compter le nombre de mesures pour évaluer leur qualité. Une approche différente doit être utilisée. Pour évaluer la fiabilité des données, nous avons sélectionné le compteur ayant le plus de données d'électricité (nommé meilleur compteur) et avons effectué un groupement par année :

Année	Quantité de données dans le meilleur compteur électrique	% de données présentes pour une fréquence de 10 minutes
2014	33'863	64.42
2015	34'323	65.30
2016	48'860	92.70
2017	52'302	99.50
2018	51'527	98.03

Tableau 4 - Groupement par année du meilleur compteur électrique

La qualité des mesures s'améliore au cours du temps pour ce compteur. La qualité était médiocre en 2014 et 2015 (environ 65% des données collectées) alors qu'elle est excellente en 2017 et 2018 (plus de 95% des données collectées). Cette observation est cohérente avec une meilleure fiabilité du système de relève des données, les mises à jour et une meilleure maîtrise du système augmentant la qualité. Un découpage des données mois par mois sur l'année 2018 pour ce compteur donne des résultats uniformes avec des mois comptant 100% de données.

Cette constatation ne peut pas être faite sur l'ensemble des mesures. Un pointage sur d'autres compteurs électriques ayant une volumétrie de données plus faible montre des relevés de données très fragmentaires. Par exemple, un compteur électrique avec 83'651 données relevées sur l'ensemble de la période expose les relevés mensuels suivants :

Année	Nombre de mois présents	Remarques
2014	12	Tous
2015	6	1, 2, 3, 4, 7, 9
2016	10	Janvier et décembre absents
2017	5	Avril à juillet présent
2018	1	Octobre

Tableau 5 - Relevés mensuels électriques



Cela peut être dû à différentes causes telles que :

- Déménagement d'un locataire, appartement vacant et interrupteur général sur OFF ;
- Résidence secondaire vide et interrupteur général sur OFF ;
- Panne de compteur ou du système de télérelève ;

Un croisement des données avec les compteurs du même bâtiment donne les mêmes résultats, les mois ayant des données étant strictement identiques. Il est donc très probable que le système de mesure ait été mis hors tension, ce qui fait penser à une des deux premières causes.

Pour évaluer les compteurs d'eau chaude sanitaire (ECS), nous avons également sélectionné le compteur ayant le plus de données d'ECS. Nous avons ensuite effectué un groupement par année, puis avons comparé la volumétrie avec celle du meilleur compteur d'énergie :

Année	Quantité de données dans le meilleur compteur ECS	Rapport compteurs volume / compteurs énergie
2014	13'329	39.36 %
2015	15'217	44.33 %
2016	15'380	31.47 %
2017	20'824	39.81 %
2018	21'328	41.39 %

Tableau 6 - Rapport compteurs volume / compteurs énergie

Le rapport entre la quantité de données présentes pour ce compteur de volume et le meilleur compteur d'énergie oscille entre 31 % et 44 %. Etant donné la méthode de stockage et la répartition plus ou moins uniforme des données, nous considérons que la qualité des données ECS est identique à celles des compteurs électriques.

En conclusion, nous pouvons dire que les données de 2014 et 2015 sont exploitables, mais à utiliser avec une certaine prudence car il existe des informations manquantes. Lors des analyses suivantes, la pertinence des informations devra être évaluée au cas par cas.

Le recoupement des données des smart meters avec les appartements et habitants a posé plusieurs problèmes qu'il est important de noter. En effet, **ces problèmes vont se retrouver dans d'autres études ou dans d'autres systèmes de smart meters :**

- Le recoupement entre identifiants de plusieurs fournisseurs de données (dans notre cas, les données des compteurs facturés mensuellement et les données des smart meters) est difficile car les identifiants ne sont pas uniques. Par ailleurs, on note une grande hétérogénéité dans les notations de bâtiments et d'appartements ;
- Le recoupement entre les habitants et les compteurs est également difficile, les informations étant également fragmentaires et non homogénéisées ;
- Surtout au démarrage des installations de mesure, on constate une grande quantité de valeurs aberrantes ;



- Il existe des valeurs manquantes sans explication rationnelle. Ces valeurs peuvent manquer pour des causes normales (absence) ou anormales (panne), mais il n'y a pas de possibilité de savoir laquelle de ces deux causes est valide ;
- L'accès à la base de données est difficile, tant du point de vue de la protection des données que du partage informatique, le système de smart meters n'étant pas prêt à la collaboration.

Comparaison des consommations électriques avec la norme SIA 380/4

En tenant compte des informations socio-démographiques recueillies auprès des utilisateurs ainsi que des données techniques des appartements, nous avons comparé les consommations réelles obtenues avec les smart meters avec la norme SIA 380/4.

Dans un premier temps, les **213 appartements des 12 bâtiments équipés de smart meters** ont été référencés avec leur superficie. Les smart meters ont été reliés à chacun de ces bâtiments et leur consommation mensuelle évaluée.

Pour chaque appartement, les consommations mensuelles totales en kWh des années 2014, 2015, 2016 et 2017 ont été évaluées pour révision. **Les données étaient par pas de 10 minutes, mais nous sommes limités à la moyenne mensuelle, moyenne qui est suffisante pour en tirer des conclusions, compatibles avec le mandat reçu.** Ces consommations ont été ignorées si elles présentaient des valeurs négatives ou fortement aberrantes. Puis, une consommation annuelle pour 2014, 2015, 2016 et 2017 a été construite en fonction des valeurs obtenues. Nous avons finalement considéré comme valeur de référence la moyenne des consommations annuelles de ces quatre années. Une dernière analyse de la différence entre ces quatre années a permis de détecter les appartements ayant une trop grande variation et de les éliminer de l'analyse. Ainsi, après apurement, **il reste 200 appartements considérés comme valables.** Cette volumétrie est suffisante pour un résultat statistiquement correct.

Pour chaque bâtiment, une valeur de consommation annuelle de référence en kWh/a a été construite en fonction de la norme SIA 380/1 en utilisant les valeurs suivantes :

- **Demande totale en électricité pour l'habitation** : la valeur la plus proche de la superficie de l'appartement a été utilisée et pondérée par la superficie de l'appartement;
- **Demande spécifique en électricité pour l'éclairage des locaux** : le nombre de pièces a été extrapolé en fonction du tableau concernant la demande totale en électricité pour l'habitation. Les valeurs « moyenne » et « le plus souvent tous » ont été utilisées dans la pondération ;
- **Valeur cible pour la demande annuelle en électricité de la ventilation** : extraite des valeurs limites de référence.



La différence entre la consommation moyenne des quatre années mesurées par les smart meters et la valeur de consommation annuelle de référence a finalement été exprimée en pourcentage.

La moyenne a été effectuée sur les 200 résultats et donne les valeurs suivantes :

Différence moyenne [%]	Minimum trouvé sur les 200 échantillons [%]	Maximum trouvé sur les 200 échantillons [%]	Ecart-type
-14.26	-80.59	133.67	31.8

Tableau 7 - Moyennes de consommation sur les 200 appartements

Une analyse en profondeur, en examinant les courbes de charge des trois appartements ayant la consommation minimale et maximale a été effectuée, et a permis de supprimer l'appartement ayant une différence de consommation de -80.59%. Cet appartement montrait une consommation électrique quasiment permanente de 80W, sauf durant quelques semaines par année. Une analyse de la consommation d'eau montrait également une consommation nulle. Il s'agit donc d'un **appartement vide la plupart du temps**. A noter que la consommation de chauffage était identique aux autres appartements, ce qui montre que **le chauffage est resté enclenché durant l'absence de l'occupant**.

Après suppression de l'appartement cité ci-dessus, les 199 appartements restants présentent les valeurs suivantes :

Différence moyenne [%]	Minimum trouvé sur les 200 échantillons [%]	Maximum trouvé sur les 200 échantillons [%]	Ecart-type
-13.93	-63.67	133.67	31.53

Tableau 8 - Valeurs des 199 appartements

Ces résultats montrent une consommation réelle inférieure d'environ 15% par rapport à la norme SIA 380/1.



Impact des smart-meters sur la consommation électrique

Les analyses de l'impact des smart-meters sur la consommation électrique des utilisateurs ont été effectuées à partir des données de consommation des compteurs électriques officiels. Nous avons compilé les informations relatives des bâtiments pour les années 2016 et 2017. Dans chacun de ces bâtiments, nous avons évalué la surface de plancher occupée par les types d'habitants suivants :

- Avec smart meters / sans smart meters ;
- Propriétaires / locataires ;
- Buanderie privée / buanderie commune ;

L'échantillon des bâtiments se présente selon le **Tableau 9** :

Bâtiment	Surface [m ²]	Avec smart meter	Propriétaire ou locataire	Buanderie
A1.1	4'094	Oui	Locataire	Commune
A2.1	2'222	Non	Locataire	Commune
A2.1	2'222	Non	Locataire	Commune
B1.1	2'100	Oui	Locataire	Privée
B1.2	2'663	Oui	Locataire	Privée
B1.3	2'100	Oui	Locataire	Privée
B1.4	2'663	Oui	Locataire	Privée
B1.5	1'050	Oui	Locataire	Privée
B2.1	2'711	Non	Locataire	Commune
B2.2	1'661	Non	Locataire	Commune
B2.3	2'595	Oui	Propriétaire	N/A
B2.4	3'375	Non	Locataire	Commune
B2.4	3'375	Non	Locataire	Commune
B3.1	2'658	Oui	Locataire	Commune
B3.2	2'894	Non	Locataire	Commune
B3.3	3'046	Non	Locataire	Privée
B3.4	2'658	Non	Locataire	Privée
B4.1	2'022	Non	Locataire	Commune
B4.2	2'035	Non	Locataire	Commune
B4.3	2'022	Non	Locataire	Commune
C1.1	2'487	Oui	Propriétaire	Privée
C1.2	2'487	Oui	Propriétaire	Privée
C2.1	2'033	Oui	Propriétaire	Privée
C2.2	2'033	Oui	Propriétaire	Privée

Tableau 9 - Liste des bâtiments et caractéristiques



Nous avons ensuite comparé les consommations par mètre carré pour les utilisateurs ayant un smart meter avec ceux n'en ayant pas. Les résultats sont les suivants :

Locataires et propriétaires	Consommation moyenne par m ²	Total des m ² référencés
Avec smart meter	2.9	28'963
Sans smart meter	1.68	30'243
Différence %	172 %	
Locataires	Consommation moyenne par m ²	Total des m ² référencés
Avec smart meter	2.62	17'328
Sans smart meter	1.68	30'243
Différence %	156 %	
Locataires avec buanderie commune	Consommation moyenne par m ²	Total des m ² référencés
Avec smart meter	1.48	6'752
Sans smart meter	1.75	24'539
Différence %	85 %	
Locataires avec buanderie privée	Consommation moyenne par m ²	Total des m ² référencés
Avec smart meter	3.35	10'576
Sans smart meter	1.40	5'704
Différence %	240 %	

Tableau 10 - Comparaison des consommations

Seule la catégorie « locataires avec buanderie commune » montre une diminution de 15 % de consommation moyenne par mètre carré. Cependant, les tailles d'échantillons (surfaces) sont extrêmement différentes entre les deux catégories. Pour les autres catégories, **on note chaque fois une consommation jusqu'à 2.4 fois supérieure pour les ménages avec smart meter.**

On peut donc conclure de cette analyse des consommations électriques que :

- Les données sont difficilement accessibles pour analyse, pour une variété de raisons énoncées.
- On ne constate pas d'écart de performance électrique par rapport à la norme SIA 380/4 sur la moyenne des 200 bâtiments étudiés. La consommation moyenne est 15% plus basse que la norme SIA 380/4.
- Les smart meters installés dans l'éco-quartier ne permettent pas une réduction de consommation électrique dans la majorité des cas de figure.



3.2 Résultats des analyses des facteurs humains (tâche 2.2)

Cette partie se concentre sur les facteurs humains qui peuvent expliquer les écarts de performance thermiques (17%) et électriques (-15%). Les données proviennent du sondage effectué en été 2018 dans le quartier pilote.

Description de l'échantillon du sondage

Il est tout d'abord nécessaire de bien comprendre qui habite dans l'éco-quartier d'Eikenott pour mieux analyser les consommations d'énergie et les déterminants de la consommation et pour explorer les pratiques qui ont un impact sur l'EdP. Un sondage a donc été réalisé en juin 2018 dans le quartier. Il a réuni 95 répondants après nettoyage des données, ce qui représente environ un quart des ménages du quartier. La partie suivante présente l'échantillon des répondants, la composition des ménages et leurs caractéristiques socio-démographiques.

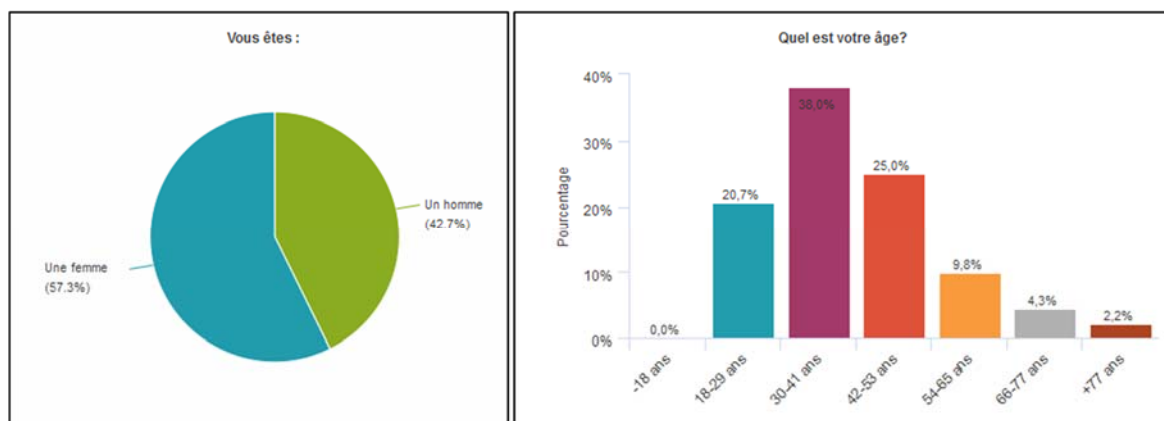


Figure 16 - Sexe et âge des répondants

La **Figure 16** démontre une bonne répartition entre les hommes (43%) et les femmes (57%) dans l'échantillon des répondants. Quant à l'âge des répondants, plus de la moitié se situe entre 30 et 53 ans. Les jeunes de moins de 29 ans ainsi que les personnes âgées de plus de 53 ans sont réparties de façon plutôt égale, représentant chacune environ 20% de la population. Il est à noter que nous n'interrogeons pas les personnes de moins de 18 ans. Les répondants ont été répartis dans des tranches d'âge de 11 ans pour pouvoir les comparer entre elles, en proposant des bornes qui font du sens (exemple : 30 ans : âge moyen du premier enfant en Suisse, 65 ans âge de la retraite).

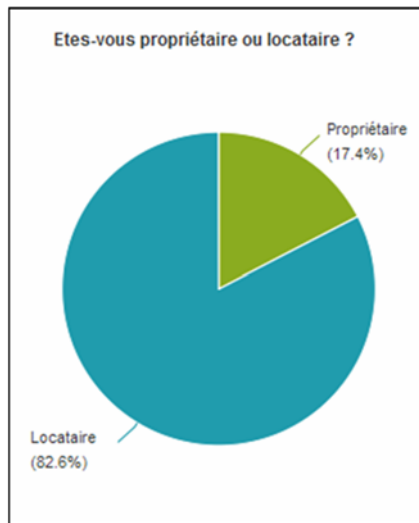


Figure 17 - Propriétaire / locataire

La majorité des habitants questionnés sont des locataires du quartier, à plus de 80%. Cette information est importante car elle sera déterminante lors de l'analyse de l'attitude des habitants face aux services énergétiques. En effet, les visions peuvent être différentes entre propriétaires et locataires.

Une autre caractéristique pouvant avoir des conséquences sur la consommation est la possession d'un animal de compagnie ou non. Ici, un cinquième de notre échantillon possède un animal de compagnie. Selon deux études antérieures (Santin, O. G. (2011) & Kavousian, A., Rajagopal, R., & Fischer, M. (2013).), la possession ou non d'un animal de compagnie a une influence sur la consommation d'énergie du ménage. Cette influence sera vérifiée par la suite dans les tris croisés.

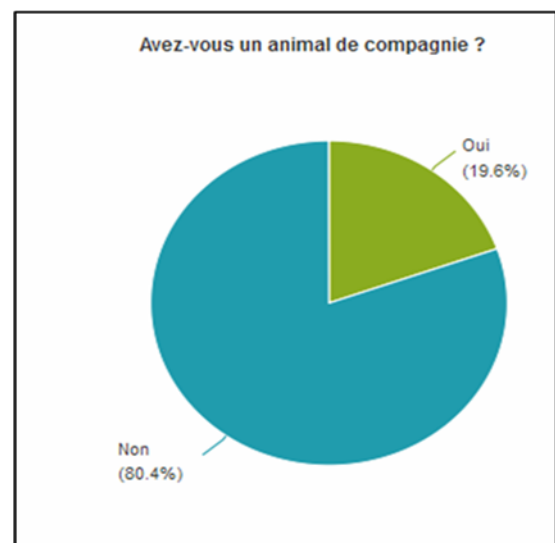


Figure 18 - Possession d'un animal de compagnie



La description du type de ménage est la suivante : un couple avec enfants est le type de ménage le plus représenté (40%), suivi des couples sans enfant (29%), et des familles monoparentales (11%). Une minorité des ménages est en collocation (3%). La catégorie « seul » représente environ 16% des ménages.

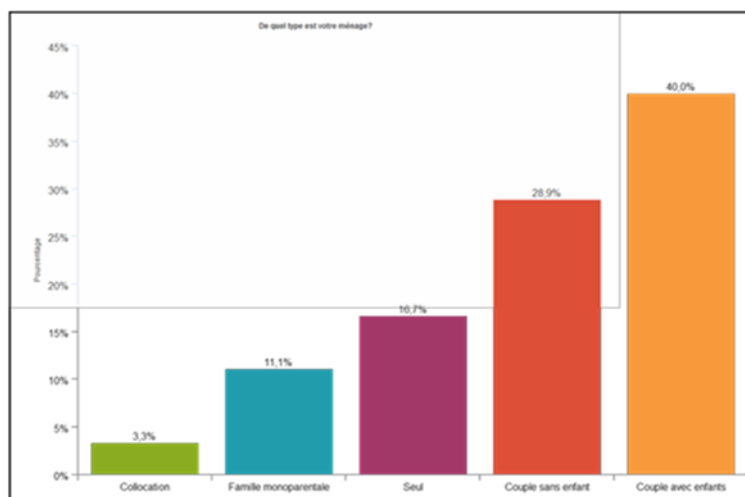


Figure 19 - Type de ménage

On peut ensuite aller plus dans le détail de la composition du ménage en analysant l'activité de ses membres. La catégorie réunissant plus d'un membre par ménage est celle des écoliers ainsi que des retraités. En effet, on y voit une proportion plus élevée d'avoir plusieurs enfants dans un même ménage, ou d'être deux retraités dans un appartement.

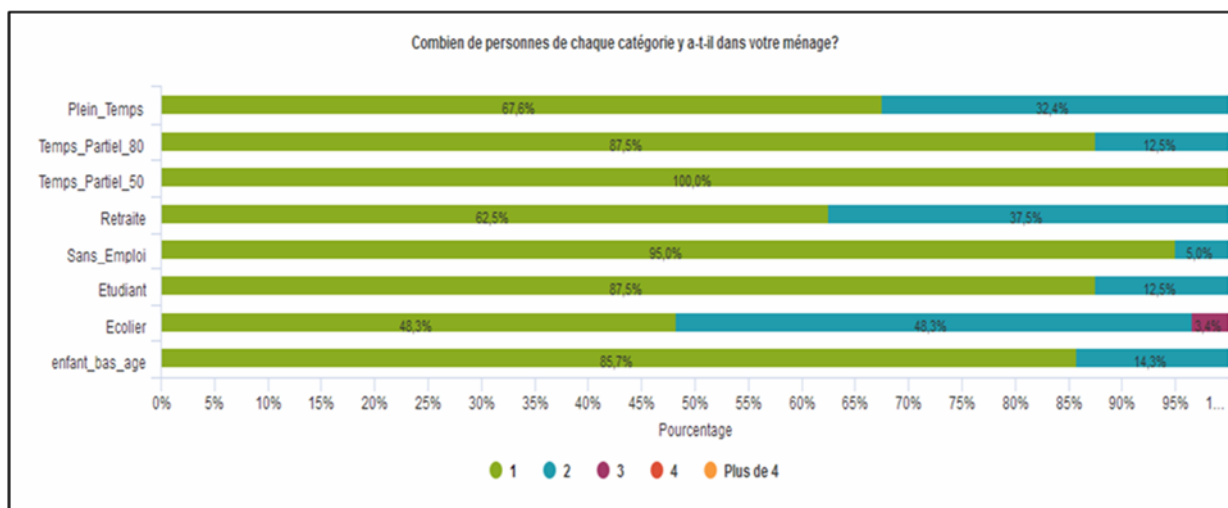


Figure 20 - Nombre de personnes par ménage / catégorie



La profession de l'échantillon est détaillée dans la **Figure 21**. La profession la plus représentée de l'échantillon est celle des employés ou fonctionnaires (53%). Puis environ 11% des personnes ont une profession en tant que cadre dirigeant et 10% comme indépendant. Le taux bas d'hommes ou de femmes au foyer (7,6%) pourra également avoir des conséquences sur les pratiques énergétiques. Près de 6% des répondants sont sans emploi. Un très faible pourcentage d'étudiants (1%) est représenté. En résumé, la grande majorité des personnes interrogées sont employées.

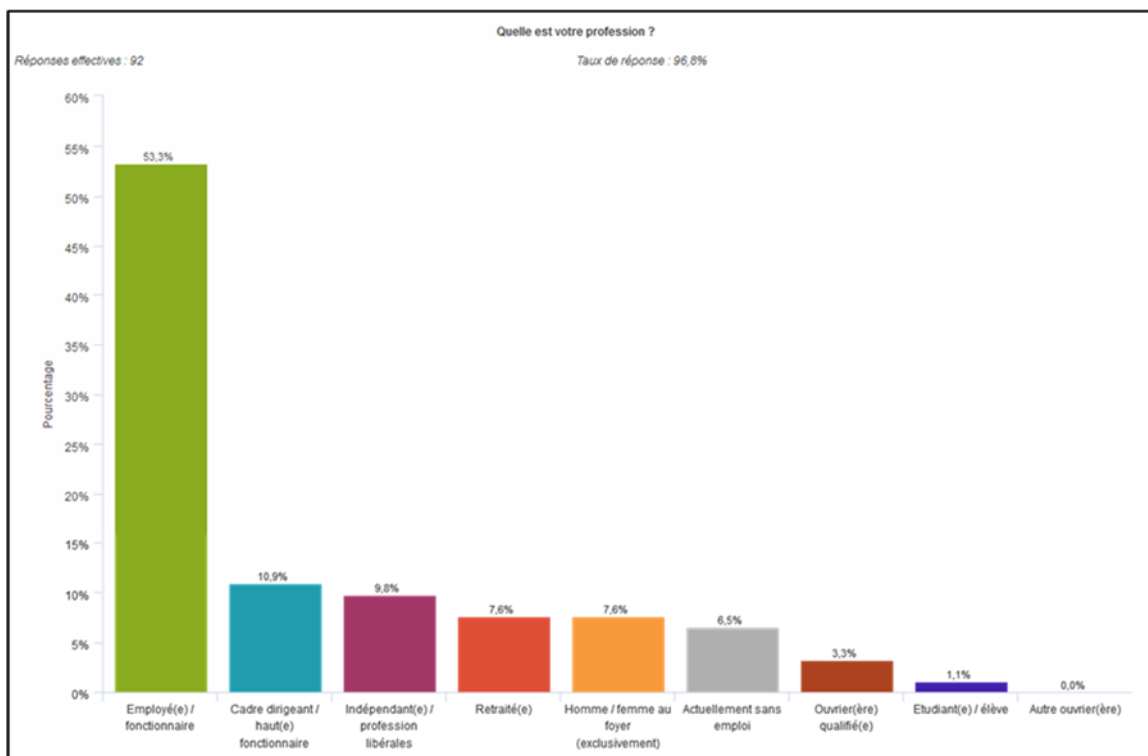


Figure 21 - Profession des habitants

Le niveau d'éducation peut également influencer la consommation d'énergie.

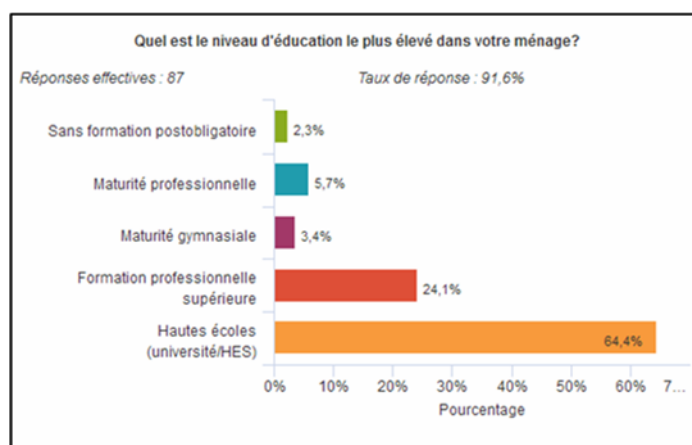


Figure 22 - Niveau d'éducation le plus élevé du ménage



La majeure partie des ménages est composée d'au moins un membre ayant un **diplôme de formation tertiaire**. Connaître le niveau d'éducation peut également avoir des conséquences sur le comportement énergétique des personnes mais également sur la sensibilité et la connaissance des personnes vis-à-vis de l'énergies, comme le démontreront les analyses bivariées dans les chapitres suivants.

Le revenu peut également influencer la consommation d'énergie :

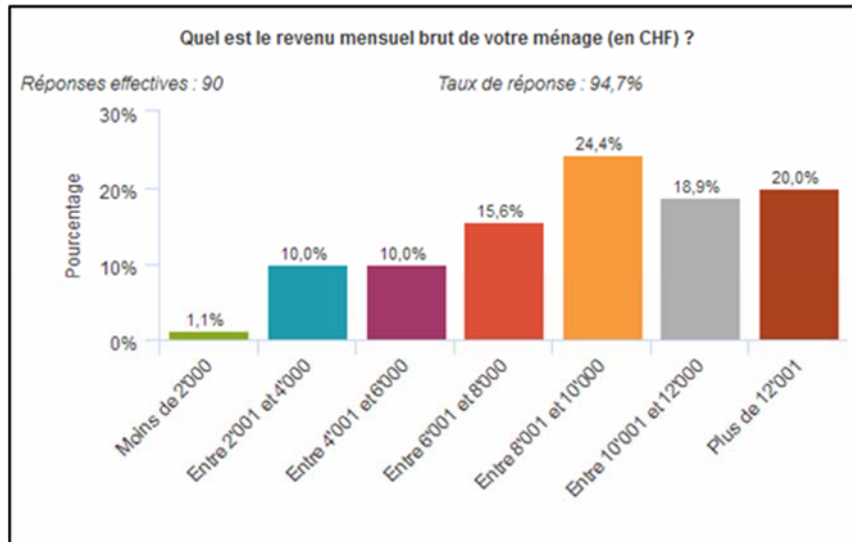


Figure 23 - Revenu mensuel par ménage

Le revenu mensuel du ménage dépasse pour les deux tiers des personnes CHF8'000. Un cinquième de l'échantillon détient moins de CHF6'000 de revenu global mensuel. Il est également intéressant de mentionner le nombre de répondants à cette question. En effet, 90 des 95 répondants au sondage ont déclaré leur fourchette salariale. Cela dénote une **confiance vis-à-vis des personnes qui réalisent l'étude**. Ces données permettront d'affiner les analyses économétriques qui suivront.

En conclusion, grâce à ces premiers graphiques décrivant les aspects socio-démographiques de l'échantillon interrogé via ce sondage, nous avons pu déterminer une série de caractéristiques décrivant l'échantillon des répondants. Il sera ensuite intéressant de faire des tris croisés puis des analyses multivariées pour mieux comprendre l'influence de ces caractéristiques sur la consommation d'énergie et sur l'EdP.



Satisfaction et importance des services énergétiques

La suite des analyses a permis de connaître l'importance des services énergétiques pour la population du quartier, mais également de connaître leur satisfaction vis-à-vis de ces services. Il est en effet intéressant de voir dans quelles dimensions les bâtiments basse consommation donnent satisfaction et si ces éléments sont importants ou non. Quand il s'agit de mettre en place des mesures correctrices, il n'est pas possible d'envisager des investissements pour chaque catégorie, on privilégiera les catégories où la satisfaction est basse et l'importance élevée aux yeux des habitants. Cette analyse se base sur la matrice importance/performance proposée par Martilla & James (1977) et revisitée avec le modèle SERVQUAL qui évalue la qualité du service (Parasuraman et al., 1988). Nous allons tout d'abord présenter les résultats sous forme de tris à plat puis les représenter sous forme de matrice importance/performance. L'importance des services est d'abord présentée :

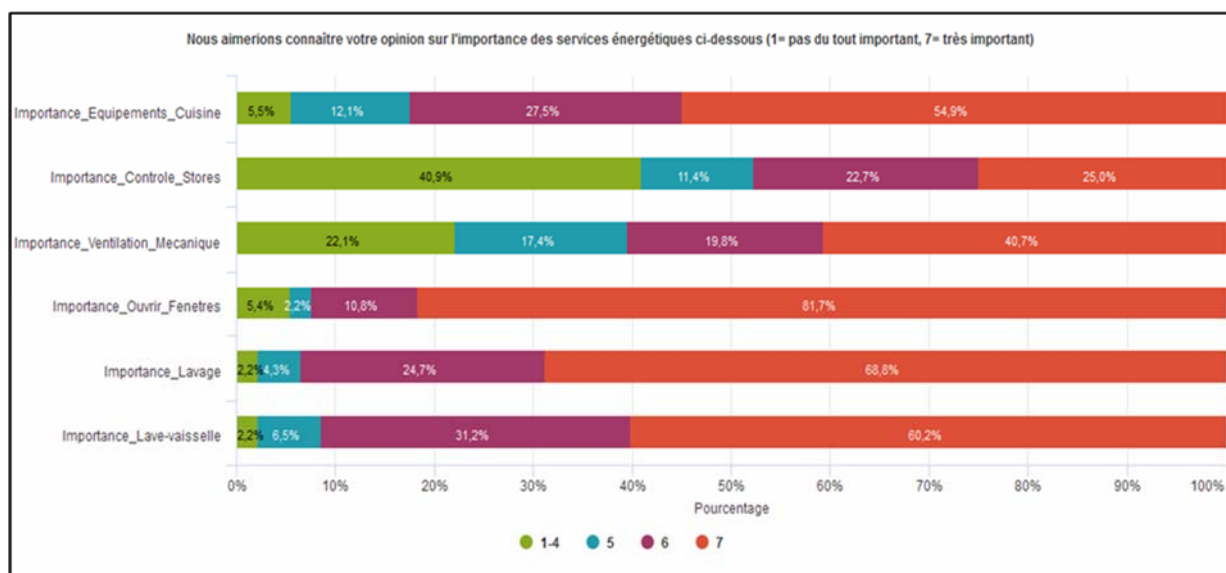


Figure 24 - Importance des services énergétiques pour les habitants

Sur les 95 répondants, la majorité accorde une grande importance (entre 6 et 7) à la possibilité d'ouvrir les fenêtres (92%), mais également à la qualité du lave-vaisselle (91%) et aux appareils pour laver et sécher le linge (93%). En revanche, le contrôle électrique des stores ne représente pas une priorité pour les habitants car « seulement » 48% des répondants ont jugé le contrôle des stores très importants (entre 6 et 7). La ventilation non plus n'est pas l'élément déterminant pour tout le monde : 60% des ménages y accorde une grande importance. Ce qui est intéressant dans ce type d'analyse est de voir que les ménages trouvent tous les services énergétiques importants. Il est donc utile de pouvoir non seulement analyser le niveau d'importance mais également de comparer les items entre eux et de les classer par ordre d'importance en les priorisant.



Sur la problématique de la ventilation, une question a cherché à comprendre les raisons de l'insatisfaction.

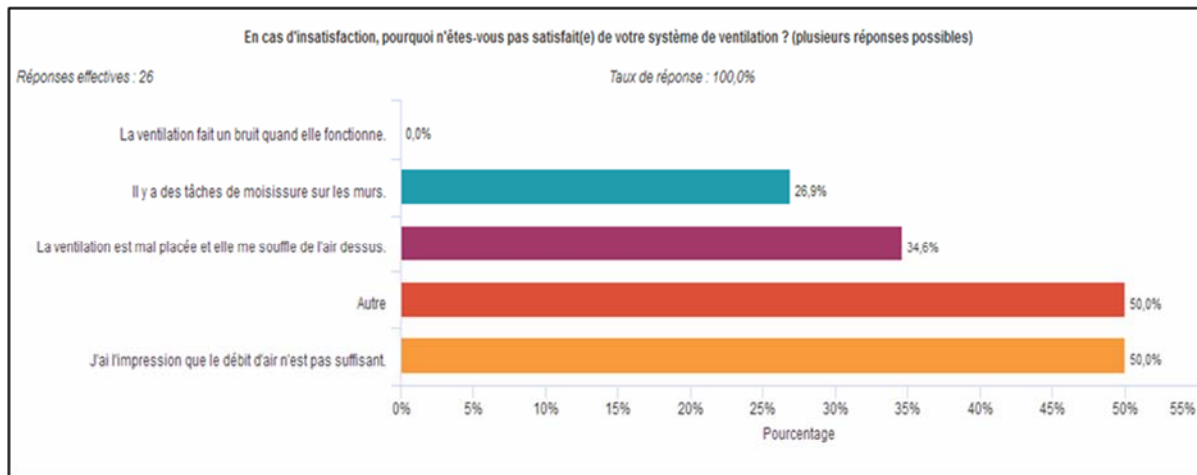


Figure 27 - Insatisfaction vis-à-vis de la ventilation

Nous avons souhaité creuser les causes des insatisfactions liées à la ventilation étant donné l'importance de ce système révélée par les analyses techniques. Pour le système de ventilation, 26 personnes sur 95 répondants ont répondu que **le système ne répondait pas à leurs besoins**. Pour plus de 80% des personnes insatisfaites, la technique du système de ventilation semble défailante. 50% des répondants insatisfaites indiquent des **problèmes avec le débit d'air**. Ce phénomène ne semble donc pas uniquement présent dans le bâtiment B1.2.

Les questions liées à la satisfaction vis-à-vis des services énergétiques ont été partagées en deux groupes pour ne pas alourdir le questionnaire. En effet, le maximum recommandé pour comparer plusieurs items dans un questionnaire est de 7 items différents en même temps. Voici les résultats du deuxième groupe de services énergétiques.

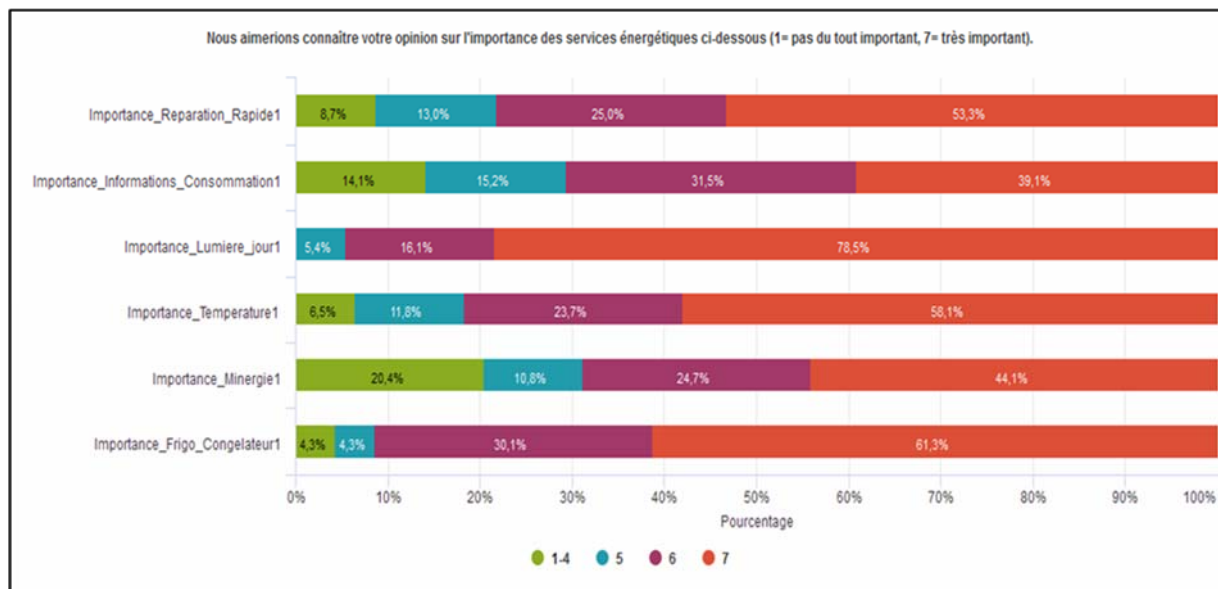


Figure 28 - Importance d'autres services énergétiques pour les habitants



La satisfaction vis-à-vis de ces services énergétiques est présentée ci-dessous :

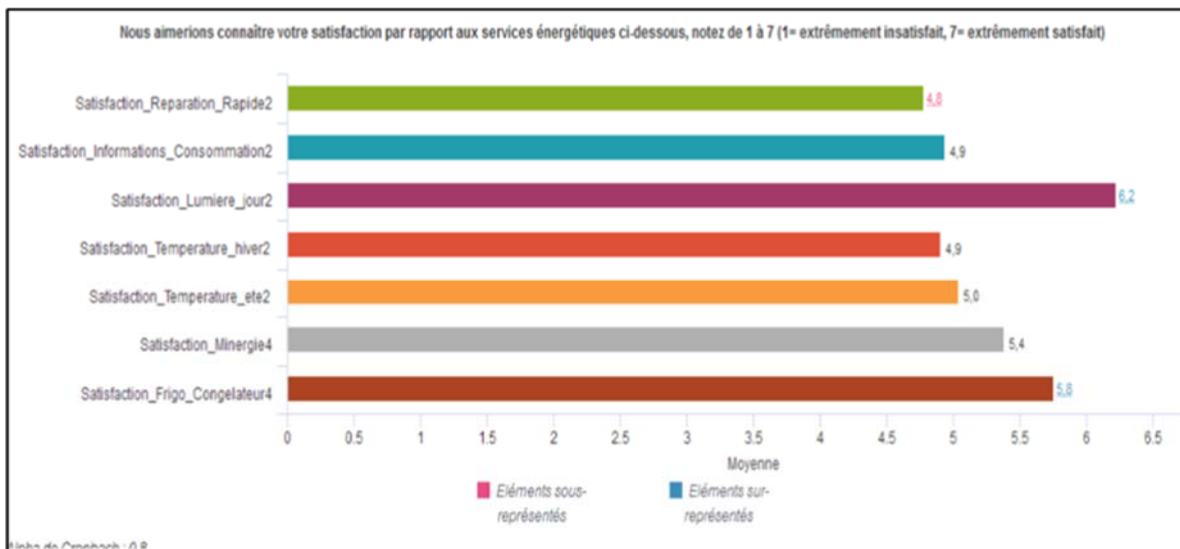


Figure 29 - Satisfaction d'autres services énergétiques pour les habitants

Avoir suffisamment de **lumière du jour dans chaque pièce** semble très important (entre 6 et 7) pour 95% des habitants. Ce service énergétique semble être satisfait pour la plus grande majorité (6.2/7). **Les appareils** pour réfrigérer ainsi que pour congeler les aliments sont également très importants pour 91% des répondants. **Le label Minergie** totalise près de 69% de personnes le jugeant très important, c'est l'item qui ressort en dernier dans le classement de l'importance. En termes de satisfaction, il se situe à 5.4/7.

Le service de dépannage rapide ne semble pas très satisfaisant aux yeux des habitants et totalise la moins bonne moyenne en termes de satisfaction : 4.8/7. En effet, nous avons constaté lors des entretiens qualitatifs de 2017 que les habitants ont de la peine à trouver le bon interlocuteur pour les réparations dans le quartier. Pour les **informations sur la consommation d'énergie**, le taux de satisfaction est assez bas : 4.9/7 alors que l'importance de recevoir des informations sur sa consommation est jugée très importante (entre 6 et 7) pour 70% des répondants. **L'insatisfaction liée à la température** est également intéressante à creuser car le niveau de satisfaction est bas (4.9/7 en hiver et 5/7 en été) alors que 82% des répondants la jugent très importante (entre 6 et 7).



Voici une décomposition des causes potentielles d'insatisfaction liées à la température en été :

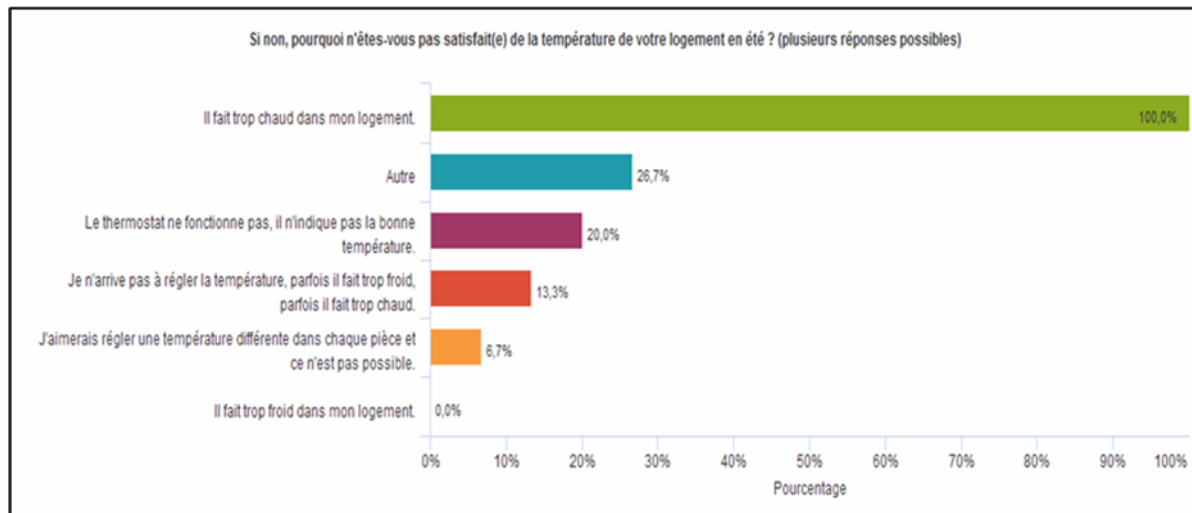


Figure 30 - Insatisfaction de la température du logement en été

Pour l'ensemble des personnes insatisfaites (15 observations) concernant la température du logement en été (23/95), tout le monde affirme qu'**il fait trop chaud**. Ces différents points d'insatisfaction sont à relever afin de pouvoir collaborer avec les responsables des services énergétiques afin de trouver des solutions ensemble. Et ceci est d'autant plus vrai lorsque nous aurons atteint des températures extérieures bien plus chaudes que celles que nous mesurons aujourd'hui.

En résumé, il semble que :

- les habitants accordent une importance primordiale à l'électroménager installé dans leur logement. Ils en sont dans l'ensemble satisfaits.
- Ils accordent également beaucoup d'importance à la possibilité d'ouvrir les fenêtres et à l'éclairage naturel, ils en sont également satisfaits.
- Par contre, ils ne sont pas tous satisfaits du système de ventilation de leurs logements et du débit d'air. C'est un point qui corrobore les analyses techniques.



L'analyse ci-dessous regroupe la satisfaction vis-à-vis de tous les services énergétiques étudiés.

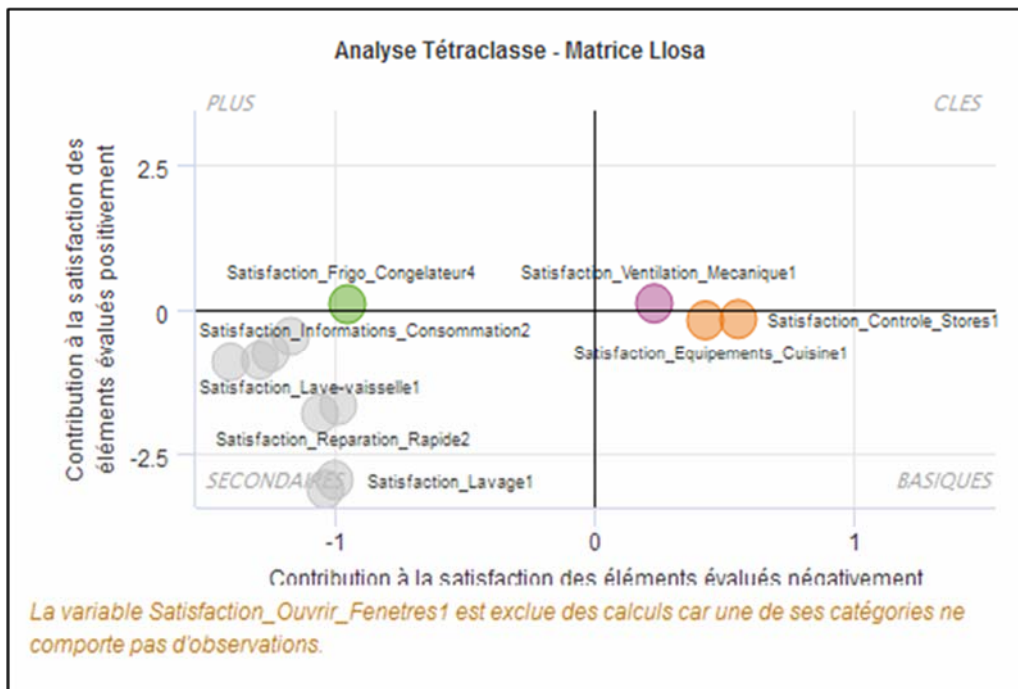


Figure 31 - Analyse Tétraclasse - Matrice Llosa

La matrice de Llosa permet de mieux comprendre la satisfaction, ici celle des habitants du quartier d'Eikenott face aux services énergétiques. Deux critères sont évalués sur la matrice : le niveau de performance des facteurs ainsi que leur influence sur la satisfaction globale.

Les éléments « clés » regroupés dans le cadran en haut à droite montrent les facteurs exerçant une influence fortement positive en cas de satisfaction et négativement en cas d'insatisfaction. **Il s'agit de la ventilation. Les habitants sont satisfaits de ce service lorsqu'il fonctionne bien, mais au contraire en sont grandement insatisfaits lorsqu'il ne fonctionne pas.** Nous avons pu le remarquer lors des entretiens lorsque des habitants ont affirmé boucher les trous d'aération car elle apportait trop d'air froid par exemple.

Pratiques des habitants en matière de consommation d'énergie

Cette section détaille les pratiques qu'adoptent les habitants vis-à-vis de l'utilisation des différents services énergétiques, principalement l'aération de l'appartement, la gestion de la chaleur et de la température des pièces, mais également d'autres services. Le but de cette partie du questionnaire est de **comprendre les pratiques qui ont un impact sur la consommation d'énergie au sein du logement.**



L'aération

Les pratiques d'aération du logement ont été mises en évidence dans le volet technique comme centrales pour mieux comprendre l'écart de performance énergétique et l'influencer. Les questions ci-dessous permettent d'analyser ces pratiques. On fera par la suite le lien avec leur influence sur la consommation de chauffage. Nous avons séparé les pratiques selon les saisons. Voici ci-dessous le résultat pour l'hiver.

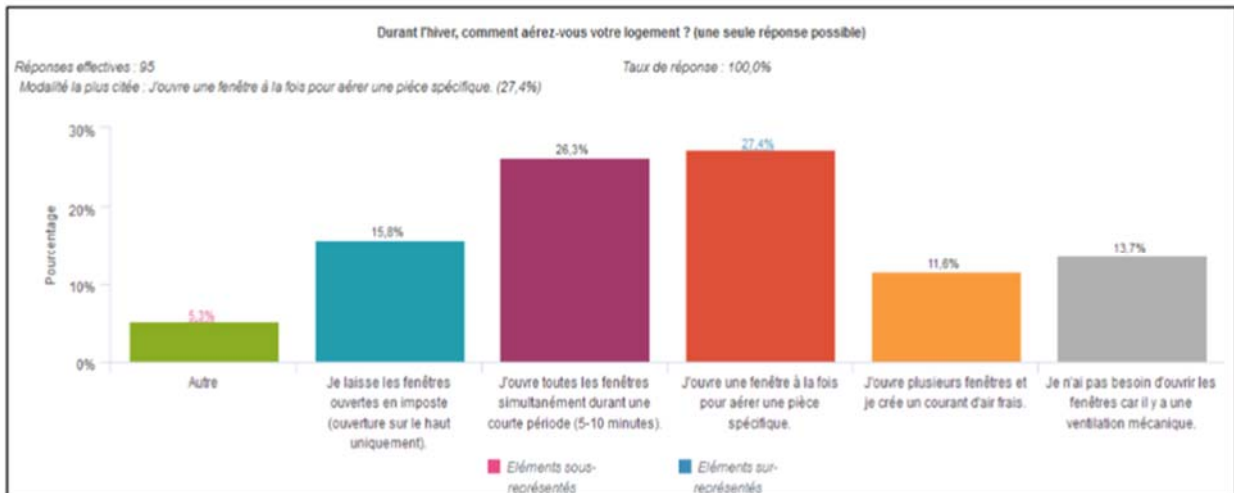


Figure 32 - Pratique d'aération du logement en hiver

Environ **16% des utilisateurs affirment laisser leurs fenêtres ouvertes en imposte durant l'hiver**. 26% ouvrent toutes les fenêtres durant un court laps de temps (5-10 minutes). 27% ouvrent une fenêtre à la fois pour aérer une pièce spécifique. 13% des personnes n'ouvrent pas du tout leurs fenêtres car ils font confiance au système de ventilation présent dans leur appartement. La pratique du "courant d'air" est utilisée par environ 12% de l'échantillon.

Au final, la grande majorité des habitants ouvre leurs fenêtres, mais de diverses manières. Ces réponses correspondent au comportement des habitants durant l'hiver. Il est donc important de relever qu'une proportion petite, mais tout de même présente (13%), ouvre ses fenêtres en imposte en continu durant l'hiver.

Dans le domaine de l'environnement, on assiste à un écart entre ce que les personnes déclarent et ce qu'elles réalisent (Kollmuss & Agyeman, 2002).

Cet écart peut, par exemple, être dû à un biais de désirabilité sociale : on ne veut pas passer pour la personne qui pollue. Ce qui est intéressant, c'est de corrélérer ces résultats avec la consommation d'énergie pour voir s'il y a de grandes différences entre le déclaratif et les consommations. C'est ce qui sera fait dans la suite du travail.



Nous nous intéressons ensuite au moment d'ouverture des fenêtres en hiver pour détailler les pratiques d'aération.

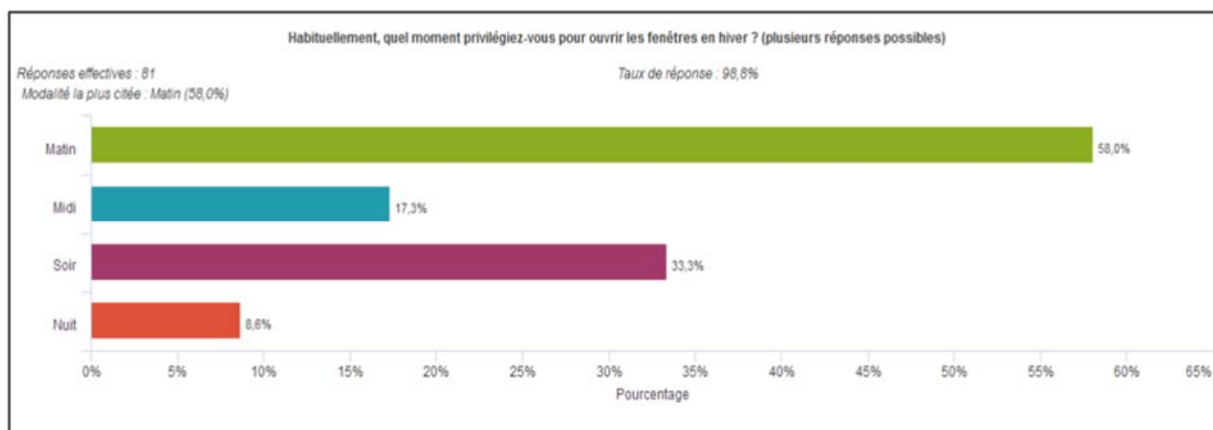


Figure 33 - Moment d'ouverture des fenêtres

Sur cette figure, nous pouvons constater **le moment pendant lequel les utilisateurs ouvrent leurs fenêtres**. Plus de la moitié ouvre leurs fenêtres le matin, un tiers les ouvre le soir. On voit que les pratiques d'aération varient et qu'**une seule manière d'aérer ne conviendrait pas à l'ensemble des groupes cibles**. En effet, il y a des personnes qui travaillent, d'autres qui sont au foyer, des retraités, des employés. De manière générale, il est important de donner des conseils aux ménages qui peuvent **s'insérer dans leurs pratiques et dans leur contexte de vie**.

La durée d'ouverture des fenêtres a aussi une importance sur l'impact énergétique. Nous avons fait la différence entre le jour et la nuit, les échelles de temps variant également.

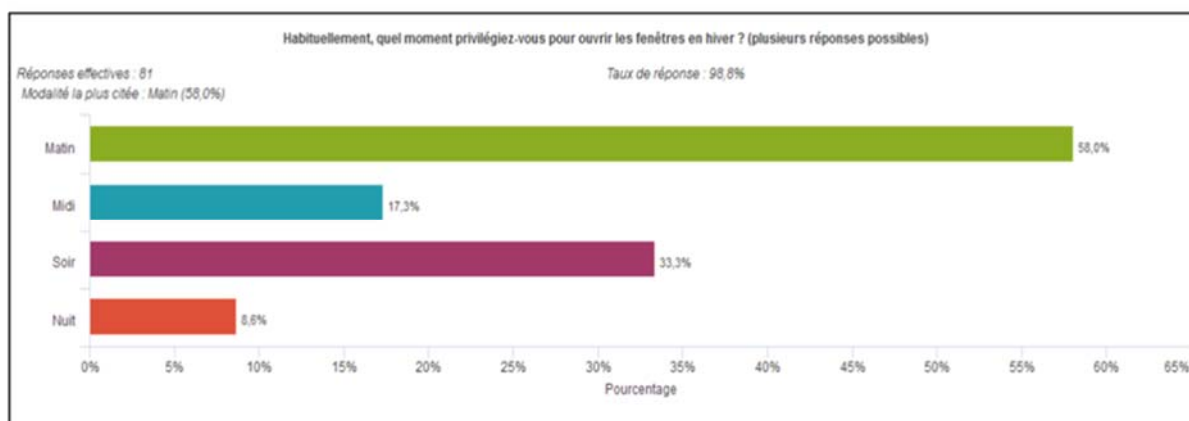


Figure 34 - Durée d'ouverture des fenêtres la nuit en hiver

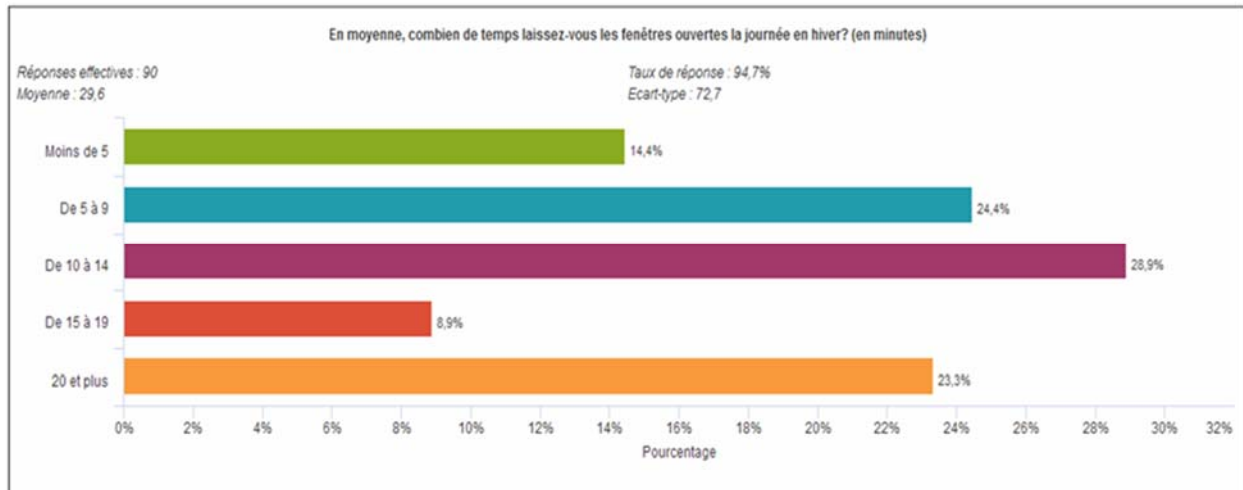


Figure 35 - Durée d'ouverture des fenêtres en journée en hiver

Grâce au premier graphique, nous constatons que 80% des personnes ouvrent leurs fenêtres moins de 20 minutes la nuit en hiver. Le second graphique permet d'avoir une durée plus précise d'ouverture des fenêtres en journée. Fort est de constater **que 23% des répondants affirment laisser ouvert leurs fenêtres plus d'une heure par jour en hiver.**

Pour résumer, les pratiques d'aération du quartier ne semblent pas optimales.

- Une défaillance du système de ventilation pourrait expliquer en partie les ouvertures fréquentes et longues des fenêtres. Un ménage nous a par exemple mentionné que le système de ventilation injectait des odeurs désagréables dans l'appartement.
- D'autres pratiques pourraient être liées aux habitudes des habitants. Par exemple, durant les entretiens qualitatifs, une personne âgée nous confiait qu'elle aimait aérer son logement en ouvrant les fenêtres, ce qui n'est plus forcément nécessaire avec une ventilation mécanique. Les personnes ne sont pas « formées » pour habiter dans ce type de logement très bien isolé et avec une ventilation mécanique.



La température

La partie suivante s'intéresse à la température, un des points également relevé comme critique lors des analyses techniques précédentes. **La température de confort est une donnée très personnelle, liée aux perceptions individuelles mais également à la culture.** L'entreprise Losinger Marazzi, à cheval sur deux pays, constate une différence dans les demandes des clients, la température considérée comme « normale » étant plus basse en France qu'en Suisse. Qu'en est-il de notre échantillon ?

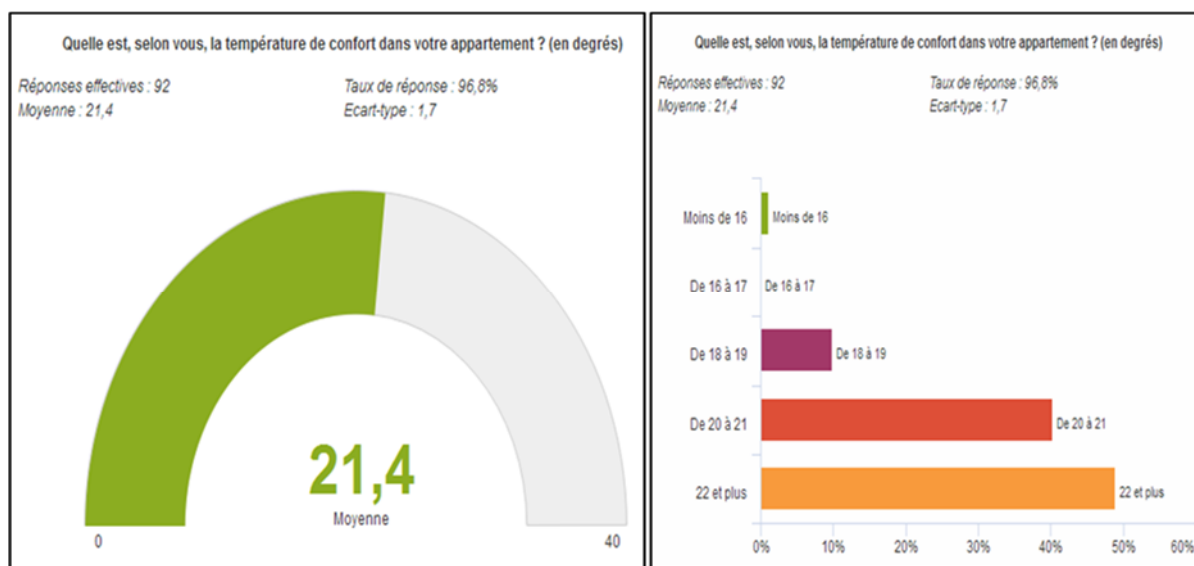


Figure 36 - Température de confort de l'appartement

La température idéale souhaitée est de 21.4 degrés en moyenne. Une grande partie des sondés affirme désirer une température dépassant les 22 degrés. On constate également que **la température de confort varie en fonction de groupes cibles.** Certains foyers aimeraient une température en-dessous de la norme et une partie souhaite une température en-dessus de la norme, cette deuxième catégorie étant plus nombreuse.

Lors des entretiens qualitatifs exploratoires de 2017 pour préparer le sondage, nous avons constaté que quelques ménages avaient installé un **chauffage d'appoint**. Il semble que des problèmes de régulations de la température la première année aient provoqué des températures basses durant une longue période, ce qui a incité des ménages à s'équiper de chauffages d'appoint. **Le problème de cette approche est le changement de la solution par défaut.** Ces ménages risquent d'avoir recours au chauffage d'appoint pour de courtes interruptions du chauffage également. Nous avons donc souhaité creuser ce point et quantifier notamment combien de ménages se sont équipés de chauffages d'appoint.

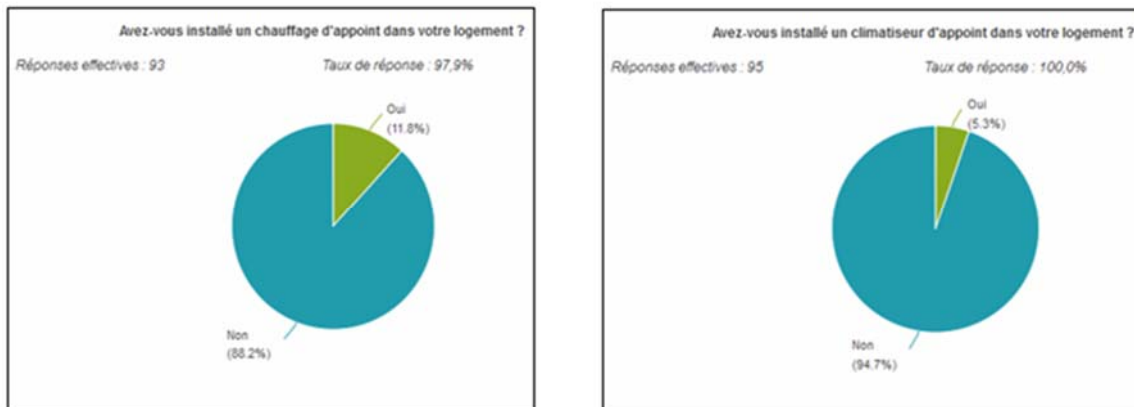


Figure 37 - Installation d'un chauffage d'appoint et d'un climatiseur

La présence de ventilateur est également intéressante (les ménages ont-ils chauds dans leurs logements ?).

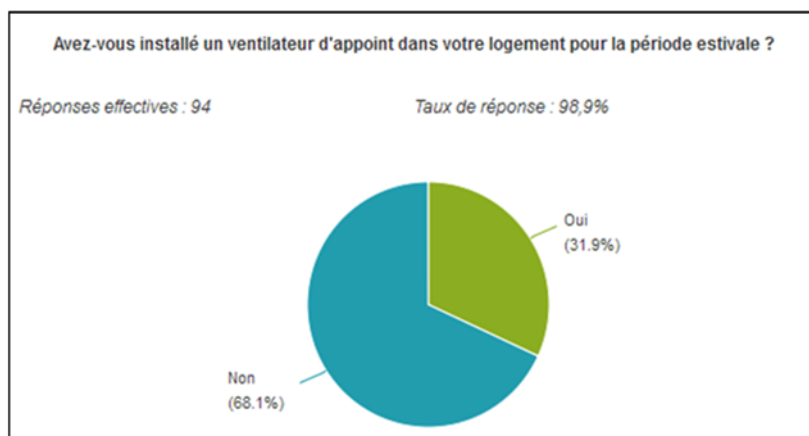


Figure 38 - Installation d'un ventilateur d'appoint

Malgré une gestion de la chaleur faite par le chauffage de l'appartement, **10% des habitants ont investi dans un chauffage. 5% des personnes ont investi dans un climatiseur, et finalement, 30% ont acheté un ventilateur.** Nous remarquons ici les limites du système de régulation de la température dans les appartements du quartier.

Grâce au questionnaire et aux différents graphiques ressortant des réponses, une partie des habitants n'agit pas de façon efficace. L'achat d'un chauffage d'appoint est par exemple problématique car une fois l'investissement initial effectué, les ménages ne vont pas hésiter à s'en servir, **les coûts d'exploitation étant moindre que les coûts d'investissement. Cela change le contexte par défaut de leur logement et peut avoir une influence sur leurs pratiques en matière de chauffage.**



Les stores

L'utilisation des stores constitue le troisième service énergétique étudié. C'est un facteur important qui influence la consommation énergétique dans les bâtiments récents et bien isolés, comme démontré dans l'étude technique. Il est intéressant de s'attarder sur les pratiques liées à l'utilisation des stores.

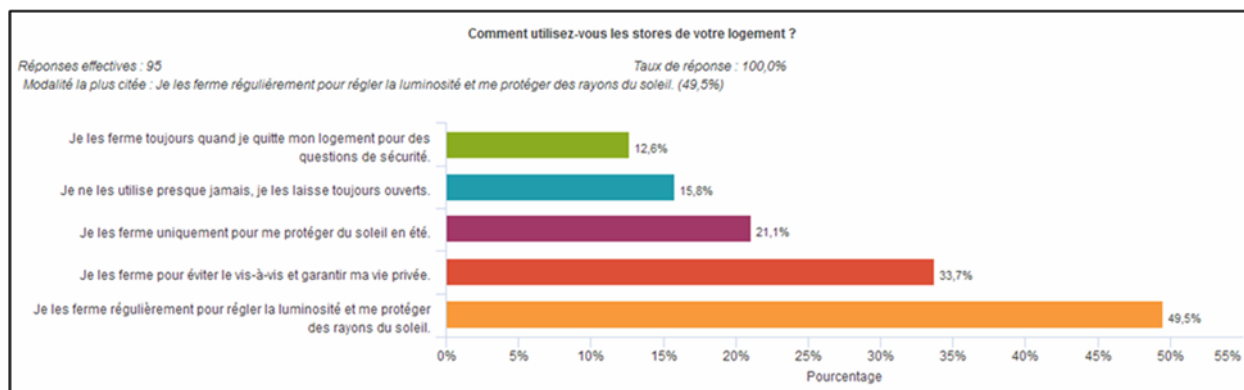


Figure 39 - Utilisation des stores du logement par les habitants

Il existe différentes raisons pour lesquelles les utilisateurs décident de fermer les stores. Pour un tiers des personnes, la raison est **de garantir la vie privée**, tandis que pour un petit pourcentage, cela consiste en une **raison de sécurité** (13%). Pour la moitié des répondants, la raison de fermeture des stores est de **régler la luminosité et de se protéger des rayons du soleil**. **Considérer les stores uniquement sous l'angle du réglage de la luminosité c'est oublier les autres rôles clés et les pratiques des habitants.**

Le graphique suivant présente la façon dont les stores sont utilisés pour la partie « jour » de l'appartement, c'est-à-dire pour le séjour, la cuisine, et d'autres pièces communes potentielles.

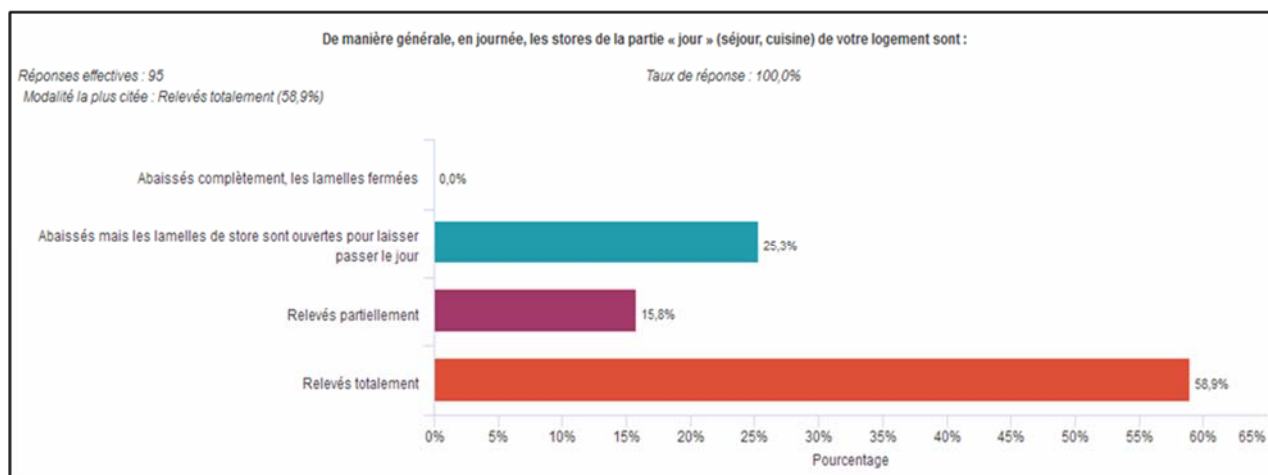


Figure 40 - Gestion des stores durant la journée



Dans les pièces communes, près de **60% des répondants affirment relever totalement leurs stores**. Personne n'affirme fermer complètement les lamelles dans les parties « jour », et un quart abaisse les stores mais laisse les lamelles ouvertes pour laisser passer la lumière du jour. **Cela fait écho à la partie technique qui s'interrogeait sur des modes d'utilisation des stores et vient appuyer l'analyse avec des données déclaratives.**

En comparaison avec les pièces « jour » de l'appartement dans la Figure 40, il est intéressant de constater les différences existantes dans les pièces de la partie « nuit ».

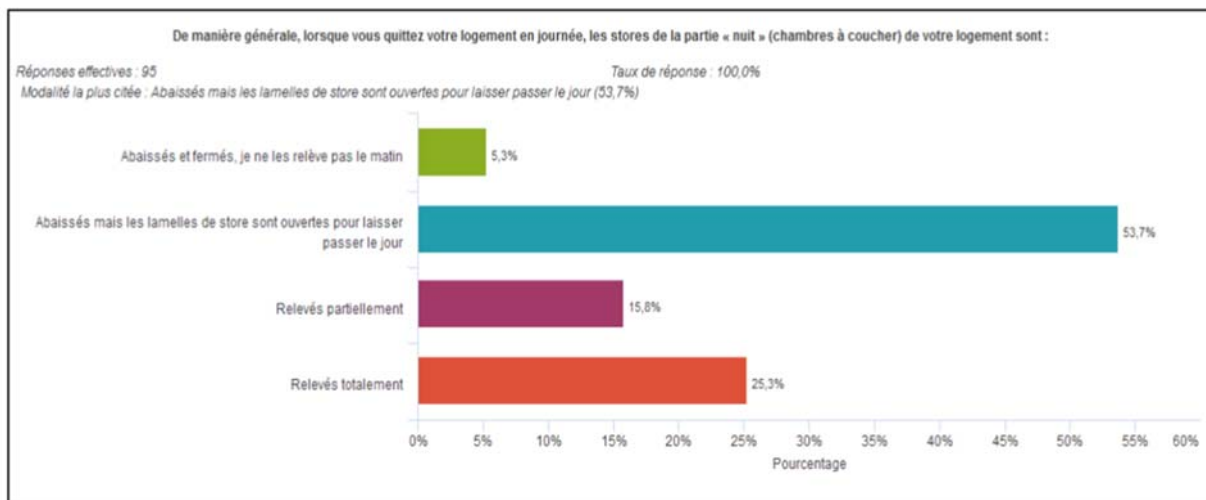


Figure 41 - Gestion des stores durant la nuit

La pièce « nuit » principalement représentée est la chambre à coucher. La différence est marquée entre les deux types de pièces. En effet, alors qu'un quart des personnes laisse les stores abaissés et oriente les lamelles dans les parties « jour », **plus de la moitié des habitants le font pour la pièce de la partie « nuit »**. La proportion des gens à relever totalement les stores a également baissé dans les pièces de la partie « nuit », ce qui est facilement explicable. L'impact de la « mauvaise » gestion des stores d'un point de vue chaleur passive est donc explicable par les autres fonctions exercées par les stores.

Autres services énergétiques

Après avoir analysé trois services énergétiques principaux, l'enquête s'est intéressée à l'utilisation du lave-linge et du sèche-linge, utilisation du lave-vaisselle, ou encore du congélateur et du réfrigérateur. Cette partie aura principalement un impact sur la consommation d'énergie électrique et sur la consommation d'ECS. Comme on l'a vu dans la partie technique, la consommation électrique du quartier ne pose pas de problème particulier, néanmoins, il est intéressant de comprendre les pratiques liées à la consommation des appareils électriques plus en détails.



Le lave-linge et le sèche-linge

L'écoquartier est composé de logements en location et d'appartements en copropriété. Dans les appartements mis en location, une buanderie commune est souvent à la disposition des habitants, selon un horaire déterminé. C'est la pratique courante en Suisse, pas forcément dans d'autres pays européens.

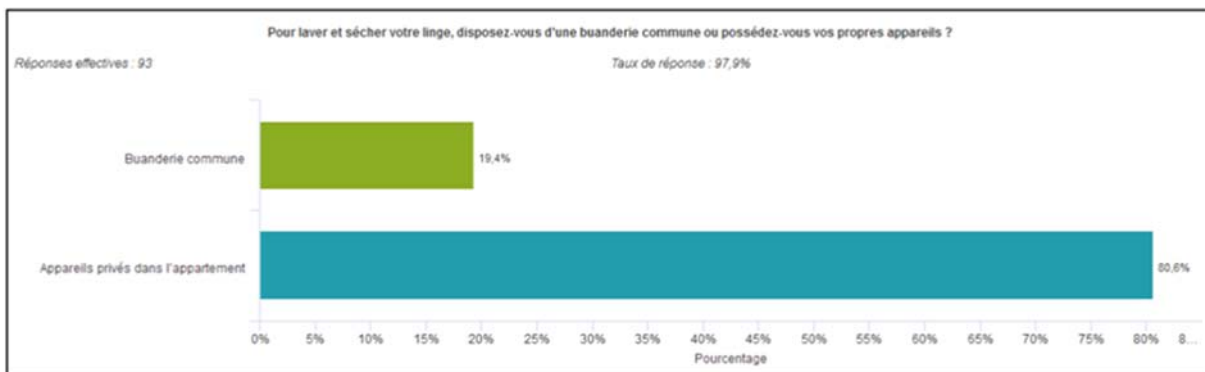


Figure 42 - Lave-linge et sèche-linge

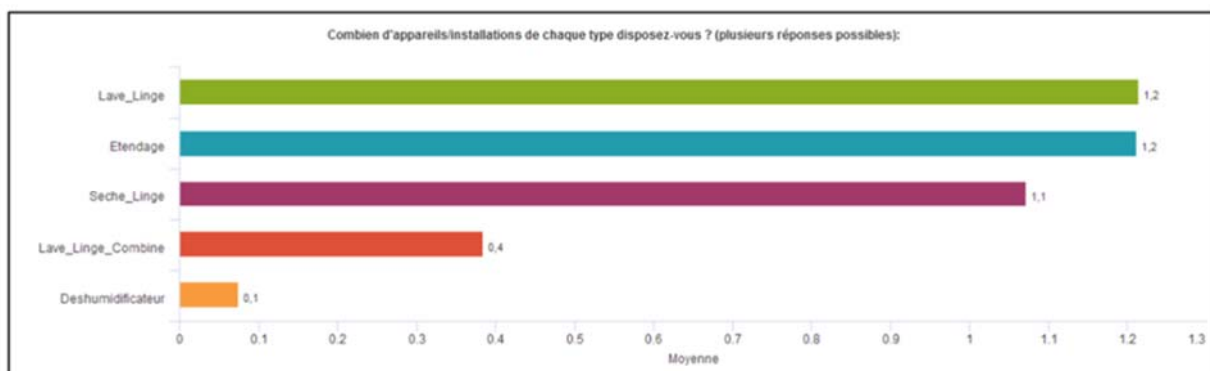


Figure 43 - Nombre d'installations à laver installées

Une grande majorité des habitants ont installés un appareil à laver et à sécher dans leur appartement. En moyenne, une machine à laver et un sèche-linge sont installés dans l'appartement. Cette information est intéressante car il faut mettre en évidence que **ce sont pour 80% des locataires qui disposent d'une buanderie commune dans leur bâtiment.** Il y a sept régies immobilières dans le quartier et selon les entretiens qualitatifs, des règles interdisent l'installation de machines à laver et à sécher le linge dans les appartements.

Néanmoins, selon les entretiens qualitatifs, les habitants installent quand même ces appareils pour plusieurs raisons : **pannes des appareils communs, horaires inadaptés à leurs modes de vie, soucis de se faciliter la tâche.**



La fréquence d'utilisation des appareils a également été étudiée pour comprendre l'impact sur la consommation d'énergie.

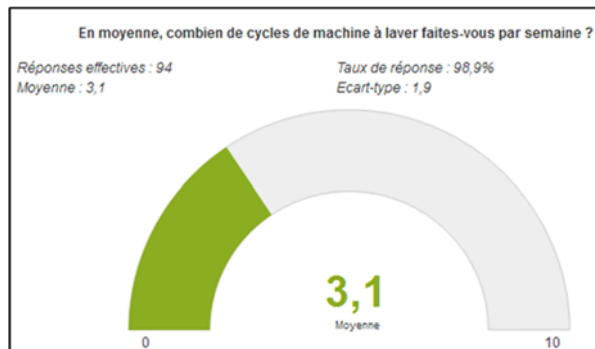


Figure 44 - Nombre de cycles de machine à laver par semaine



Figure 45 - Nombre de cycles de sèche-linge par semaine

Les répondants au questionnaire affirment effectuer en moyenne **plus de trois cycles de machine à laver**, et **moins de deux pour le sèche-linge**. Selon les entretiens qualitatifs, les logements disposent de grands balcons, ce qui favorise le **séchage du linge à l'air libre**.

Le lave-vaisselle

L'utilisation du lave-vaisselle peut également engendrer une consommation d'énergie électrique et d'ECS. Tous les appartements disposent d'un lave-vaisselle. Il est recommandé d'utiliser en priorité le lave-vaisselle plutôt que le lavage à la main. Durant les entretiens qualitatifs de 2017, cette information était bien connue des répondants, ce qui est illustré quantitativement dans les réponses de la **Figure 46**.

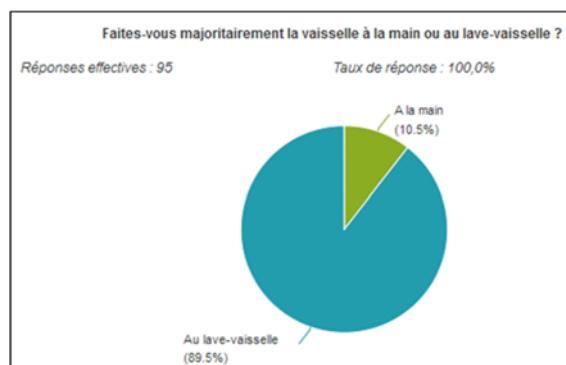


Figure 46 - Façon de faire la vaisselle

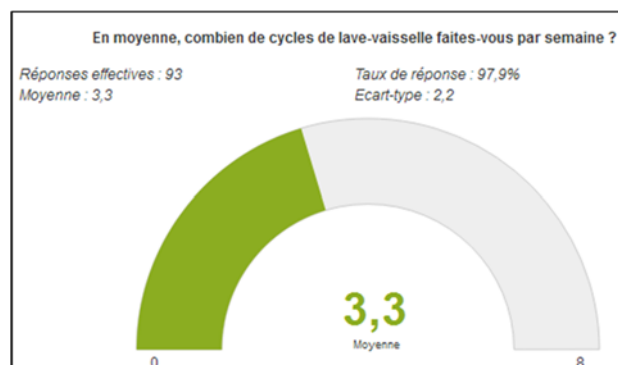


Figure 47 - Nombre de cycles de lave-vaisselle par semaine

Nous pouvons constater que le lave-vaisselle est privilégié par près de 90% des répondants. Ils font en moyenne 3 cycles de lave-vaisselle par semaine.



Le réfrigérateur et le congélateur

Chaque appartement est équipé d'un réfrigérateur mais pas forcément d'un congélateur. La taille de ceux-ci a également une influence sur la consommation d'énergie.

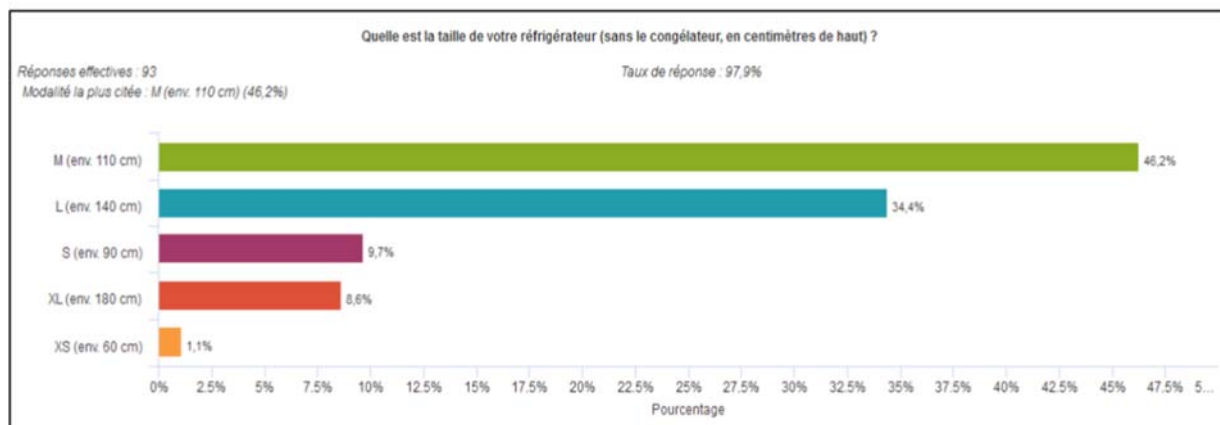


Figure 48 - Taille du réfrigérateur

Il est à noter qu'un réfrigérateur qui ne dispose pas d'un compartiment de congélation consomme en moyenne la moitié d'un réfrigérateur avec un petit bac de congélation.

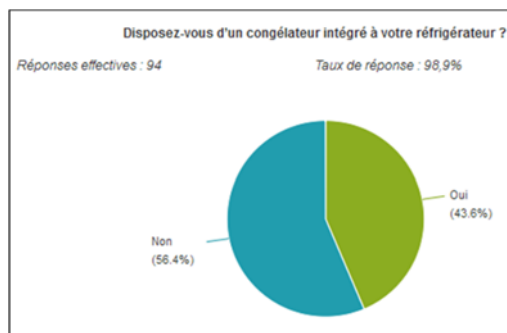


Figure 49 - Congélateur intégré ou non

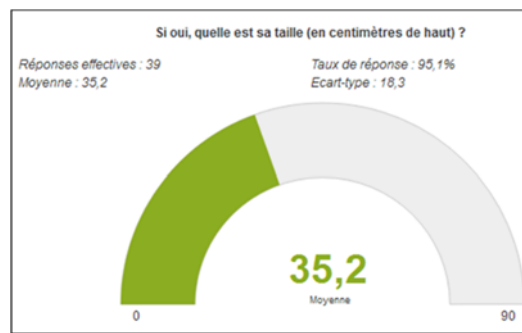


Figure 50 - Taille du congélateur

Dans l'échantillon des répondants, la majorité des réfrigérateurs ne disposent pas de partie de congélation (56%), ce qui est une bonne nouvelle en matière de consommation d'énergie électrique (si elle n'est pas compensée par l'achat d'un grand congélateur séparé).



La majorité des répondants (66%) dispose d'un congélateur séparé, l'emplacement de ce congélateur est important pour connaître sa consommation d'énergie. Pour près de 85%, le congélateur est situé **soit dans la cuisine, soit dans la cave**

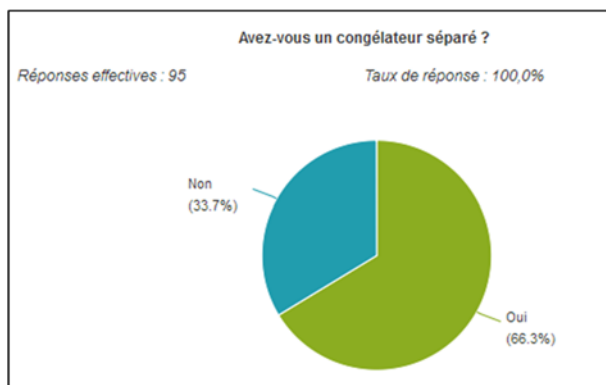


Figure 51 - Existence d'un congélateur séparé

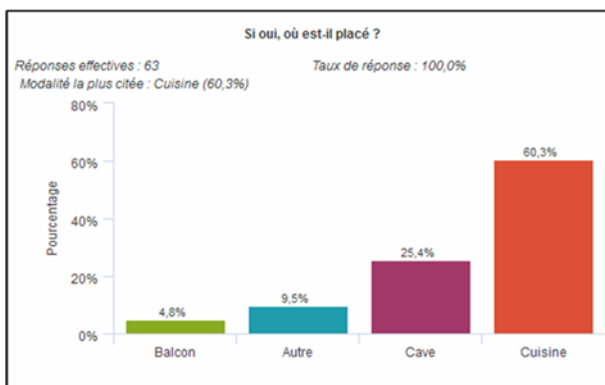


Figure 52 - Placement du congélateur

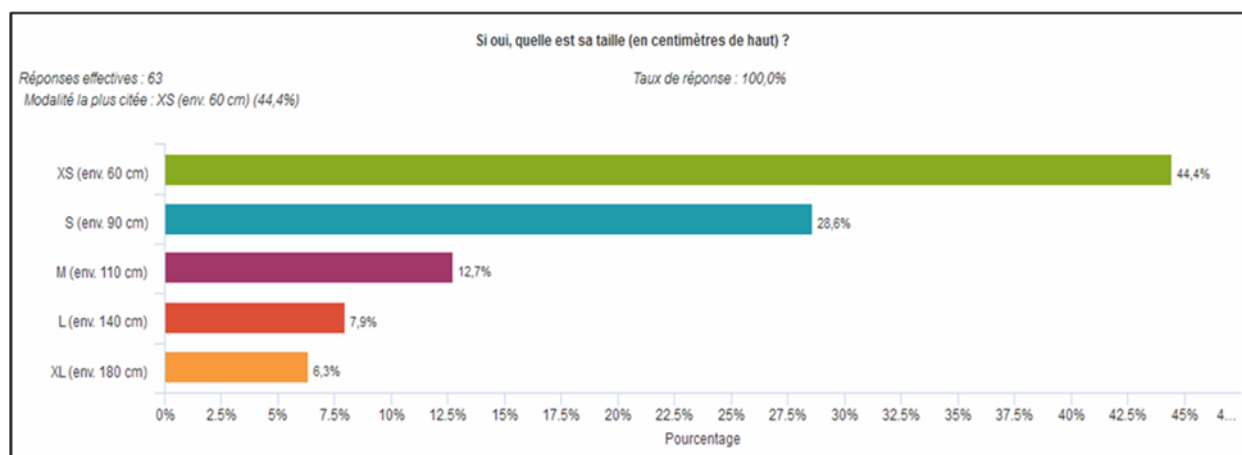


Figure 53 - Taille du congélateur

La taille moyenne du congélateur intégré représente 35 centimètres.

Plus des deux tiers des habitants disposent d'un congélateur séparé. Quasiment la même proportion de personnes a répondu ne pas disposer d'un congélateur intégré dans son frigo. Cela semble donc corrélé, et compréhensible par le fait que **les personnes ne disposant pas d'office de congélateur chez eux en achètent un congélateur externe afin d'avoir de la place à disposition.**

Sa taille moyenne est plus importante, se situant entre 60cm et 90cm. Ce n'est pas optimal en termes de consommation d'énergie, le congélateur étant de préférence à placer à la cave ou dans un endroit froid.

Que ce soit pour la ventilation, le chauffage, les stores, ou tout autre service énergétique (lave-linge, lave-vaisselle, réfrigérateur, etc.), chacun de ces appareils consomme de l'énergie. Grâce à ce questionnaire, nous avons pu analyser l'utilisation des services énergétiques, la satisfaction des habitants face à ces derniers, mais également pu apprendre les différentes caractéristiques socio-démographiques des habitants du quartier.



Pour la dernière partie de ce questionnaire, l'objectif est de comprendre comment les habitants se situent face à la problématique énergétique, quelles sont leurs **connaissances** ainsi que leurs **attitudes** vis-à-vis de l'énergie.

Connaissances du prix de l'énergie

Dans les entretiens qualitatifs exploratoires de 2017, nous avons pu entendre que « l'énergie est trop chère » ou au contraire « trop bon marché ». **Les ménages du quartier connaissent-ils le prix de l'électricité ou parlent-ils de ressenti en la matière ?** Les leviers économiques sensés aider à l'efficacité énergétique font l'hypothèse que les habitants savent combien coûte l'énergie et combien ils vont économiser en réduisant leur consommation. Nous avons posé la question aux habitants de l'éco quartier d'Eikenott et voici les résultats par rapport au prix de l'énergie.

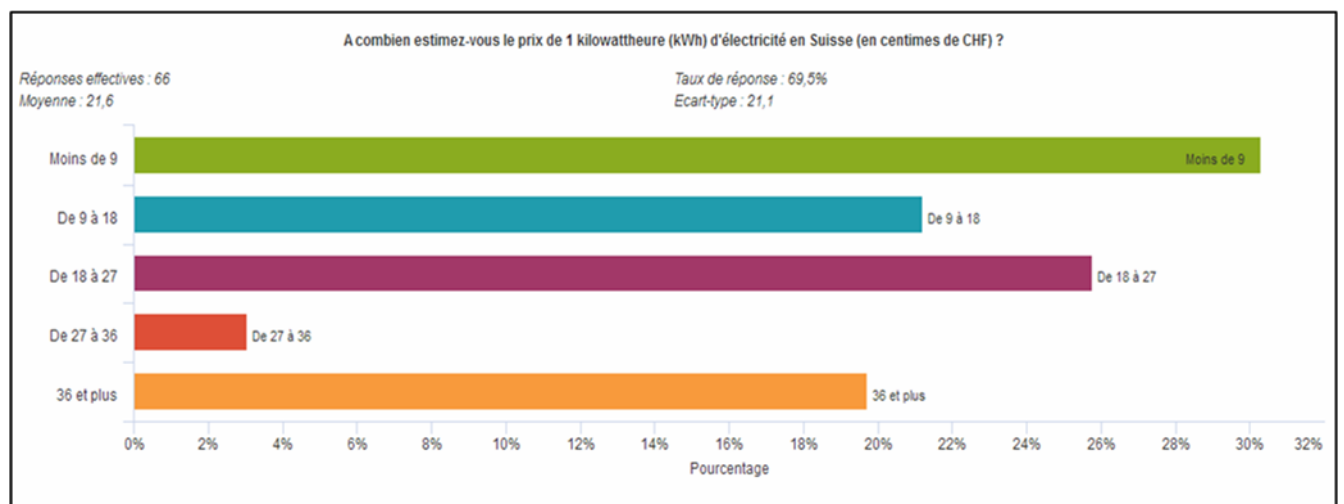


Figure 54 - Estimation du prix d'un kWh

La plupart des ménages ne savent pas combien coûte un kWh d'électricité. Cela représente une toute petite partie de leurs dépenses (le fameux « panier de la ménagère »).

On a pu entendre dans les entretiens qualitatifs que les ménages avec des revenus plus faibles sont plus conscients du prix de l'énergie et suivent plus leurs dépenses. Après avoir fait les calculs, il semble que **la corrélation entre le revenu et la connaissance du prix de l'énergie ne soit pas significative.**

Baser des programmes d'EE sur la notion de coût, d'économie d'argent est donc périlleux.



Attitudes vis-à-vis de l'environnement

Afin de classer les ménages du quartier en fonction de leur attitude vis-à-vis de l'environnement, des informations liées aux comportements énergétiques (déclarés) peuvent a posteriori valider ou pas le modèle de frontière stochastique (SFA). Sur la base de l'article de l'OCDE « Attitudes générales des ménages envers l'environnement » (2014), dans la partie « Vers des comportements plus environnementaux : Vue d'ensemble de l'enquête 2011 »³, nous voulons mesurer trois groupes : les **écomotivés**, les **écosceptiques** et les **techno-optimistes**. Les trois premières questions permettent de déterminer le statut « écomotivé » du groupe. La question 4 détermine le « techno-optimisme » des habitants.

Affirmations à tester :

1. « Cela me préoccupe quand je pense aux conditions environnementales dans lesquelles nos enfants et petits-enfants devront probablement vivre. »
2. « Si les choses continuent ainsi, nous allons bientôt vivre une catastrophe écologique majeure ».
3. « Lorsque je lis dans le journal ou vois à la télévision des reportages sur les problèmes environnementaux, je suis souvent indigné ou en colère. »
4. « Il y a des limites à la croissance économique, et notre monde industrialisé les a déjà dépassées ou n'est pas loin de les atteindre »

Dans quelle mesure êtes-vous en accord ou en désaccord avec les affirmations suivantes ?									
	Pas d'accord du tout	Plutôt pas d'accord	Partagé(e)	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord	Total	Moyenne	Médiane	Ecart-Type
1__Cela_me_preoccupe_quand_je_pense_aux_	2,5%	0,0%	10,0%	42,5%	45,0%	100,0%	4,3	4,0	0,8
2__Si_les_choses_continuent_ainsi_nous_a	2,5%	2,5%	10,0%	40,0%	45,0%	100,0%	4,2	4,0	0,9
3__Lorsque_je_lis_dans_le_journal_ou_voi	0,0%	0,0%	22,5%	32,5%	45,0%	100,0%	4,2	4,0	0,8
4__Il_y_a_des_limites_a_la_croissance_ec	2,5%	5,0%	17,5%	40,0%	35,0%	100,0%	4,0	4,0	1,0
Total	1,9%	1,9%	15,0%	38,8%	42,5%		4,2	4,0	0,9

■ Éléments sous-représentés ■ Éléments sur-représentés

Alpha de Cronbach : 0,8

Figure 55 - Réponses aux questions liées aux attitudes

³ <http://dx.doi.org/10.1787/9789264195493-6-fr>

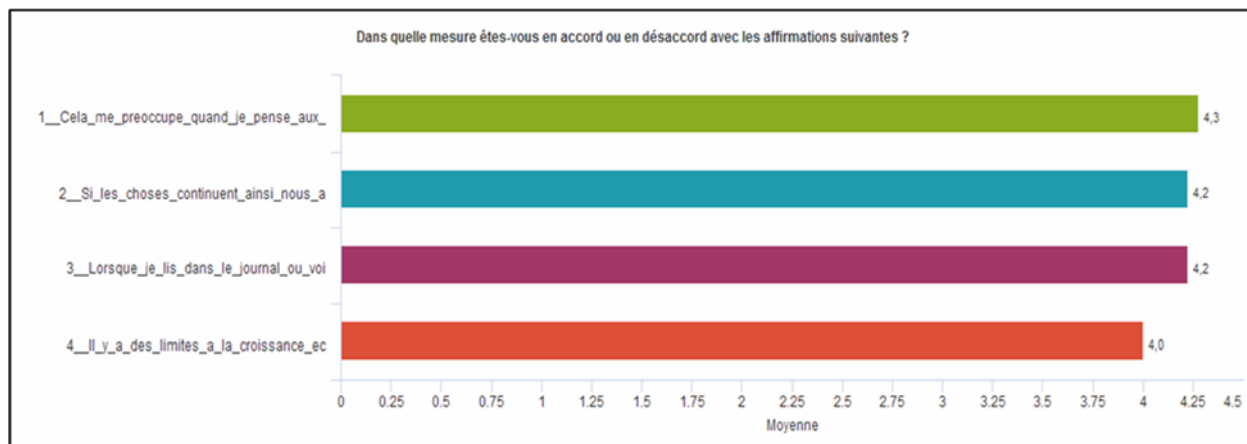


Figure 56 - Réponses liées aux attitudes II

Sur une échelle de 1 à 5, les réponses liées à « l'écomotivation » démontrent que **les répondants se déclarent concernés par l'état actuel du changement climatique**. Près de la moitié des habitants ont affirmé être « tout à fait d'accord » en lien avec la responsabilité des générations futures, la catastrophe écologique éminente, mais aussi la réaction face aux informations dans ce domaine-là. Pour eux, la limite à la croissance serait atteinte. En effet, seulement 7% affirme ne pas être d'accord avec ces propos.

Voici la suite des affirmations à tester pour effectuer les groupements.

5. « De nos jours, la plus grande partie de la population continue à se comporter de façon irresponsable vis-à-vis de l'environnement ».
6. « À mon avis, les problèmes environnementaux et leur impact sont présentés de façon exagérée par les écologistes ».
7. « Les responsables politiques restent encore aujourd'hui beaucoup trop passifs par rapport à l'environnement ».
8. « Nous devrions tous être prêts à modérer notre train de vie pour protéger l'environnement ».
9. « Il faut absolument que des mesures soient prises en faveur de la protection de l'environnement, même si cela nuit à l'emploi ».

Dans quelle mesure êtes-vous en accord ou en désaccord avec les affirmations suivantes ?									
	Pas d'accord du tout	Plutôt pas d'accord	Partagé(e)	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord	Total	Moyenne	Médiane	Ecart-Type
5_De_nos_jours_la_plus_grande_partie_d1	0,0%	7,5%	10,0%	42,5%	40,0%	100,0%	4,2	4,0	0,9
6_A_mon_avis_les_problemes_environneme1	52,5%	17,5%	17,5%	12,5%	0,0%	100,0%	1,9	1,0	1,1
7_Les_responsables_politiques_restant_1	0,0%	2,5%	10,0%	30,0%	57,5%	100,0%	4,4	5,0	0,8
8_Nous_devrions_tous_etre_prets_a_mode1	0,0%	0,0%	7,5%	45,0%	47,5%	100,0%	4,4	4,0	0,6
9_Il_faut_absolument_que_des_mesures_s1	2,5%	15,0%	30,0%	27,5%	25,0%	100,0%	3,6	4,0	1,1
Total	11,0%	8,5%	15,0%	31,5%	34,0%		3,7	4,0	1,3

■ Eléments sous-représentés ■ Eléments sur-représentés

Alpha de Cronbach : 0,3

Figure 57 - Réponses liées aux attitudes III

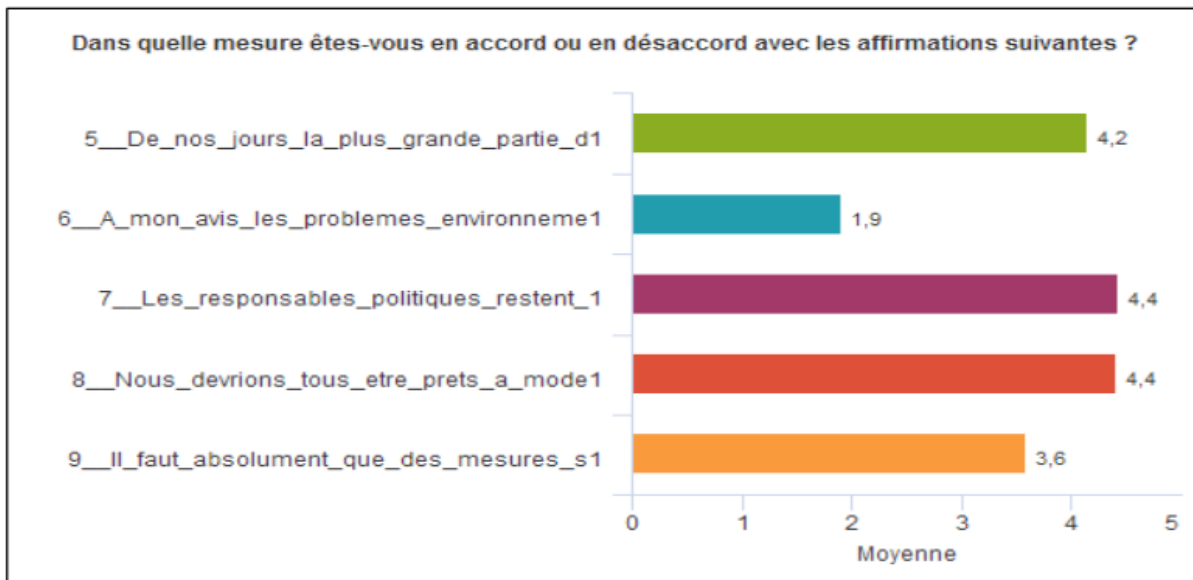


Figure 58 - Réponses liées aux attitudes IV

La question 6 concerne les « écosceptiques ». Les habitants pensent clairement que ces affirmations en faveur de l'environnement ne sont pas exagérées et reflètent réellement la situation actuelle.

Les responsables politiques restent à l'heure actuelle, encore trop absents face aux questions écologiques selon les répondants (Question 7). Ce sujet est d'actualité, pour donner suite aux votations du 20 octobre 2019 sur l'élection des nouveaux conseillers aux Etats qui représenteront notre pays pour les quatre prochaines années.



Résultats des analyses multivariées

Après avoir pu décrire l'aspect **socio-démographique** des habitants ayant répondu au questionnaire, **la satisfaction** de ces habitants face aux services énergétiques a pu être présentée. **Les comportements énergétiques** des habitants ont ensuite pu être analysés, et finalement, **l'attitude générale des répondants face à la question climatique** a été mise en avant.

Grâce aux différentes **analyses descriptives**, tous ces éléments ont pu être décrits. Nous pouvons désormais croiser et corrélérer les différentes variables entre elles grâce aux **analyses multivariées**. Cela nous permettra de comprendre l'influence des caractéristiques socio-démographiques, des comportements et des attitudes sur la consommation d'énergie, et de déterminer si un lien entre plusieurs de ces facteurs existe, et si oui, de chercher à l'expliquer.

Croisement des données par type de service énergétique avec attitude, comportement et données socio-démographiques

Comme mentionné dans l'analyse technique, la moitié du quartier est équipé de smart meter de la société eSmart⁴ qui remontent les données de consommation l'électricité, d'ECS et de chauffage ainsi que les températures de consigne et les températures réelles dans la partie « jour » et dans la partie « nuit ». Nous allons ci-dessous analyser finement la consommation de chauffage qui est excédentaire dans ce quartier (17% d'EdP selon la méthode probabiliste) pour **comprendre les facteurs qui influencent cette consommation**. Les analyses seront tout d'abord bivariées puis multivariées (économétriques). Nous avons utilisé la consommation de chauffage moyenne par année sur les trois ans de relève à disposition. **Sur les 95 répondants au sondage, nous avons réussi à lier les données de consommation de chaleur de 34 ménages**. D'une part la moitié des ménages ne disposent pas de smart meter, d'autre part, il a été très ardu de pouvoir lier les numéros de compteurs aux appartements et aux répondants du sondage. Nous avons à plusieurs reprises envoyé des personnes sur place pour relever les numéros des compteurs et retrouver les numéros d'appartement. D'autre part, nous avons travaillé avec les numéros d'identifiants du distributeur d'énergie local pour augmenter le nombre de ménages ou nous disposons à la fois des données de consommation et de sondages. Cet échantillon a demandé des années de travail de collecte de données provenant de plusieurs sources.

Analyses multivariées du chauffage

L'échantillon se base sur la consommation de chaleur annuelle en kWh. Une proportion de quasiment la moitié des répondants consomment pour leur chauffage plus de 360 kWh par année en moyenne sur les trois années de mesure à disposition au moment de l'analyse. **La consommation moyenne de chaleur par ménage est de 322 kWh.**

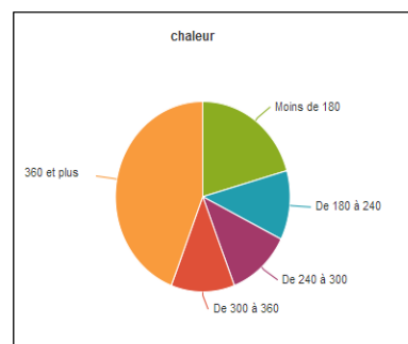


Figure 59 - Description des échantillons de consommation de chaleur

⁴ eSmart, 2019 : <http://www.myesmart.com/produits/une-technologie-exclusive/>



Corrélation des données socio-démographiques des habitants avec les données de consommation de chaleur dans les ménages

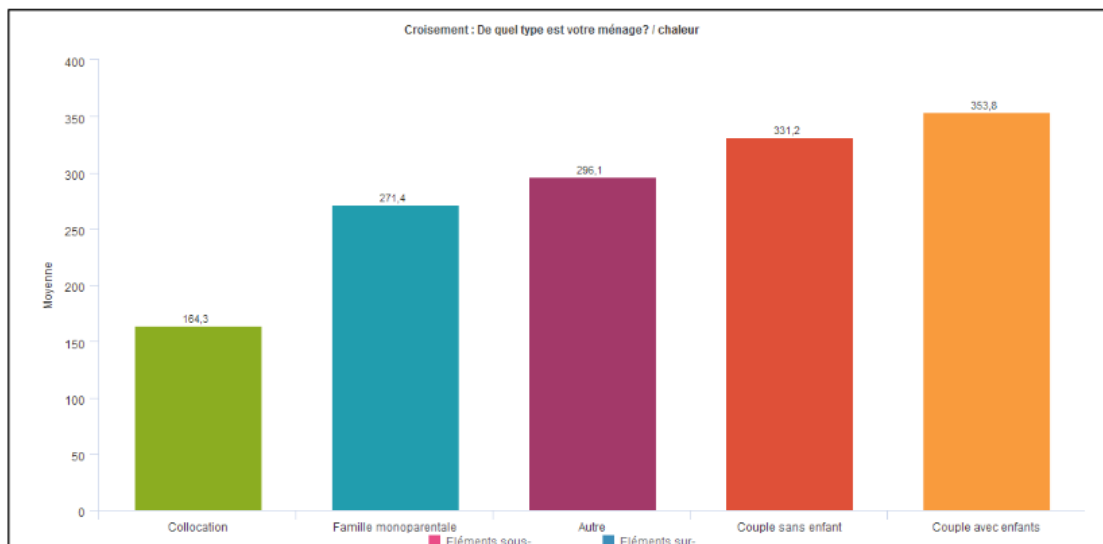


Figure 60 - Corrélation du type de ménage avec la chaleur

Sans surprise, le type de ménage et sa composition ont un fort impact sur la consommation moyenne de chauffage par ménage. En effet, la corrélation est expliquée par le nombre d'individus habitant dans le ménage. La consommation la plus faible de chauffage est représentée dans les collocations. Dans un ménage familial, avec un couple et plusieurs enfants, la consommation est la plus élevée.

La **Figure 61** croise la variable du niveau d'éducation et la consommation de chaleur :

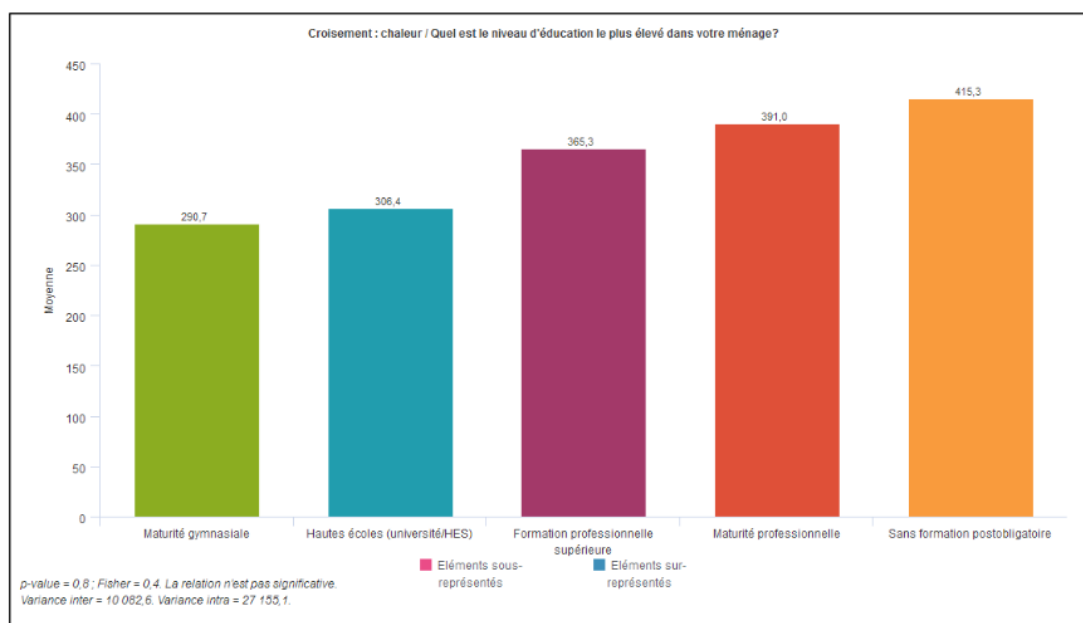


Figure 61 - Corrélation de la formation sur la consommation du chauffage



Cette corrélation est très intéressante, car elle démontre que **le niveau d'études (primaire, secondaire ou tertiaire), influence la consommation de chauffage**. La moyenne la plus élevée de consommation correspond aux ménages sans aucun membre ayant une formation post obligatoire. En revanche, les habitants possédant une maturité gymnasiale ainsi qu'une formation de niveau tertiaire (Université, HES,..) comme niveau d'éducation le plus élevé dans le ménage consomment moins de manière générale. L'importance de la formation et de la sensibilisation aux questions d'économie d'énergie et plus globalement de développement durable est parfaitement représentée.

La relation bivariée suivante testée est le lien entre la consommation de chaleur et le revenu :

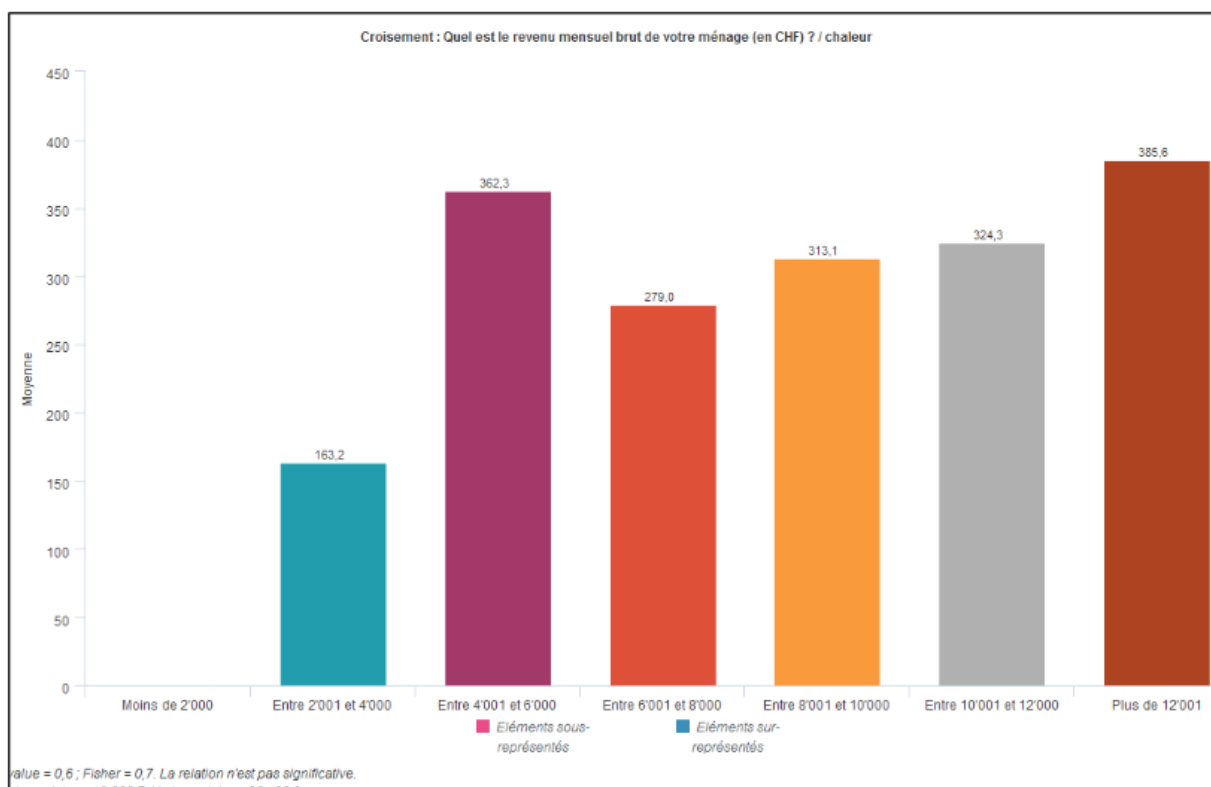


Figure 62 - Corrélation du salaire sur la consommation du chauffage

À partir d'un revenu mensuel de CHF 6'000 par ménage, nous constatons une croissance de la consommation en fonction du revenu. Le groupe des ménages touchant entre CHF4'000.- et CHF6'000.- mensuellement consomme beaucoup d'énergie : ces ménages consomment autant que les ménages possédant un revenu de plus de CHF 12'000.- Afin d'optimiser son efficacité énergétique, il serait intéressant de trouver des solutions avec les ménages consommant le plus de chauffage, ici ceux touchant entre CHF 4'000.- et CHF6'000.- francs mensuellement et ceux touchant plus de CHF12'000.-



La **Figure 63** représente le croisement entre les âges des répondants et la consommation par ménage.

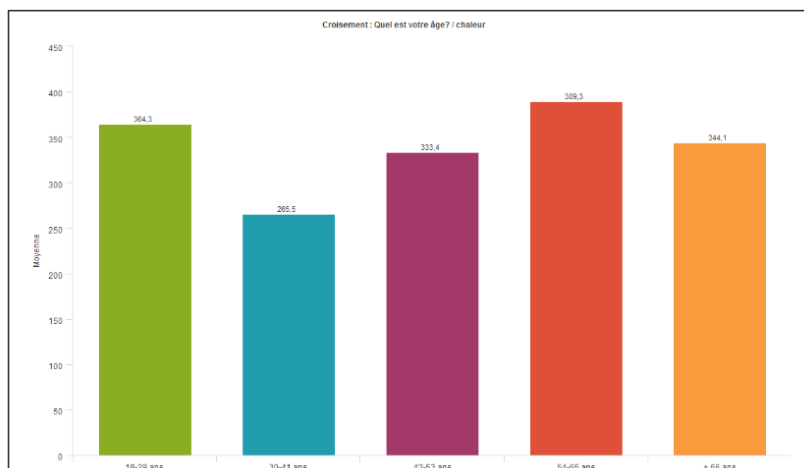


Figure 63 - Corrélation de l'âge sur la consommation du chauffage

À partir de 30 ans, plus le répondant est âgé et plus la consommation est élevée. Par contre, pour les personnes retraitées (de plus de 65 ans), la consommation de chauffage est similaire aux personnes se situant dans la tranche d'âge 42-53 ans. Les jeunes de moins de 30 ans consomment également plus. Ce sont les plus grands consommateurs avec les adultes entre 42 et 53 ans. Il faut mentionner que **cette analyse tient compte de l'âge du répondant au sondage et pas de l'âge de la personne la plus âgée du ménage**. C'est une approximation pour éclairer le lien entre âge et consommation de chauffage. Il s'agit d'effectuer une analyse multivariée pour tenir également compte d'autres variables comme la taille du ménage ou le nombre d'enfants.

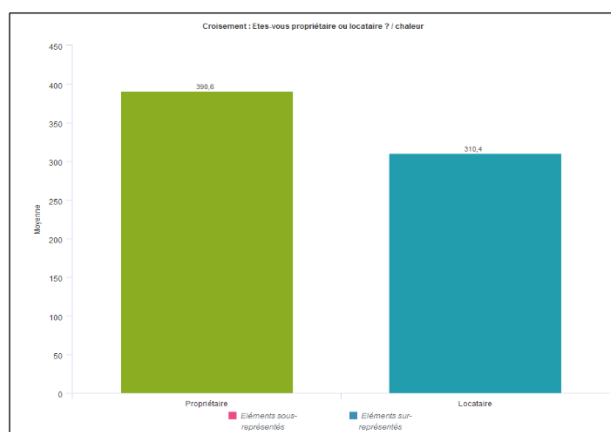


Figure 64 - Corrélation de la chaleur avec le fait d'être propriétaire

Le fait d'être propriétaire a une influence sur la consommation de chaleur. Les personnes propriétaires consomment plus d'énergie pour se chauffer que les locataires. A nouveau, **cette déclaration ne tient pas compte de la grandeur du logement par exemple, une analyse multivariée est nécessaire**.

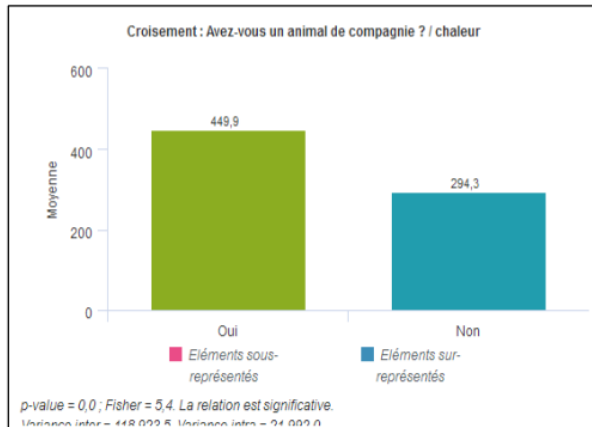


Figure 65 - Corrélation de la chaleur avec le fait d'avoir un animal de compagnie

Cette question sur **la possession d'un animal de compagnie** peut prêter à sourire. Elle provient de la littérature et effectivement **les ménages possédant un animal de compagnie dépensent en moyenne presque 50% de plus de consommation de chaleur que les personnes n'en possédant pas.**

Notre hypothèse est la suivante : les propriétaires laissent la fenêtre partiellement ouverte pour laisser sortir l'animal sur le balcon ou au jardin.

La Figure 66 représente le lien entre la consommation de chaleur et le nombre de personnes du ménage.

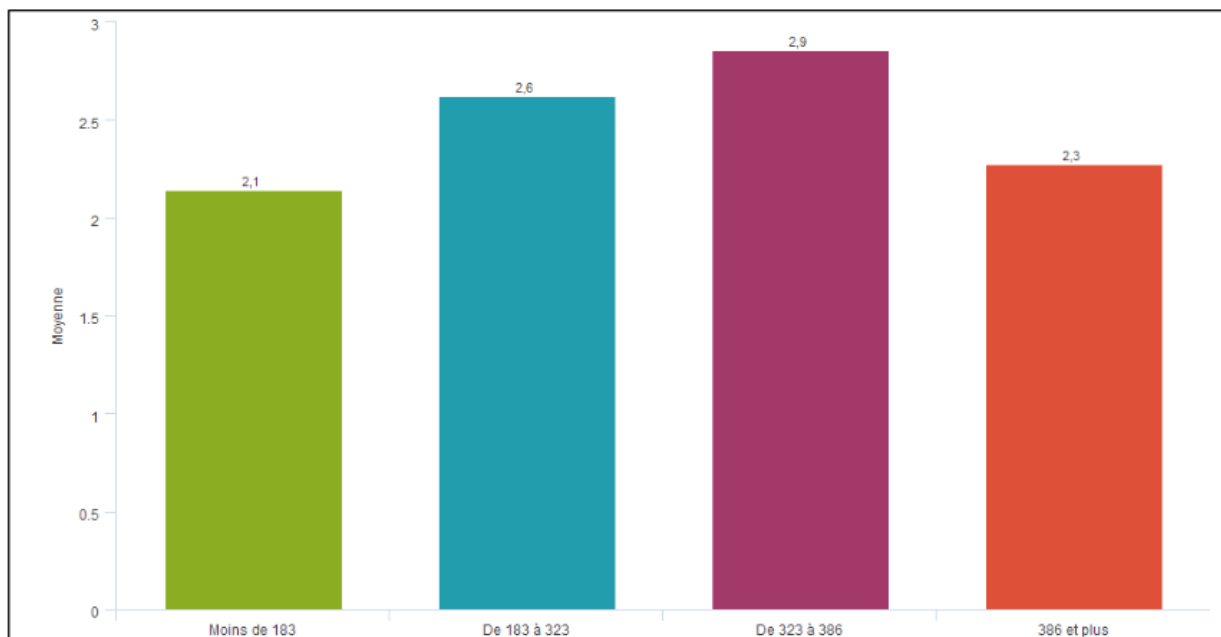


Figure 66 - Corrélation de la chaleur avec le nombre de personnes dans le ménage

Les ménages consommant le plus sont ceux ayant en moyenne 2 personnes. Les ménages composés de trois personnes ne consomment pas plus. Il y a donc un lien entre le nombre de personnes et la consommation, mais il est contredit par un des résultats.



Corrélation des données sur le comportement des habitants face aux services énergétiques ainsi que leur attitude générale avec la chaleur

Les analyses techniques ont montré **que l'aération jouait un rôle important sur la (sur)consommation d'énergie**. Avant d'effectuer des modèles multivariés, le croisement entre la pratique d'aération et la consommation moyenne annuelle de chauffage est intéressante.

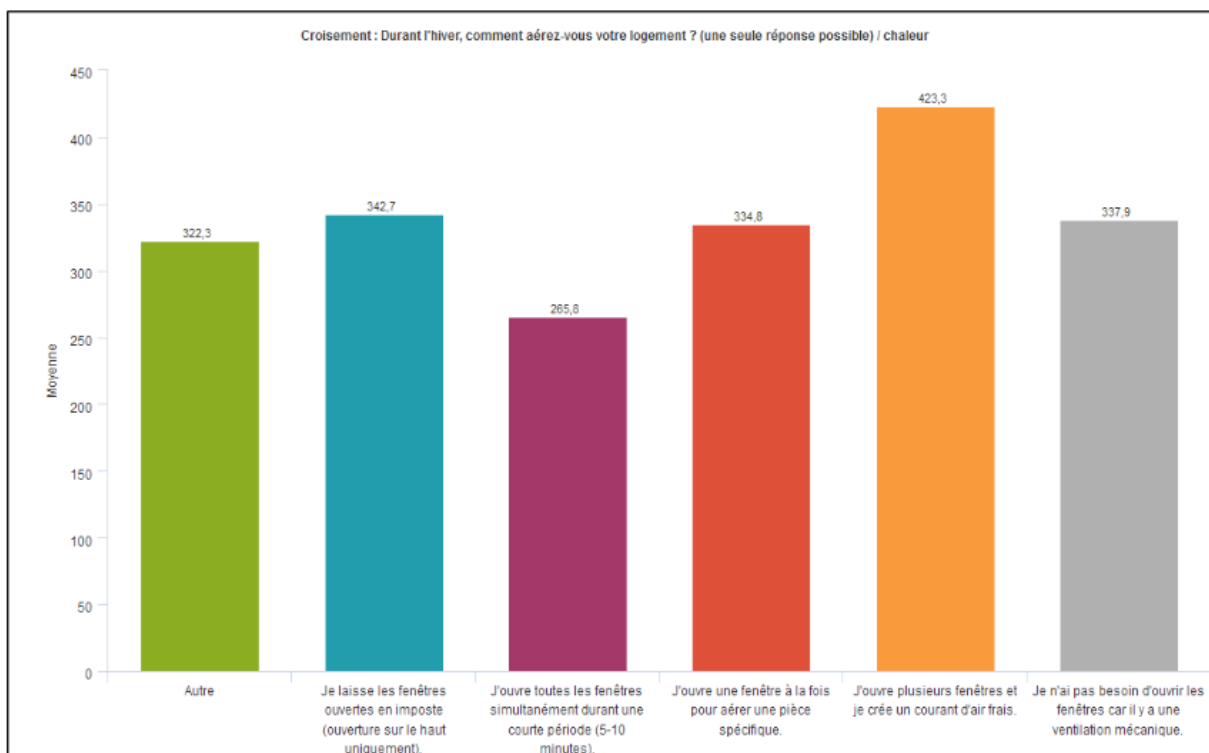


Figure 67 - Aération du logement et corrélation avec la consommation de chauffage

Les différentes pratiques des habitants vis-à-vis de l'utilisation des fenêtres changent la moyenne annuelle de consommation de chaleur. Afin d'être le plus efficace, il est recommandé d'ouvrir les fenêtres entre 5 et 10 minutes par jour. **Les personnes laissant les fenêtres ouvertes en imposte toute la journée consomment beaucoup plus (343 kWh/an) que celles ouvrant seulement pour une courte période (266 kWh/an).** Les personnes n'ouvrant pas les fenêtres ne détiennent pas la consommation la plus faible (338 kWh/an). **Ce sont celles qui les ouvrent simultanément entre 5 et 10 minutes par jour qui consomment le moins (266 kWh/an).**

De manière générale, nous pouvons constater que l'ouverture des fenêtres pendant une durée importante aura des conséquences sur la consommation de chaleur. Les personnes qui ouvrent les fenêtres une pièce à la fois consomment 335 kWh/an, presque autant que celles qui déclarent laisser les fenêtres en imposte. **« La palme » de la consommation revient aux ménages qui déclarent aérer en créant des courants d'air (423 kWh).**



Le moment pour ouvrir les fenêtres est ensuite croisé avec les données de consommation de chaleur.

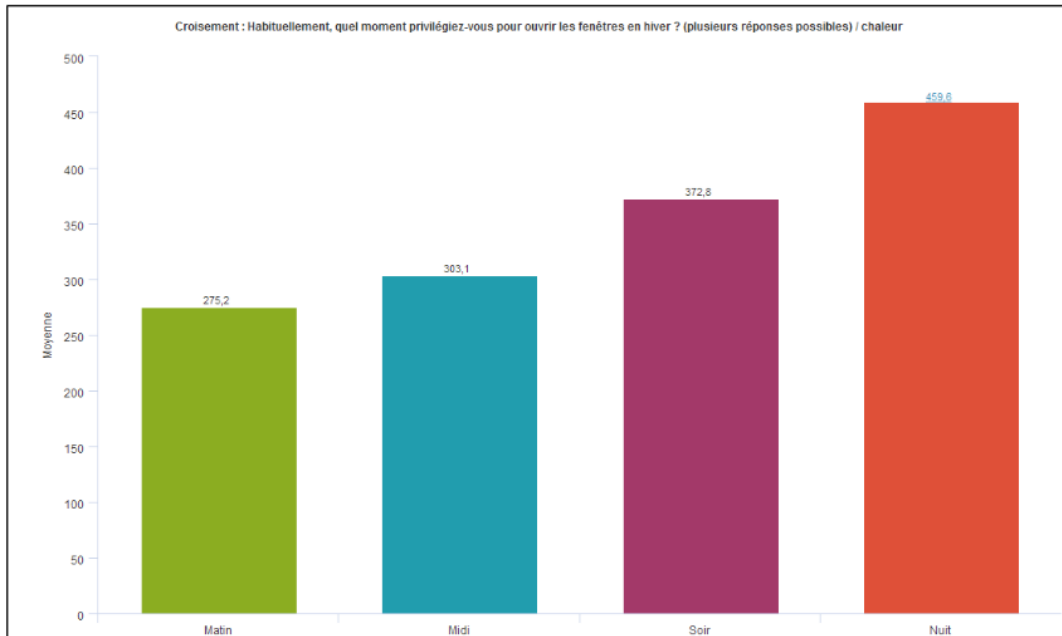


Figure 68 - Corrélation entre la chaleur et le moment d'ouverture des fenêtres en hiver

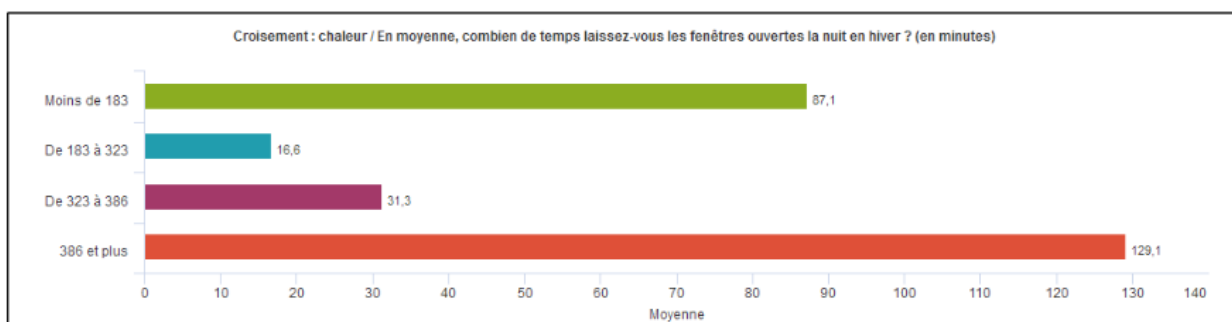


Figure 69 - Corrélation du temps d'ouverture des fenêtres la nuit en hiver avec la chaleur

Les différentes pratiques des habitants par rapport à l'ouverture des fenêtres en hiver a un impact sur les moyennes de consommation de chauffage. Le fait d'ouvrir ses fenêtres durant la matinée semble diminuer la consommation de chaleur. **Les habitants ouvrant leurs fenêtres durant la nuit consomment le plus d'énergie et ne sont pas du tout efficaces énergétiquement parlant.**

Plus les personnes gardent leurs fenêtres ouvertes longtemps et plus la consommation sera importante, représenté graphiquement par la croissance des trois dernières barres. En revanche, la première barre en vert est expliquée par le fait qu'une seule personne affirme laisser toute la nuit ses fenêtres ouvertes, donc la moyenne de temps d'ouverture a beaucoup grandi (87.1 minutes alors que la réponse de cette personne est de 480 minutes, soit 8 heures). **La consommation de chauffage est faible pourtant, car il possède un chauffage d'appoint, utilisant de l'électricité (d'où l'intérêt d'étudier en parallèle la consommation de différents types d'énergie pour comprendre ce type de dérive d'usage).**



De manière cohérente, la **Figure 70** exprime le fait que les personnes laissant les fenêtres ouvertes plus longtemps durant la journée consomment moins de chaleur.

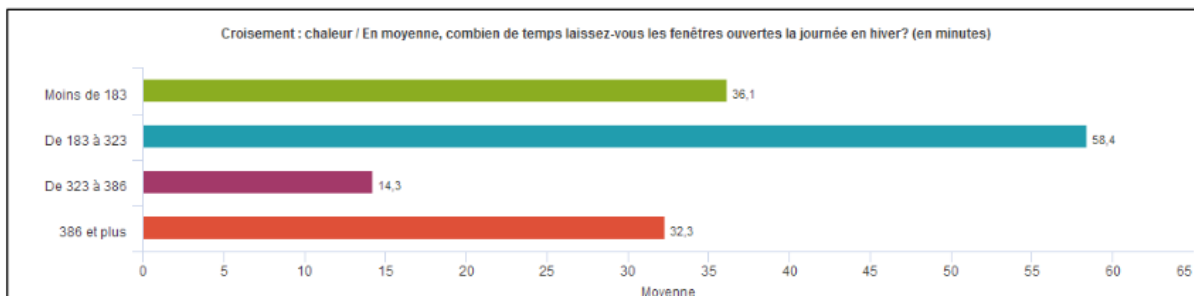


Figure 70 - Temps d'ouverture des fenêtres le jour en hiver corrélé à la chaleur

Cela est applicable parce que les habitants laissent leurs fenêtres ouvertes durant la journée. Donc le soleil permet de chauffer les habitations avec moins d'impact sur la consommation de chauffage.

La température souhaitée a ensuite été croisée avec la consommation de chaleur moyenne annuelle.

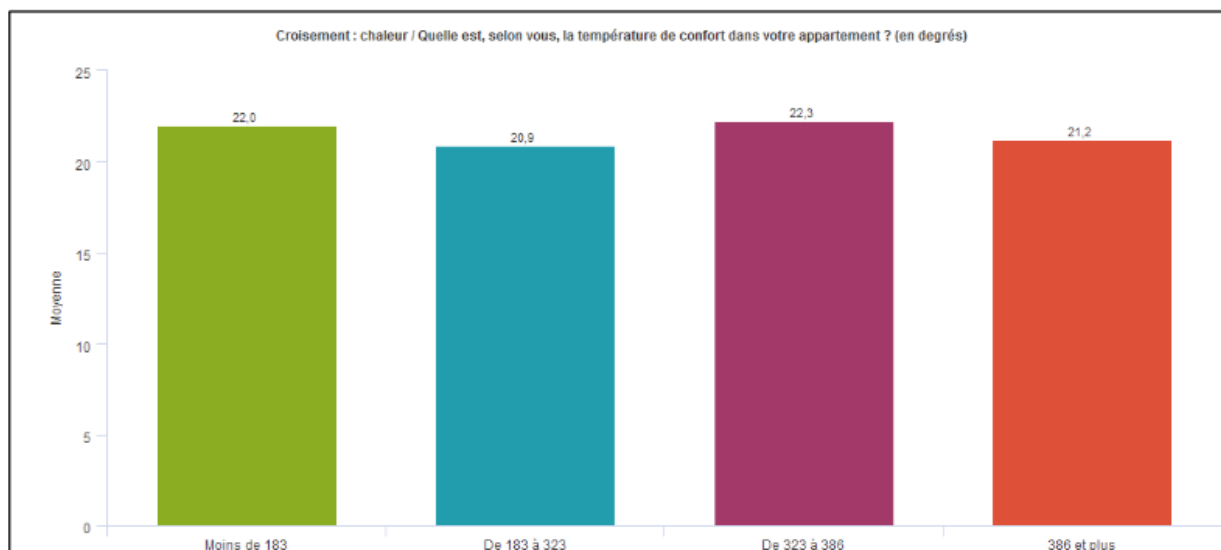


Figure 71 - Croisement entre la température de confort souhaitée et la chaleur moyenne annuelle

Ce sont les pratiques (comme l'ouverture des fenêtres) qui impactent la consommation moyenne de chaleur, et non les « attitudes » des habitants, définissant une température idéale. Les personnes consommant le plus de chaleur, (386 et plus), pensent que la température de confort de leur appartement devrait être de 21 degrés en moyenne. Cependant, ceux pensant que la température idéale devrait être de 22 degrés consomment moins de chaleur, ce qui ne semble pas cohérent. **La température idéale souhaitée et la consommation de chaleur réelle ne sont pas corrélées** dans notre échantillon de 34 répondants. Il faudrait donc co-développer des solutions s'appuyant sur les pratiques des habitants plutôt que sur les attitudes vis-à-vis de la consommation de chauffage.



Le croisement entre l'installation d'un chauffage d'appoint et la consommation de chaleur est étudié :

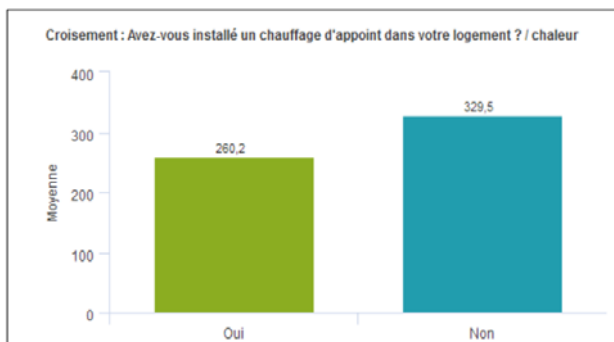


Figure 72 - Croisement entre la présence d'un chauffage d'appoint dans le logement et la chaleur moyenne annuelle

Les personnes qui ont installé un chauffage d'appoint consomment en moyenne 26.5% de moins d'énergie pour le chauffage. Cela est expliqué par le fait qu'ils utilisent moins le chauffage intégré de leur appartement, mais plus le chauffage d'appoint. En revanche, l'impact sur la moyenne d'électricité consommé sera plus fort, mais l'échantillon est trop petit pour généraliser le résultat.

Le croisement suivant s'intéresse au lien entre satisfaction vis-à-vis de la température en hiver et consommation de chaleur :

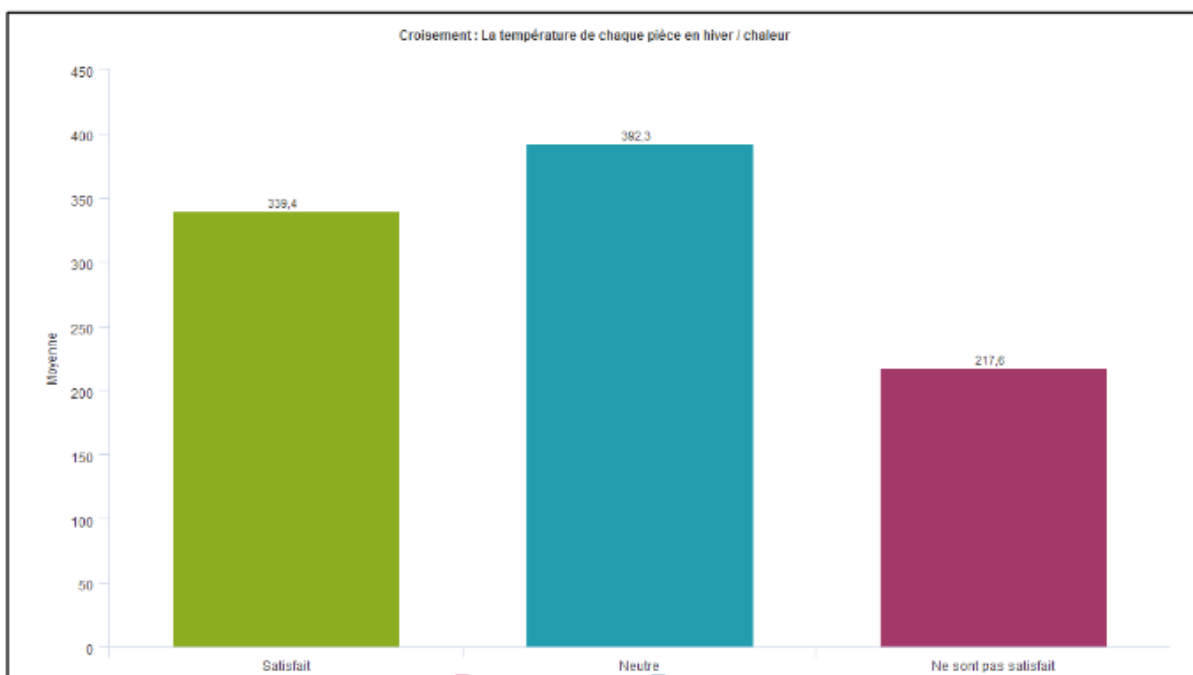


Figure 73 - Croisement de la température moyenne de chaque pièce en hiver et la consommation de chaleur annuelle moyenne

Il y a corrélation entre la satisfaction vis-à-vis de la température de chaque pièce en hiver et la consommation annuelle moyenne de chaleur. Les personnes ayant répondu « neutre » concernant la satisfaction vis-à-vis de la température des pièces consomment le plus. Il peut sembler étonnant que les personnes insatisfaites sont celles qui consomment le moins de chaleur en moyenne. Toutefois, cela peut être lié au fait qu'ils n'interviennent pas directement sur leur consommation de chaleur.



En effet, le système de chauffage du quartier est dimensionné de manière à offrir 21 degrés aux habitants en moyenne en hiver. **Les interfaces de réglage de la température ont été largement décriées durant les entretiens qualitatifs.** En effet, elles indiquent jusqu'à 25 degrés alors qu'il n'est théoriquement pas possible d'augmenter la température de son logement à 25 degrés, en lien avec le dimensionnement du chauffage et la volonté du constructeur de respecter le label Minergie. Pour plus de détails, un article scientifique y est consacré dans la thèse de doctorat de Joelle Mastelic (Mastelic, 2019).

Résultats du sondage dans le quartier relatif aux stores

Dans le sondage auprès des habitants du quartier, des questions liées à l'utilisation des stores ont été posées pour mieux comprendre les usages des stores. En effet, il y a **très peu d'automatismes installés dans le quartier pour les stores car c'était une option que pouvaient choisir les propriétaires lors de la construction.** Or ce facteur semble déterminant en vue de la réduction de consommation de chaleur, comme illustré dans l'analyse technique. Voici ci-dessous les résultats résumés pour l'utilisation en journée et le croisement avec la consommation moyenne annuelle de chaleur :

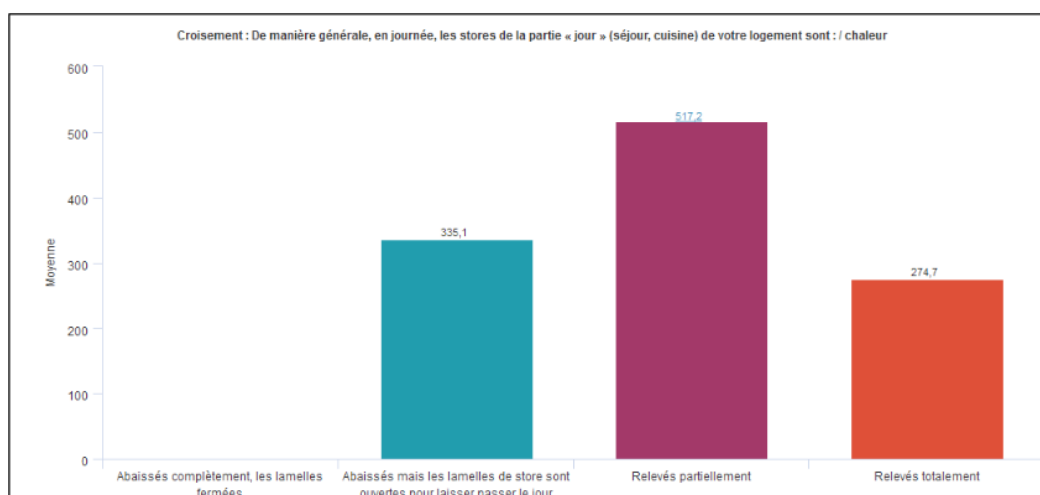


Figure 74 - Croisement entre l'abaissement des stores et la consommation de chaleur annuelle moyenne

Malgré le faible nombre d'observations (34 appartements) on peut remarquer que **la consommation de chauffage est plus basse en moyenne annuelle dans les ménages qui disent relever totalement les stores en journée (275 kWh/an) que dans les ménages qui ne relèvent que partiellement les stores (517 kWh/an).** En analysant les usages, cela conforte l'analyse technique du bâtiment sur le rôle prépondérant des stores et de la chaleur passive.

Les apports thermiques liés aux pratiques des habitants avec les stores montrent que la consommation de chaleur est impactée. Les personnes relevant complètement leurs stores consomment 29.3% de moins de chaleur comparé aux personnes abaissant les stores, et presque 88% de moins que les personnes relevant les stores partiellement.



Une autre question liée à l'utilisation des stores explique les déterminants de l'usage des stores : « Comment utilisez-vous les stores de votre logement » ?

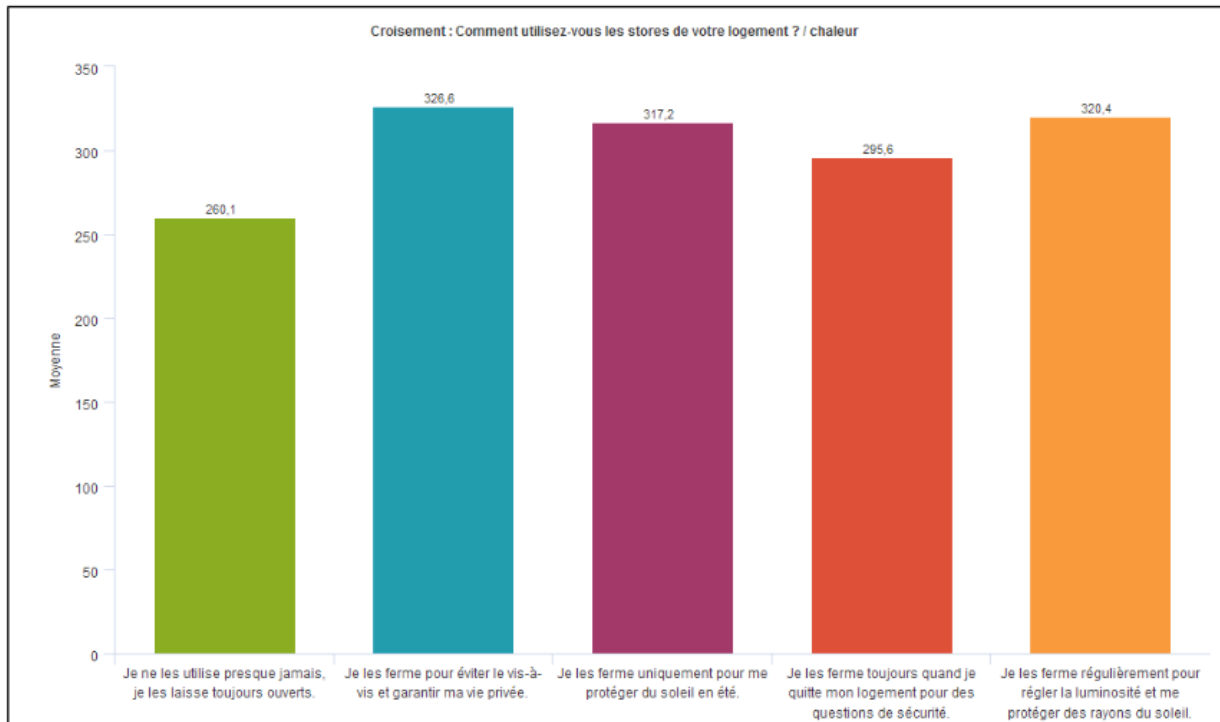


Figure 75 - Croisement entre l'utilisation des stores et la consommation de chaleur annuelle moyenne

Les ménages qui laissent les stores toujours ouverts consomment moins en moyenne annuelle (260) que ceux qui les ferment. C'est la catégorie qui ferme les stores pour éviter le vis-à-vis et garantir la vie privée qui consomment le plus de chaleur (326), puis ceux qui les ferment pour régler la luminosité et se protéger des rayons du soleil (320).

- Le rôle des stores semble donc prédominant dans la consommation de chaleur dans le quartier et il s'agit **d'optimiser leur utilisation, peut-être en sensibilisant les habitants à la chaleur passive en hiver.**
- Il est également important de prendre en compte l'aspect de vis-à-vis et de vie privée à la conception du quartier. **Les pratiques des habitants vont influencer directement la consommation de chaleur moyenne.** Ces pratiques sont motivées par des besoins, engendrant une motivation dans certaines pratiques, comme la fermeture complète des stores pour des questions de sécurité ou encore de vie privée. L'impact du design du quartier est prédominant : en évitant le vis-à-vis, la vie privée est respectée et les habitants ont moins tendance à baisser les stores la journée.
- **En installant de la domotique pour descendre et monter les stores automatiquement** en fonction des conditions extérieures et de la présence des habitants, cela simplifie les tâches des habitants.



Les attitudes vis-à-vis de l'environnement ont-elles une influence sur la consommation ?

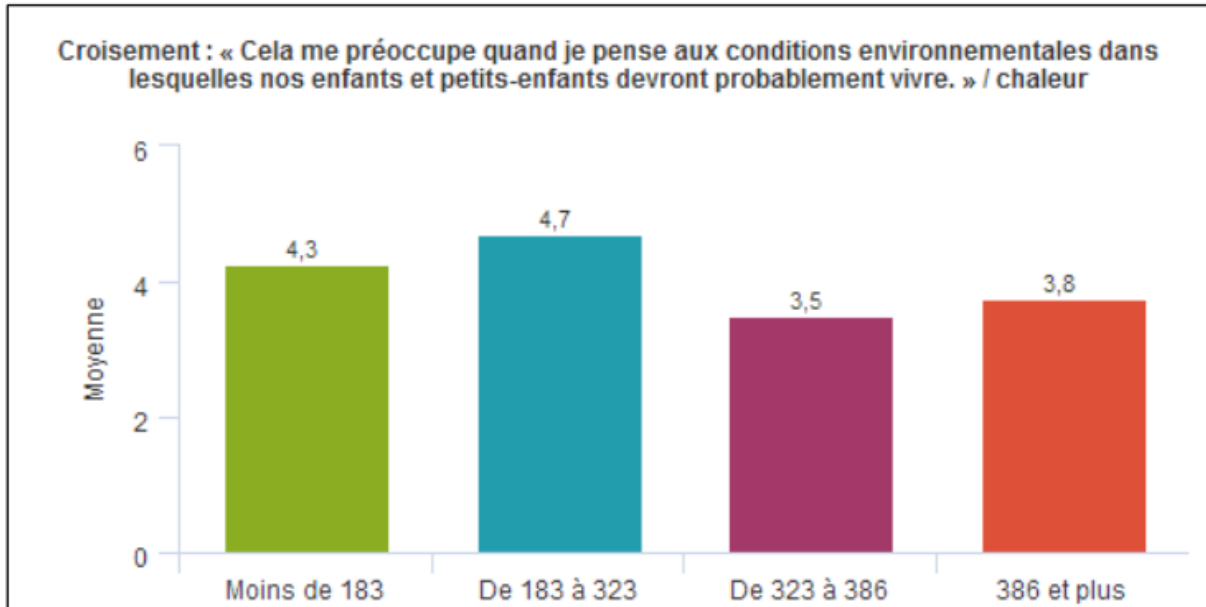


Figure 76 - Croisement entre la préoccupation concernant les conditions environnementales et la consommation de chaleur

Les personnes les plus anxieuses face aux générations futures consomment en effet moins que la moyenne en termes de chauffage. La catégorie de personnes consommant le moins est effectivement consciente de ce problème et influence leur comportement en conséquence.

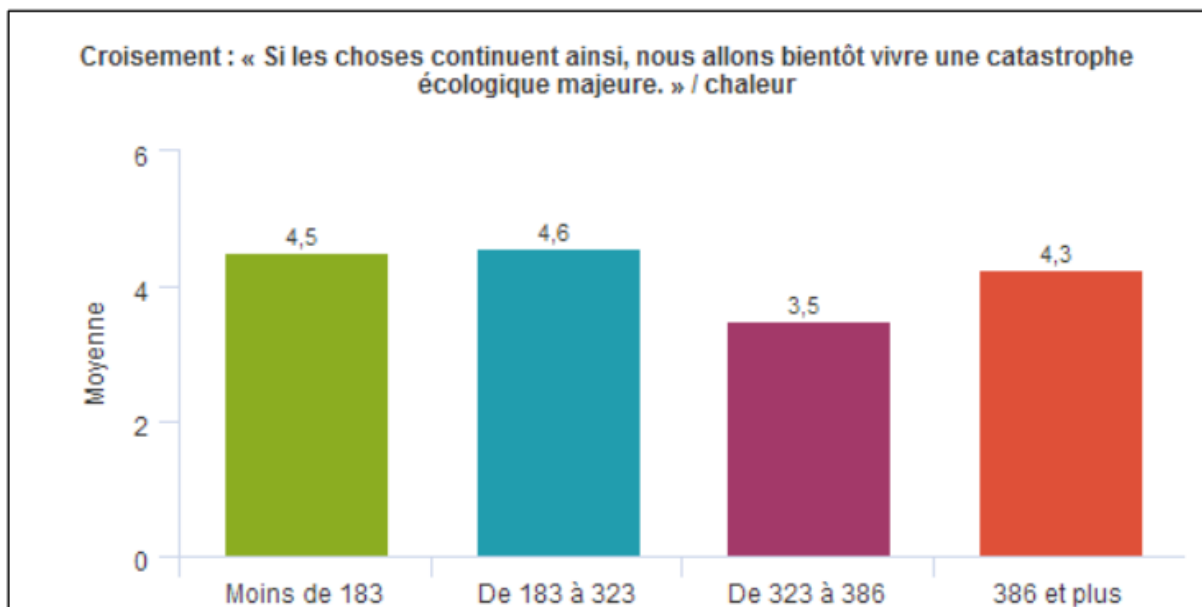


Figure 77 - Croisement entre la conscience des habitants et la chaleur



Malgré le fait que la plupart des personnes conscientes des catastrophes écologiques potentielles consomment moins, certains gros consommateurs, comme la dernière catégorie, consommant plus de 386 kWh par ménage, restent également soucieuses des questions environnementales. Ce n'est pas forcément le fait d'avoir certaines opinions vis-à-vis de l'environnement qui influencera la consommation. **C'est bel et bien dans les pratiques des habitants que des changements doivent avoir lieu afin d'augmenter en efficacité énergétique.**

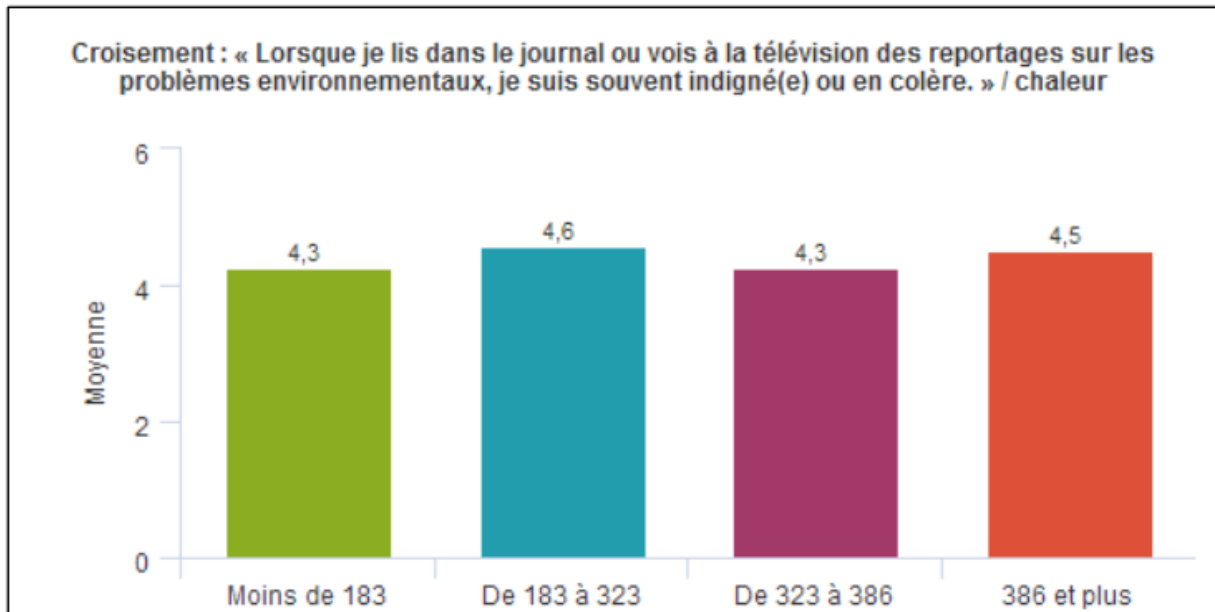


Figure 78 - Croisement entre la conscience des personnes et la consommation de chauffage

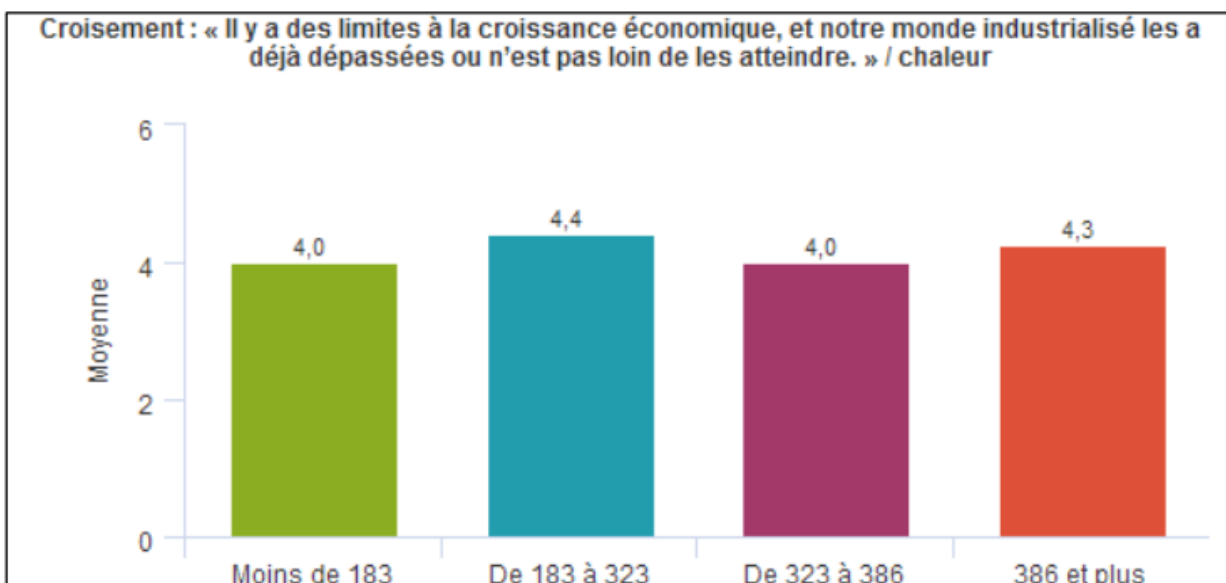


Figure 79 - Croisement entre le scepticisme des habitants et leur consommation de chaleur



Dans les Figure 80 et 81, on voit à nouveau que la typologie de résident et leur attitude vis-à-vis de l'environnement n'explique pas la consommation de chaleur de manière déterminante.

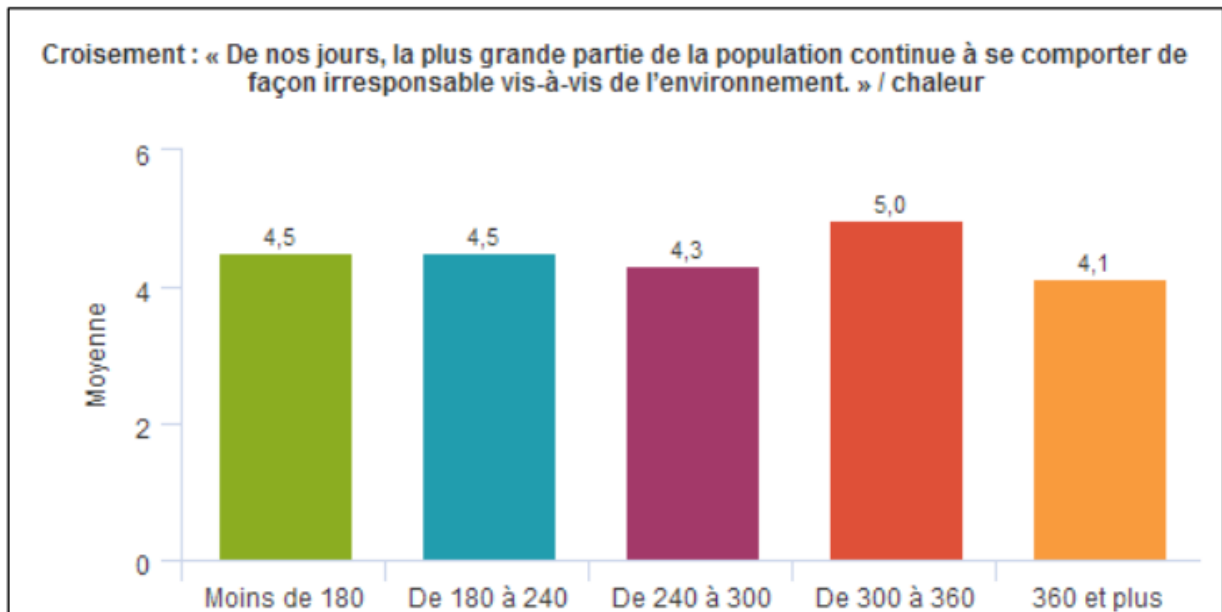


Figure 80 - Croisement entre la responsabilité face à la question énergétique et les consommations de chaleur

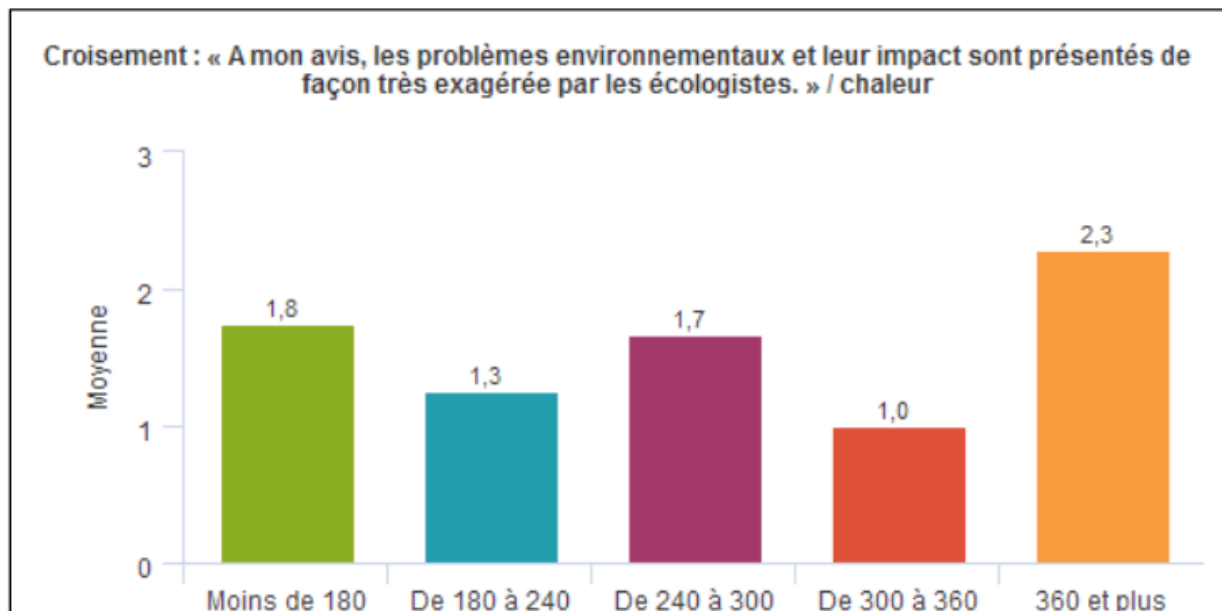


Figure 81 - Croisement entre le scepticisme face aux écologistes et la consommation de chaleur

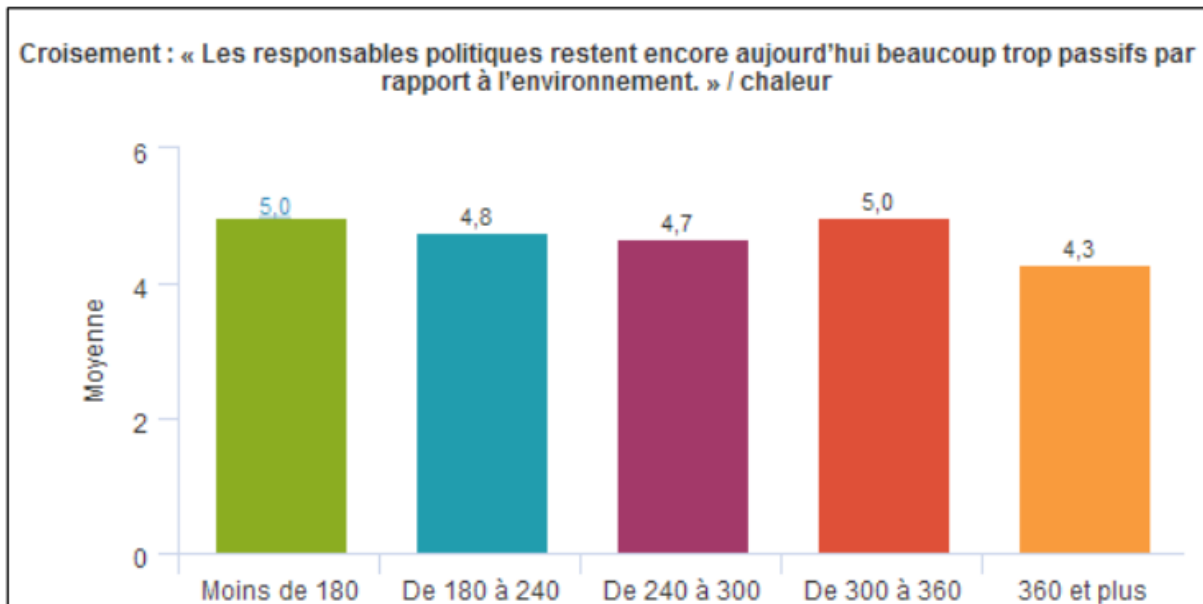


Figure 82 - Croisement entre l'avis des habitants sur les politiciens et la consommation de chauffage

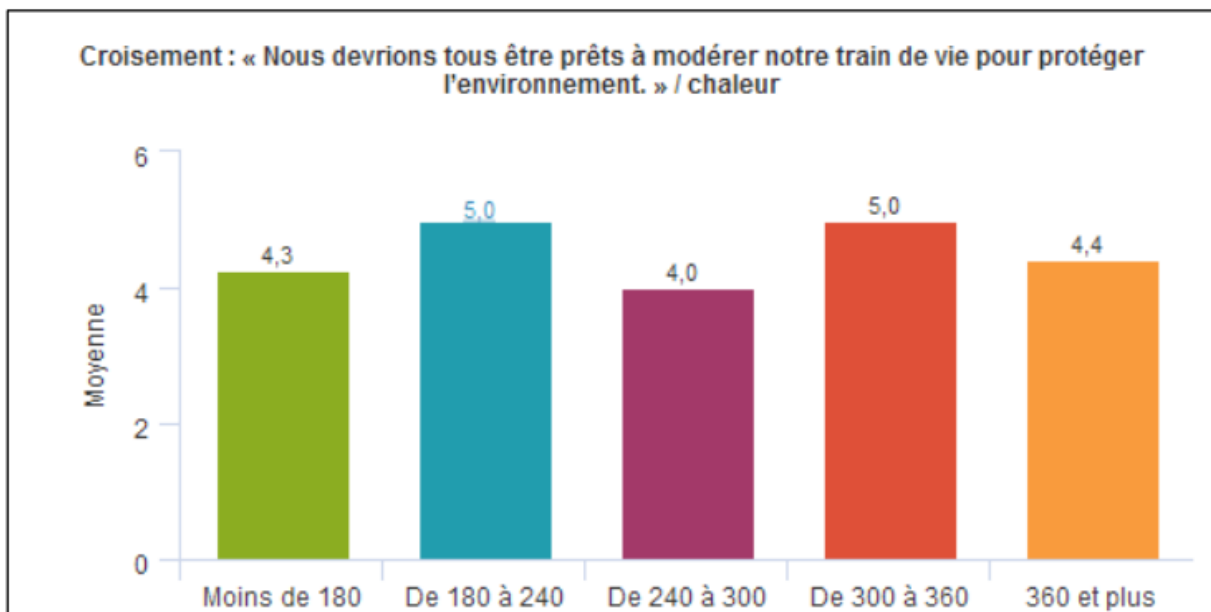


Figure 83 - Croisement entre l'espoir de l'humain sur le DD et la consommation de chaleur

Pour conclure, nous avons classé les répondants dans des catégories en fonction de leurs attitudes vis-à-vis de l'environnement. Le déclaratif et les attitudes n'ont que peu d'influence sur la consommation réelle de chaleur dans le logement. Ce n'est pas un facteur explicatif très corrélé. La limite de l'étude (34 ménages avec tous les types de données) ne nous permet pas une généralisation et des précautions doivent être prises avec les résultats (test dans d'autres quartiers par exemple).



Electricité

Concernant l'électricité, les résultats ne sont pas significatifs et n'apportent pas de conclusion concluante. Nous avons effectué ses analyses qui sont à disposition sur demande. Elles n'ont par contre pas été intégrées au présent rapport car elles apportent un niveau explicatif faible. De plus, l'écart de performance énergétique se situe au niveau de la consommation thermique (+17%) et non électrique (-15%) par rapport à la norme SIA.

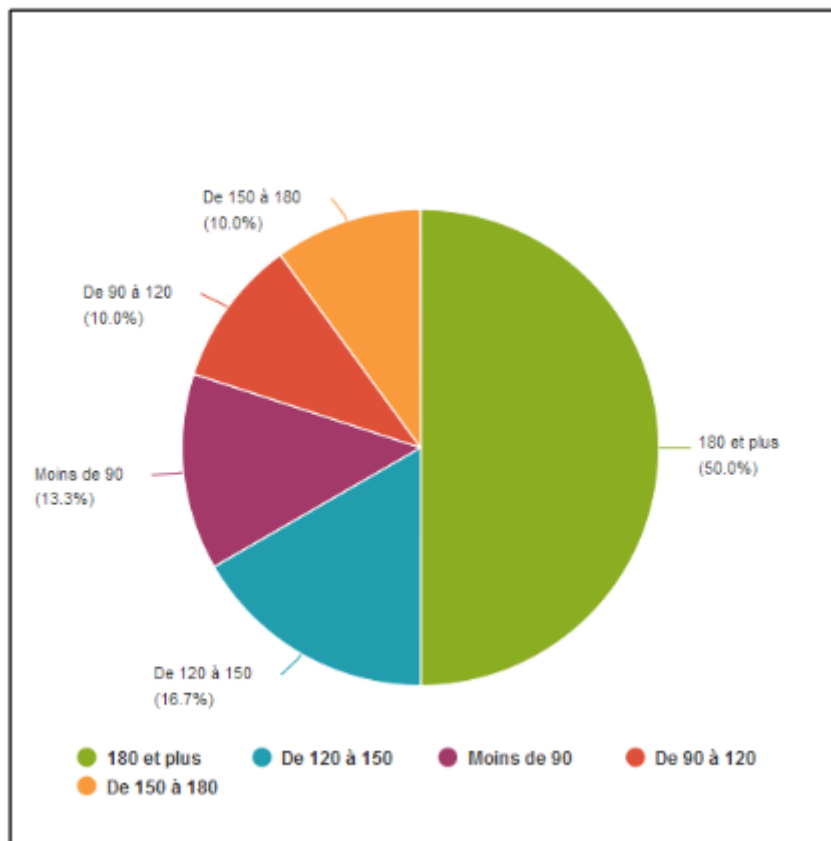


Figure 84 - Description de l'échantillon concernant l'électricité



Analyses de la consommation d'eau chaude sanitaire

La consommation d'ECS par ménage a également été analysée. Il a ensuite été possible de croiser les différents jeux de données : (1) les données socio-démographiques provenant du sondage, (2) les attitudes provenant du sondage également ainsi que (3) les comportements grâce au relevé de la consommation moyenne d'ECS. Voici dans la **Figure 85** la consommation moyenne d'eau. L'unité représente la consommation d'eau moyenne mensuelle en m³ entre 2016 et 2017.

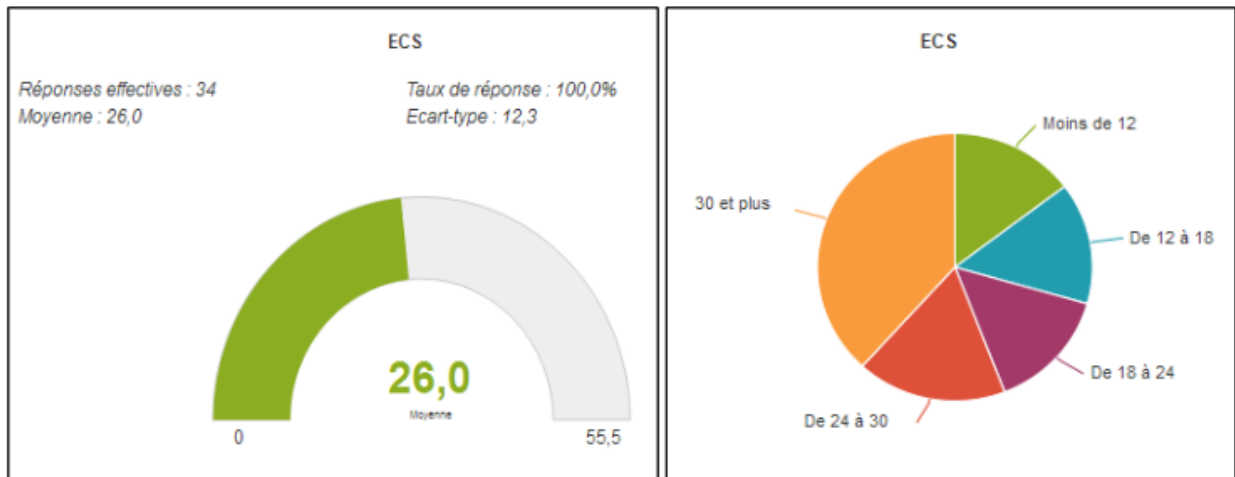


Figure 85 - Description de l'échantillon concernant l'eau

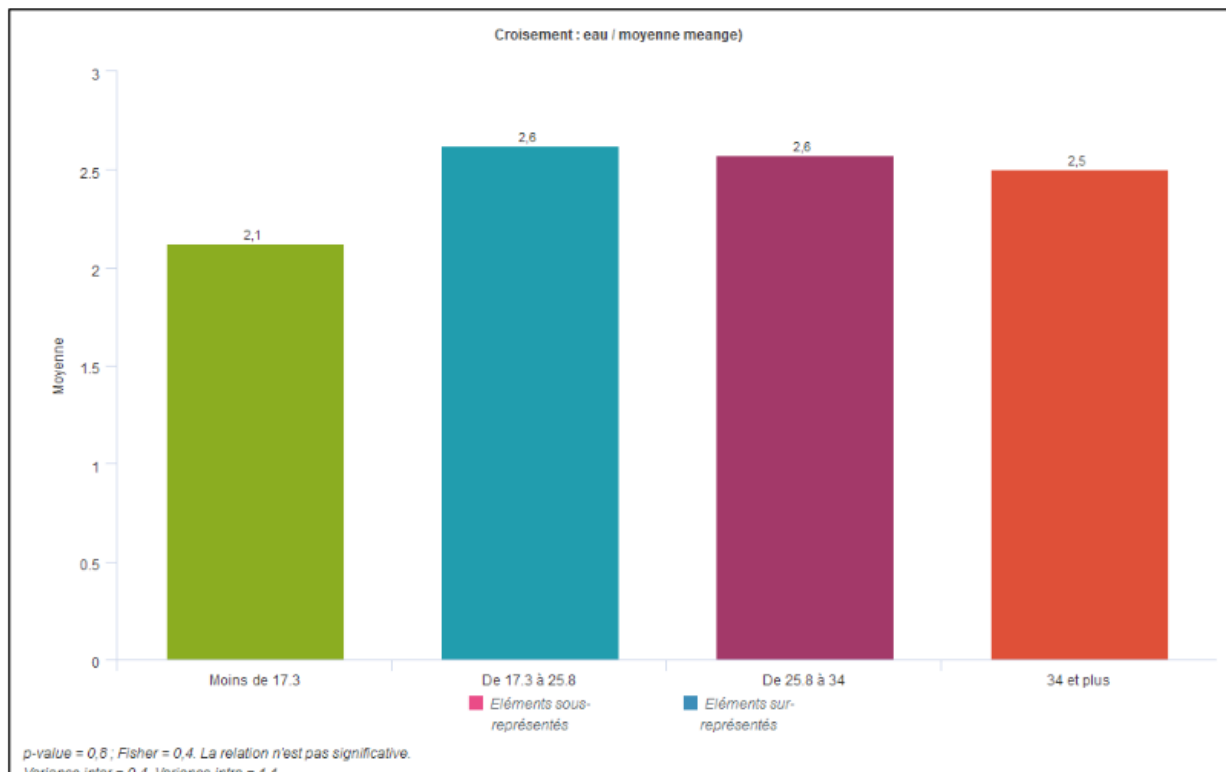


Figure 86 - Croisement entre l'eau et la consommation moyenne



Dans la **Figure 87**, on constate de manière assez cohérente, que les ménages comportant le plus de personnes consomment en moyenne plus d'eau. Par contre, on remarque que les couples sans enfants consomment plus d'eau en moyenne que ceux avec des enfants.

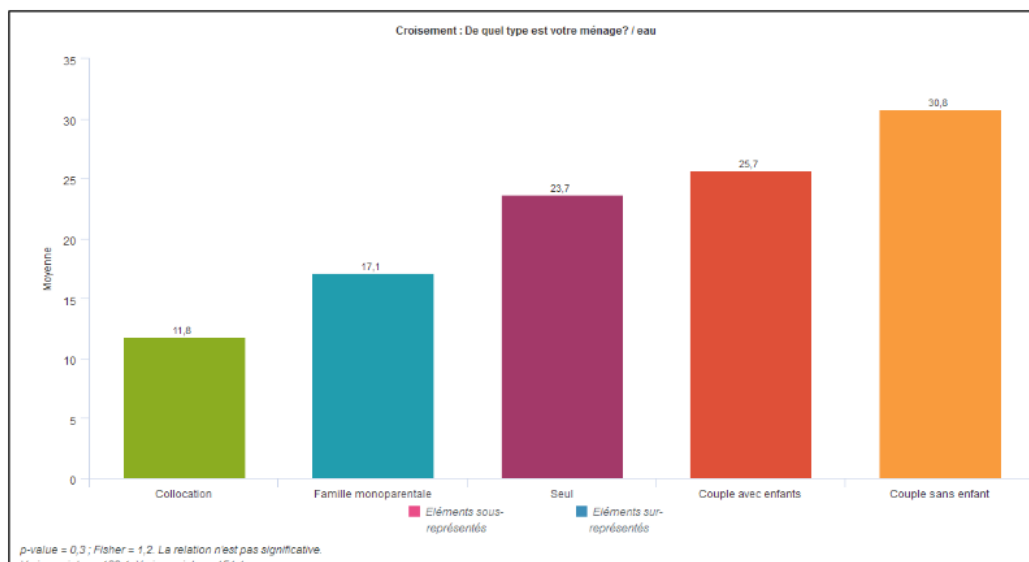


Figure 87 - Consommation d'eau croisée au type de ménage

Contrairement à la chaleur, la consommation d'eau ne semble pas avoir de lien significatif avec le niveau d'éducation le plus élevé du ménage. Les personnes ayant une formation de degré tertiaire sont les deuxièmes plus gros consommateurs. Les personnes sans formation post-obligatoire sont celles consommant le moins.

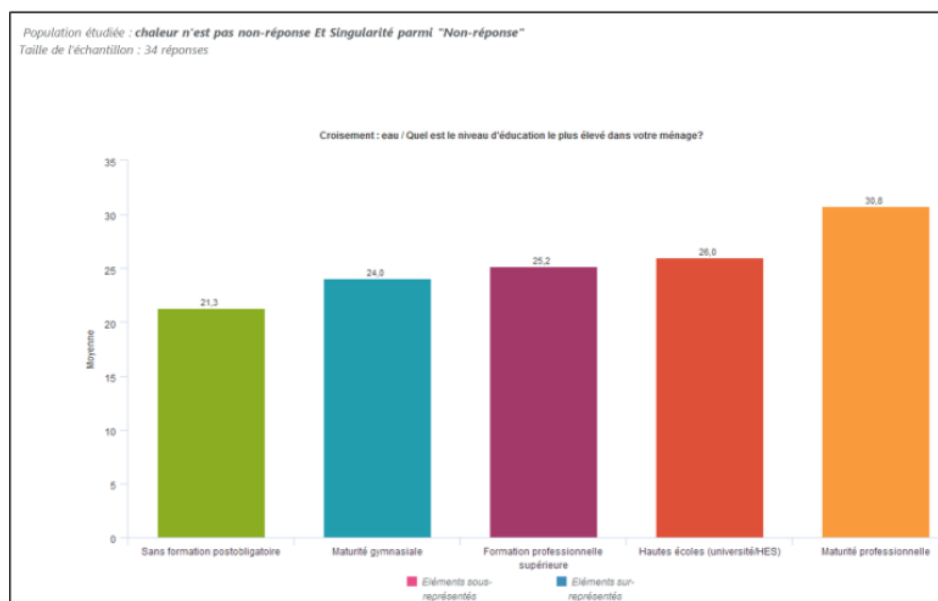


Figure 88 - Croisement de la consommation d'ECS avec le niveau d'éducation le plus élevé du ménage



On remarque sur la **Figure 89** que **plus l'on vieillit, et plus la consommation d'eau augmente**. En revanche, les personnes les plus jeunes sont celles consommant le plus d'ECS. Des résultats plus ou moins similaires avaient pu être observés avec le chauffage.

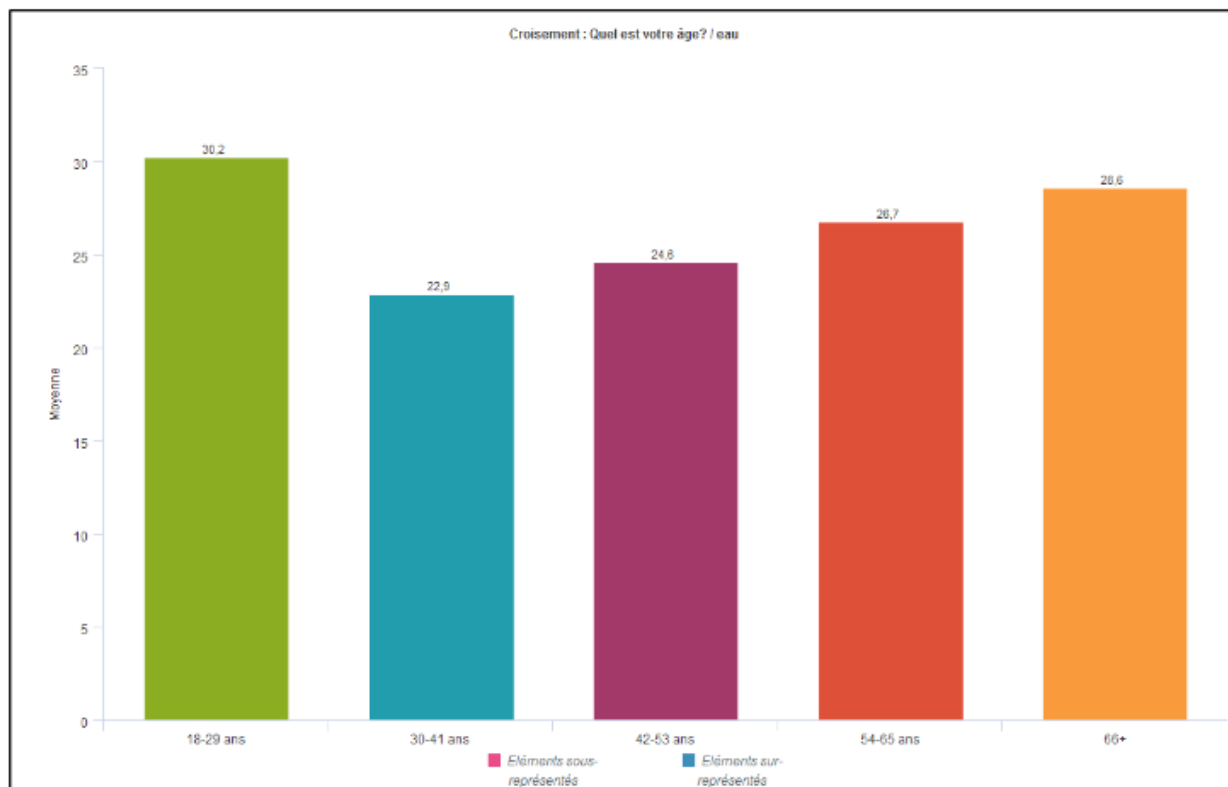


Figure 89 - Croisement entre l'âge et la consommation d'eau

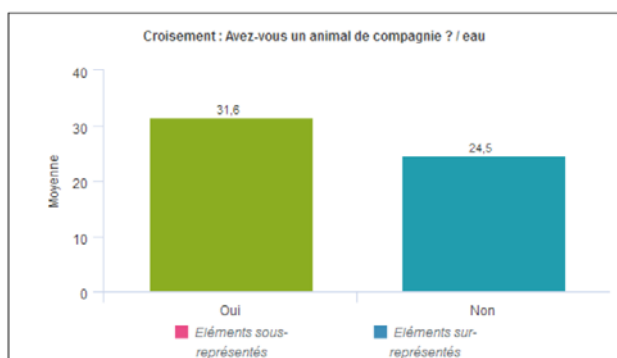


Figure 90 - Corrélation de la consommation d'eau avec la possession d'un animal de compagnie

La **Figure 90** exprime le lien entre la possession d'un animal de compagnie dans le ménage avec la consommation moyenne d'eau. De manière similaire à la chaleur, les ménages possédant un animal de compagnie consomment plus d'eau.



La **Figure 91** exprime la corrélation entre la consommation moyenne d'eau chaude sanitaire et la satisfaction des habitants vis-à-vis du label Minergie.

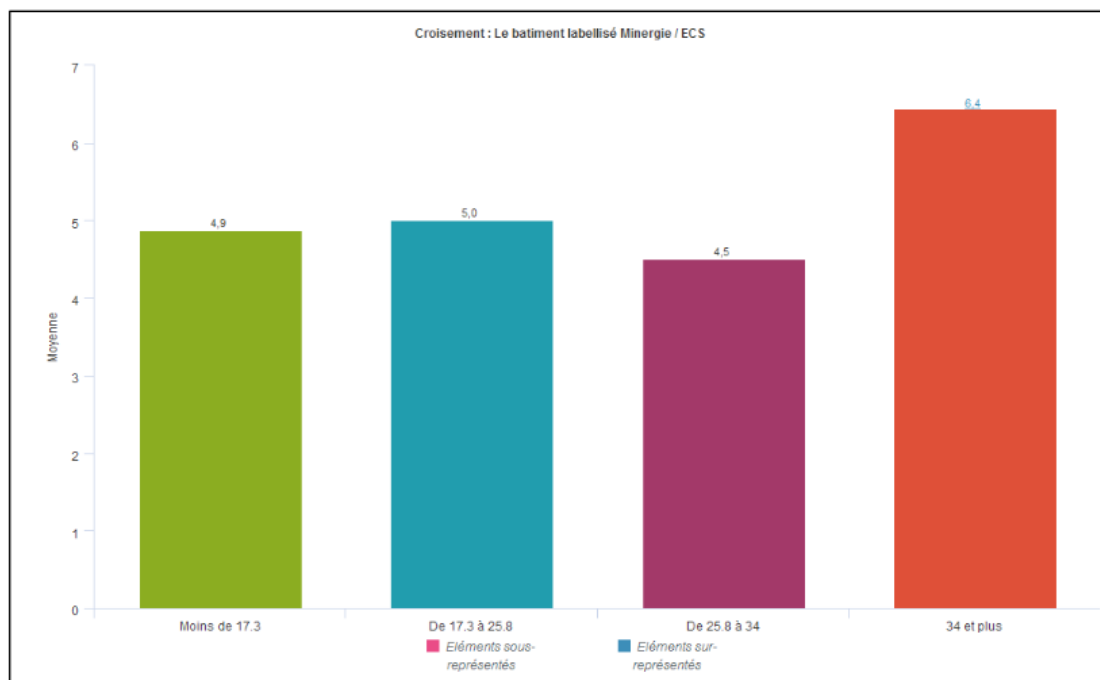


Figure 91 - Corrélation de la consommation d'eau avec la satisfaction du label Minergie

Les habitants qui se sentent les plus satisfaits du label Minergie sont ceux consommant le plus d'eau chaude sanitaire. Nous avons déjà pu conclure cela dans la partie sur le chauffage. Le fait d'avoir analysé un deuxième service énergétique nous a permis d'arriver aux mêmes conclusions.

Après avoir pu croiser les données socio-démographiques des personnes avec leur consommation d'ECS, il est intéressant de croiser les attitudes des habitants face à la question écologique avec leur consommation d'eau.

Les deux graphiques ci-dessous illustrent le croisement de deux questions liées à la perception des conditions environnementales avec leur consommation d'eau :

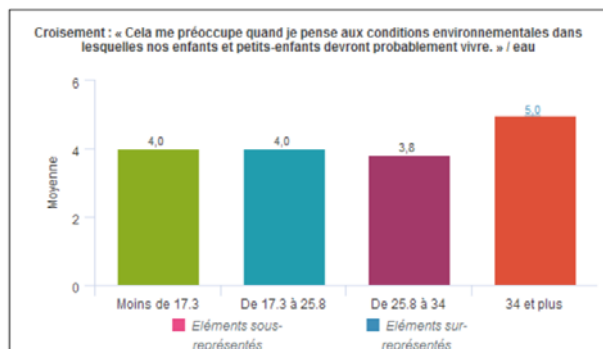


Figure 92 - Croisement « éco-anxiété » et consommation d'ECS

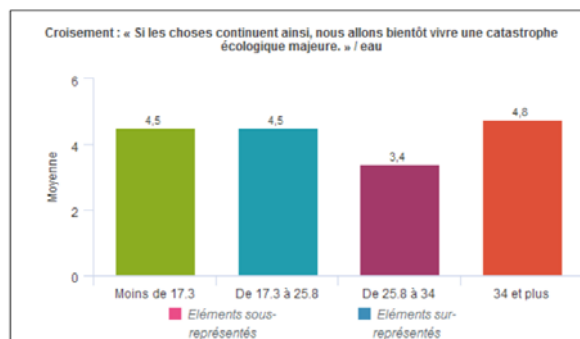


Figure 93 - Croisement entre catastrophe majeure et consommation d'ECS



Selon les Figures 92 et 93, les personnes se déclarant les plus anxieuses face à la situation des conditions environnementales pour les générations futures ainsi que celles qui sont le plus sceptiques quant au futur de notre planète, sont les plus gros consommateurs en moyenne d'ECS parmi les ménages étudiés.

L'analyse de la consommation d'ECS dans le ménage apporte des **résultats significatifs et plutôt similaires à ceux du chauffage** étudié au point précédent. Il est intéressant de remarquer le lien entre la consommation de ces services énergétiques et la satisfaction, mais également de comprendre la corrélation entre le scepticisme des habitants face à cette question écologique et leur consommation.

- Les études qui se basent uniquement sur des données déclaratives sur les attitudes qui ne sont pas croisées avec des données de consommations peuvent avoir des **marges d'erreur très importantes** car les attitudes ne sont pas toujours corrélées avec le comportement réel.
- Déclarer ne pas être soucieux de l'environnement ne veut pas dire que ce sont des personnes qui consomment plus que les autres en matière de chauffage, d'électricité ou d'ECS.
- Les conclusions vont dans le même sens que ce que l'on sait déjà grâce à l'article « Mind the Gap » de Kollmuss & Agyeman (2002).
- Il faudrait la comparaison avec les données d'un deuxième quartier (impossibles à obtenir dans le cadre de ce projet) pour généraliser les résultats et renforcer la taille de l'échantillon. Il serait aussi possible (et peut-être plus aisé) de refaire une étude longitudinale dans le même quartier pour voir si les résultats évoluent dans le temps.



Analyses économétriques

Afin de mener à bien les analyses économétriques, il est nécessaire de relier les données de consommations du logement avec les données socio-économiques du ménage habitant dans ce logement. Bien qu'il y ait **226 ménages dans le quartier d'Eikenott pour qui les relevés de consommation avec e-smart sont disponibles depuis 2015**, le lien entre avec les données socio-économiques n'a pu être établi que pour un **sous-échantillon de 33 ménages**. Cela s'explique par deux raisons. Premièrement, même si l'ensemble des habitants du quartier ont été invités à répondre au questionnaire en ligne, seule une partie d'entre eux ont accepté de le faire. Le nombre de répondants au questionnaire en ligne s'élève à 93 soit environ un taux de retour d'un quart des ménages. D'autre part, il n'a pas été possible d'apparier toutes les données socio-démographiques collectées car **les identifiants n'ont pas pu être déterminés avec certitude pour un certain nombre de ménages**. C'est donc sur un échantillon de 33 ménages que nous sommes en mesure d'effectuer les régressions qui permettent d'expliquer les consommations d'énergie (chauffage, eau chaude, électricité).

Il faut donc admettre que le nombre de ménages sur lequel cette analyse économétrique repose est relativement limité en comparaison avec les échantillons de grande taille qui sont parfois disponibles dans d'autres études dans ce domaine. Cependant, il faut insister sur le fait que **la base de données est malgré tout d'une taille tout à fait raisonnable**. En effet, les données de consommation utilisées sont accessibles de janvier 2015 à juin 2019 et avec une granularité journalière. Nous avons donc à disposition (jusqu'à) 1'642 observations journalières par ménage, et ce pour trois domaines de consommation différents, soit près de 5'000 observations par ménage. **La base de données utilisées pour les régressions où sont intégrées des éléments socio-démographiques contient ainsi plus de 100'000 observations, ce qui est remarquable. Le fait d'avoir les consommations dans différents domaines est également une caractéristique exceptionnelle de cette base de données.** À l'exception de Jessoe et al. (2017), nous n'avons en effet pas connaissance d'utilisation de base de données où les consommations de différents domaines peuvent être reliées au niveau des ménages.

Problèmes liés à l'acquisition et au traitement des données de consommation

Les données de consommation proviennent de compteurs intelligents (*smart meters*) eSMART et sont ici utilisées avec une **granularité journalière**. Un certain nombre de difficultés ayant été rencontrées dans ce contexte méritent d'être signalées. Il s'agit de difficultés d'ordre logistique ainsi que de difficultés relatives à la qualité des données.

Une première série de difficultés s'est présentée **dès la phase d'obtention des données de consommations des ménages**. En effet, même si leur nombre est en augmentation, il existe aujourd'hui encore relativement peu de fournisseurs qui possèdent des données provenant de compteurs intelligents capables de mesurer la consommation de manière autonome et donc à haute fréquence. Surtout, pour que ces données soient utiles dans une analyse économétrique, **il est nécessaire qu'elles soient disponibles sur un horizon temporel suffisamment long**. En ce sens, un compteur intelligent ayant été installé récemment n'est pas spécialement utile puisque l'historique des consommations n'est pas suffisant pour une analyse robuste. Ensuite, même lorsqu'ils possèdent des données provenant de compteurs intelligents, **les fournisseurs sont souvent réticents à les partager pour des raisons de confidentialité, et ce même à des fins de recherche et après signature de contrats garantissant l'anonymisation des données individuelles**. Finalement, on rencontre parfois des **barrières purement techniques liées à l'extraction des données** depuis les systèmes informatiques des fournisseurs. En effet, la plupart des fournisseurs qui disposent de telles données les utilisent principalement pour leur facturation et il n'est pas toujours évident d'extraire les données brutes de ces systèmes afin de pouvoir les



utiliser dans un but différent de celui pour lequel elles sont initialement prévues. **Ces difficultés ont toutes été rencontrées à un degré plus ou moins important au cours du projet, ce qui a malheureusement causé une perte de temps et de ressources considérable.**

Dans le cas du quartier d'Eikenott, des solutions ont pu être trouvées et les données de consommation sont finalement disponibles pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et l'électricité pour l'ensemble des 226 ménages habitant dans le quartier et ayant un smart meter installé (la moitié des ménages). **C'est cependant le seul quartier pour lequel des données ont pu être obtenues.** Des discussions avec un nombre important d'autres fournisseurs portant sur d'autres quartiers n'ont en effet jamais abouti. Il est à espérer que **le projet de création d'un centre de données énergétiques (datahub national)** proposé par le Conseil fédéral (voir DETEC, 2019) permette de trouver des réponses à ces problèmes. **Les données énergétiques sont une des clés de la transition énergétique.** Avoir accès à des données de qualité et en grande quantité constitue une condition nécessaire à l'obtention de conclusions pertinentes.

Une fois la première série de difficultés passée et les données obtenues, se pose un deuxième genre de problèmes, liés à la **qualité des données**. En effet, contrairement à ce qu'on pourrait attendre étant donné que les relevés de consommations se font de manière automatisée, **les mesures effectuées par des compteurs intelligents ne sont pas toujours d'une qualité irréprochable.** À ce stade, on rencontre ainsi deux types de problèmes. Tout d'abord, il arrive que les relevés cessent pendant des périodes relativement longues de plusieurs jours voire parfois plusieurs mois. Pendant ces périodes de non-fonctionnement, seule la consommation totale peut être obtenue, grâce à la différence entre la première valeur de l'index à la fin de l'interruption des mesures et sa dernière valeur observée avant l'interruption. Il est alors possible de reconstruire les séries en distribuant la consommation entre les jours pour lesquels les relevés manquent, mais cette méthode repose évidemment sur des hypothèses et ne pourra jamais permettre de déterminer exactement ce qui s'est réellement passé. Nous avons ici opté pour un **remplissage uniforme des données manquantes**. Par exemple, si la consommation est manquante pendant une semaine, on répartit la consommation totale observée sur les 7 jours de manière identique entre les 7 jours. Cela permet d'éviter de perdre un nombre non-négligeable d'observations, puisque cette problématique concerne **environ 10% de toutes les observations** de la base de données.

À ce stade, il convient une fois encore de rappeler que le but premier de relever les consommations, même de manière automatisée, reste pour le fournisseur d'établir sa facturation. Dans cet optique, obtenir une (seule) mesure de consommation de temps en temps est suffisant puisque la facturation est mensuelle, bimensuelle, voire même annuelle (avec paiement d'acomptes intermédiaires fixes. Cependant, **la problématique de la fiabilité des compteurs intelligents pourrait devenir primordiale si l'on souhaite passer à des tarifications dynamiques dans le temps** (c'est-à-dire un tarif variable jour par jour, voire heure par heure). En effet, afin de pouvoir proposer des tarifications dynamiques, telles qu'elles sont aujourd'hui envisagées comme moyen de gestion de la demande, **la fiabilité des compteurs est une condition incontournable et des problèmes techniques pourraient entraver de manière rédhibitoire leur mise en place.** Pour pouvoir passer à des tarifications dynamiques, il conviendra auparavant de s'assurer que les données transmises par les compteurs sont suffisamment précises pour permettre d'appliquer le juste tarif à chaque consommation en fonction de l'instant auquel elle aura eu lieu. **À l'heure actuelle, il ressort que certains compteurs intelligents bénéficient d'un niveau de fiabilité insuffisant pour imaginer un passage à une tarification dynamique.** Ainsi, il semble que des enseignements importants peuvent être déduits des difficultés liées à la qualité des données, d'autant plus que des problèmes similaires ont été rencontrés ailleurs (voir notamment Perret et al., 2019).



En plus de la problématique des données manquantes se pose celle des **données aberrantes**. En effet, il arrive parfois que des **valeurs de consommation extrêmes et clairement non-plausibles** soit enregistrées. On peut ainsi par exemple observer des consommations d'électricité s'élevant à plusieurs milliers de kWh pour un seul ménage en une journée, ce qui ne fait évidemment aucun sens. De même, il existe parfois des **consommations négatives** enregistrées. Avant toute analyse statistique, il convient donc de **nettoyer ces données aberrantes**. Pour ce faire, nous avons commencé par supprimer toutes les valeurs négatives. Nous avons ensuite supprimé toutes les valeurs supérieures à la valeur du 3^{ème} quartile plus 1.5 fois l'intervalle interquartile (IIQ) (Tukey, 1977). Il est également à noter que des mesures aberrantes poseraient un problème similaire aux données manquantes lors de la mise en place d'une tarification dynamique.

Description des données de consommation

Les Figures 94 à 96 montrent les **consommations journalières d'énergie** dans les trois domaines à analyser (chauffage, ECS et électricité). On observe une **grande hétérogénéité entre les ménages**, ce qui est encourageant en prévision de l'analyse économétrique, puisque c'est précisément grâce à la variabilité qu'il est possible de détecter des relations entre les variables. On note ensuite de la **saisonnalité dans les trois domaines**. C'est évident dans le domaine du chauffage, où la consommation passe de zéro en été à des montants dépassant 30 kWh de moyenne lors de certains jours d'hiver. Même si elle est d'amplitude moindre, **on observe également de la saisonnalité pour l'eau chaude et l'électricité, avec des consommations clairement plus élevées durant les périodes hivernales**. Dans les trois figures, on distingue par endroits des traits horizontaux. Cela correspond aux périodes pour lesquelles les données étaient initialement manquantes et ont été reconstituées de façon uniforme selon la méthode décrite ci-dessus. Les observations relatives aux 33 ménages pour lesquels il est possible de recouper les données de consommation avec les données du questionnaire sont colorées en vert. Cela permet de constater qu'il n'existe pas de différence systématique entre les consommations de l'ensemble des ménages du quartier (en noir) et celles de l'échantillon (en vert). On peut donc considérer que **les ménages pour lesquels on dispose de toutes les informations sont représentatifs de l'ensemble des ménages du quartier**.

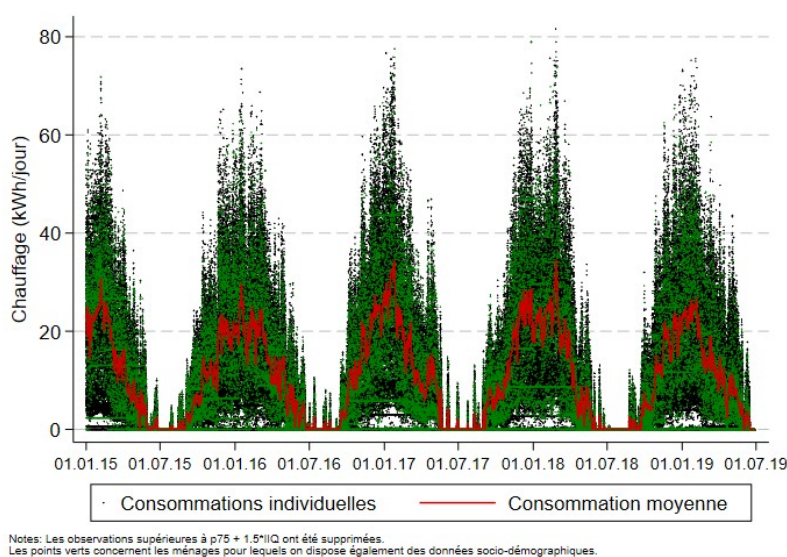


Figure 94 - Consommation de chauffage

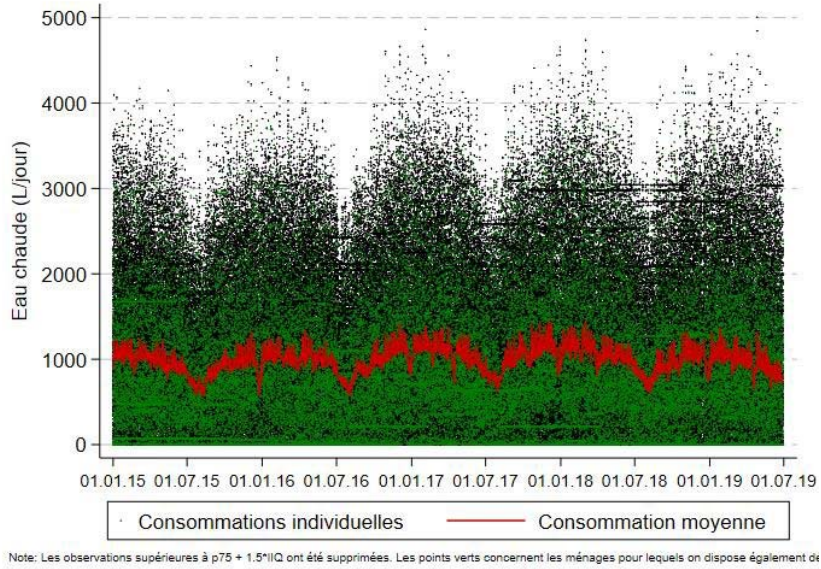


Figure 95 - Consommation d'eau chaude sanitaire

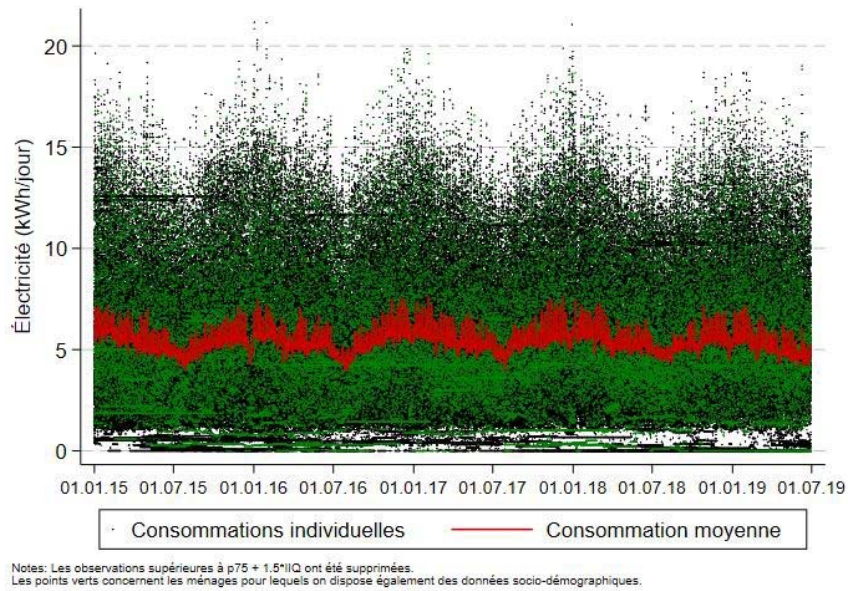


Figure 96 - Consommation d'électricité



Description des variables explicatives

Parmi les facteurs explicatifs des consommations, nous insérons non seulement des **caractéristiques socio-démographiques des ménages** mais également des **éléments techniques liés aux logements et à l'environnement**. Les données socio-démographiques et une partie des caractéristiques des logements ont été collectées directement auprès des ménages via le questionnaire en ligne décrit de manière détaillée dans la section précédente. D'autre part, la surface des logements est disponible directement dans la base de données *eSMART*. Finalement, nous utilisons également des variables relatives à la météo, qui sont mises à disposition par MétéoSuisse (via son portail IDAweb). Les données utilisées sont la **température**, les **précipitations** et l'**ensoleillement** de la station météorologique de Changins/Nyon, qui est située à seulement 5 kilomètres d'Eikenott.

Ces données supplémentaires à celles obtenues au travers du questionnaire nous permettront non seulement de **capturer une partie importante de la saisonnalité** discutée ci-dessus, mais également de réaliser des estimations en mettant de côté les variables socio-démographiques provenant du questionnaire. L'intérêt de réaliser des estimations sans tenir compte des informations provenant du questionnaire est que nous aurons alors la possibilité d'utiliser les données de consommation de la totalité des 226 ménages du quartier équipés de smart meters. De telles analyses servent en même temps de "**test de robustesse**" pour les estimations effectuées sur l'échantillon de 33 ménages.

Étant donné le nombre de ménages analysés, il a fallu opérer des choix quant aux variables explicatives à retenir dans les modèles, puisqu'ajouter un trop grand nombre de variables n'aurait pas de sens dans un tel échantillon. Certaines caractéristiques potentiellement intéressantes ont finalement dû être écartées soit car elles ne présentaient pas suffisamment de variabilité soit car elles étaient trop fortement corrélées avec d'autres (multicolinéarité), ce qui empêchait l'identification simultanées des effets des variables corrélées. Nous n'avons ainsi pas pu intégrer dans les estimations les variables relatives à la disponibilité d'une buanderie commune dans l'immeuble ou à la présence d'un chauffage d'appoint dans le logement car cela ne concernait respectivement que 2 et 4 ménages de l'échantillon. Nous avons également décidé de supprimer la variable distinguant les propriétaires des locataires car cette variable était fortement (et positivement) corrélée avec le revenu, le nombre de personnes dans le ménage et la surface du logement. Nous n'avons pas non plus été en mesure d'intégrer un indice des préoccupations environnementales (voir Maloney & Ward, 1973, et Best & Mayerl, 2013), car le problème provient dans ce cas du nombre de valeurs manquantes : cet indice est en effet construit à partir d'une série de neuf questions, pour lesquelles les répondants indiquent dans quelle mesure ils sont d'accord ou en désaccord sur une échelle allant de 0 (totalement en désaccord) à 4 (tout à fait d'accord). Pour la moitié des répondants, en raison de réponses incomplètes, il était en effet impossible d'obtenir une valeur pour cet indice des préoccupations environnementales.

Le modèle final comprend donc les variables explicatives disponibles qui permettent de capturer une part substantielle de la variabilité entre les ménages et dans le temps. Il s'agit des variables météorologiques (température, précipitations, ensoleillement), d'une variable relative au logement (surface), et de variables socio-démographiques (nombre de personnes dans le ménage, âge du répondant, revenu du ménage, température de confort).



Stratégie économétrique

Les modèles économétriques à estimer sont de la forme suivante :

$$\ln E_{ijt} = \alpha_{jt} + \beta_j X_{it} + \gamma_j Z_i + \delta_j W_i + \eta_j (WZ)_i + u_i + \varepsilon_{ijt} \quad (1)$$

avec E_{ijt} la consommation d'énergie par le ménage i à l'instant t dans le domaine j , X_{it} les caractéristiques variables avec le temps, Z_i les caractéristiques sociodémographiques du ménage, W_j les caractéristiques du logement, α_{jt} des effets fixes, u_i l'effet aléatoire propre au ménage, et ε_{ijt} un terme d'erreur idiosyncratique. Les paramètres du modèle représentent les effets (en termes de semi-élasticités) des variables correspondantes. En particulier, **un signe négatif représente un effet d'efficacité ou de sobriété alors qu'un signe positif représente un effet pervers**. Notre hypothèse de départ est que la composante technique est captée par les variables techniques explicatives et que la composante technique/usage est représentée par les variables explicatives interagies technique-usages. L'écart restant est en partie expliqué par les facteurs humains observés dans le modèle et en partie par le terme aléatoire spécifique au ménage.

Un autre type de modèle envisagé afin **d'estimer les écarts de performance énergétique pour chaque ménage ainsi que les facteurs ayant une influence sur ces écarts sont les *stochastic frontier models*** (voir Kumbhakar & Lovell 2000). Sur la base de ces modèles, on peut en effet déterminer une frontière d'efficacité indiquant la consommation relative minimale qu'un ménage pourrait atteindre en fonction des éléments techniques de son logement, sachant que la frontière d'efficacité absolue n'est pas estimée, car elle serait déterminée par la consommation théorique minimale que nous devrions observer si les ménages se comportaient d'une manière optimale. **La distance de chaque ménage par rapport à cette frontière peut également être déterminée et interprétée comme l'écart de performance énergétique**. La forme générique du *stochastic frontier model* est la suivante :

$$\ln E_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{jit} + u_i + v_{it} \quad (2)$$

où E_{it} est la consommation d'énergie par le ménage i à l'instant t , les x sont les éléments techniques du logement, $u_i \sim N^+(0, \sigma^2_u)$ est le terme d'inefficience et est distribué selon une loi demi-normale, et v_{it} est un terme d'erreur idiosyncratique. Sur la base de cette régression, il est donc possible d'obtenir une estimation du terme d'inefficience pour chaque ménage (\hat{u}_i). L'écart de performance énergétique peut ensuite être utilisé comme variable dépendante d'une nouvelle régression, afin de déterminer quelle sont les caractéristiques socio-démographiques du ménage qui l'influencent :

$$\hat{u}_i = \alpha_0 + \sum_{j=1}^k \alpha_j w_{ji} + \varepsilon_i \quad (3)$$

où \hat{u}_i est le terme d'inefficience estimé grâce à l'équation (2) pour le ménage i et w sont les caractéristiques socio-démographiques du ménage.

L'approche SFA est illustrée schématiquement dans la **Figure 92** qui représente la consommation d'énergie E (par exemple dans le domaine du chauffage) en fonction d'une caractéristique du logement x (par exemple la surface habitable). Les points représentent des observations (fictives) et la courbe bleue représente la frontière d'efficacité qui serait atteinte par les ménages les moins gourmands en termes d'énergie. La plupart des ménages sont placés au-dessus de la frontière, indiquant que l'on s'attend à ce que la majorité d'entre eux possèdent une marge d'amélioration en ce qui concerne leur consommation



d'énergie. À noter que cette méthodologie n'exclut pas formellement que certaines observations se situent en-dessous de la frontière, comme illustré par l'observation 2 (en vert) dans la **Figure 92**. En effet, puisque le modèle comporte un élément aléatoire (v), il est possible que cet élément soit suffisamment négatif pour qu'une observation se situe en-dessous de la frontière. Le terme mesurant l'inefficacité (u) en revanche est par définition toujours positif. C'est cet élément qui permet de caractériser l'efficacité de chaque ménage et de les comparer entre eux.

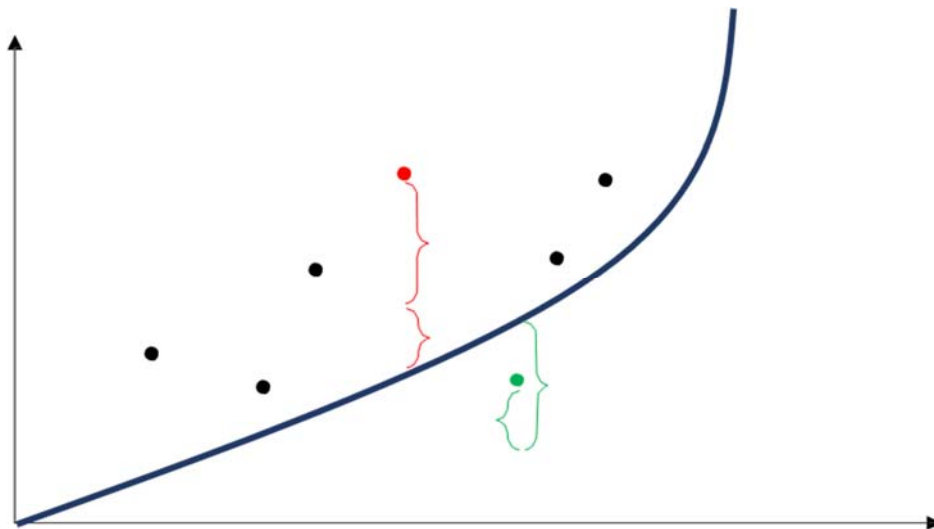


Figure 92 : Représentation schématique d'une frontière stochastique

Résultats empiriques : Modèles à effets aléatoires

Le **Tableau 11** présente les résultats des estimations économétriques basées sur l'équation (1) et en prenant chaque type d'énergie de manière séparée. Afin de pouvoir fournir des résultats comparables entre les différents types d'énergies (chauffage, eau chaude sanitaire et électricité), qui sont mesurés dans des unités différentes et dont les niveaux sont très différents, les variables dépendantes ont été transformées en logarithmes. Ainsi, les coefficients peuvent être interprétés comme des semi-élasticités ou des élasticités lorsque la variable indépendante est également transformée en logarithmes. C'est-à-dire que les coefficients indiquent la variation de la consommation en pourcentage associée avec une variation d'une unité de la variable indépendante. Afin de ne pas perdre toutes les observations pour lesquelles la consommation est nulle, c'est en fait le logarithme de la consommation augmentée d'une unité ($\ln(E+1)$) a été utilisé.

Afin d'isoler les effets de chaque bloc de variables (météo, logement, socio-démographiques), chacun de ces blocs a été tout d'abord introduit séparément dans les régressions. Les colonnes (1)-(3) ne contiennent ainsi que des variables relatives à la météo, les colonnes (4)-(6) ne contiennent que la surface du logement, et les colonnes (7)-(9) ne contiennent que les variables socio-démographiques. Finalement, les colonnes (10)-(12) contiennent toutes ces variables simultanément.



Cette analyse met en évidence que le pouvoir explicatif est nettement différent entre les blocs de variables et les types de consommations. En effet, on remarque que le coefficient de détermination (R^2) varie entre 63% pour la chaleur lorsque les variables météorologiques sont introduites seules (colonne (1)) et une valeur inférieure à 10^{-3} lorsque les variables socio-démographiques sont les seuls déterminants du modèle (colonnes (7) à (9)).

Parmi les variables météorologiques, toutes sont fortement significatives et vont dans la direction attendue. Pour tous les types de consommation d'énergie, une augmentation de la température extérieure ou de l'ensoleillement engendre une réduction de la consommation, alors qu'une augmentation des précipitations engendre une augmentation de la consommation. On constate logiquement que l'impact le plus marqué est celui de la température extérieure sur le chauffage, puisqu'**une hausse d'un degré est associée avec une réduction de consommation d'énergie liée au chauffage de l'ordre de 14%**. Il est logique d'obtenir des résultats très significatifs, étant donné que les consommations d'énergie et les variables météo sont liées par des lois physiques.

Considérée de manière isolée, la surface du logement semble exercer un impact positif sur l'ensemble des consommations d'énergie. Cet impact apparaît cependant comme non-significatif pour la consommation de chauffage. **Chaque augmentation de 10 m² de la surface du logement est associée avec une consommation d'eau chaude et d'électricité plus élevée d'environ 6% chacune.** Ici, serait intéressant de pouvoir prendre en compte l'emplacement du logement à l'intérieur du bâtiment. Dans des bâtiments de hautes performances énergétiques, l'enveloppe périphérique est en effet très performante, ce qui permet la transmission de chaleur entre les appartements. L'emplacement d'un appartement à l'intérieur du bâtiment est donc stratégique en ce qui concerne la consommation de ce dernier.

Parmi les variables socio-démographiques, peu ressortent comme étant statistiquement significatives. Pour la consommation de chaleur, seul l'âge apparaît comme déterminant. Pour tenir compte de possibles non-linéarités dans cette relation, une forme quadratique a été utilisée. Il semble donc que **la consommation de chauffage augmente avec l'âge, mais seulement jusqu'aux alentours de 50 ans, lorsque la consommation liée à la production de chaleur atteint son maximum.** Il faut de plus remarquer que quelques ménages parmi les tranches d'âge intermédiaires poussent encore la température de leur logement en y ajoutant des chauffages d'appoint électriques (4 ménages), de sorte que leur consommation de chaleur est encore plus importante qu'elle n'apparaît au travers de ces résultats. **Dans le domaine de la consommation d'eau chaude sanitaire, c'est le nombre de personnes composant le ménage qui apparaît comme déterminant.** Cette consommation est en effet largement supérieure (de près de 70%) parmi les ménages composés de trois personnes ou plus par rapport à ceux de deux personnes ou moins. De plus, **il existe un lien entre l'ECS et la surface du logement (environ 6% d'augmentation de la consommation pour chaque augmentation de 10 m²)** : dans des logements neufs, il paraît logique d'avoir des logements adaptés à la constitution familiale. Ce n'est que lorsque que les enfants seront sortis de la famille que l'on pourrait observer des logements trop grands par rapport au nombre de personnes. **Il en va de même pour la consommation d'électricité, qui est mesurée comme étant 21% supérieure dans les grands ménages.**



- **La consommation d'énergie se caractérise par des économies d'échelle : la consommation augmente de manière moins que proportionnelle à la taille du ménage.** En effet, une augmentation de 50% de la taille du ménage (de deux à trois personnes) n'entraîne qu'une augmentation négligeable de la consommation de chaleur et d'environ 20% de la consommation d'électricité. En matière de **consommation d'eau chaude**, il apparaît en revanche que **la consommation est relativement proportionnelle à la taille du ménage**, ce qui revient à dire que chaque personne consomme une quantité relativement semblable.
- **Par rapport à la taille du logement, les résultats parlent également en faveur d'économies d'échelle.** Une augmentation de 10 m² correspond en moyenne à une augmentation de 10% de la surface des logements (le logement moyen de notre base de données est de 98.6 m²). Or, cette augmentation n'entraîne qu'un accroissement de 6% de la consommation d'eau chaude et d'électricité, et encore moins en matière de chauffage.

Les autres variables explicatives ne semblent pas exercer d'impact sur la consommation. Le revenu du ménage, bien qu'étant lié aux consommations par des coefficients légèrement positifs, apparaît comme non-significatif dans toutes les estimations. De même, la température de confort (déclarée par les répondants lors du sondage) n'apparaît jamais comme un déterminant significatif de la consommation d'énergie.

L'ensemble de ces remarques ne changent pratiquement pas lorsque les trois blocs de variables sont intégrés simultanément dans le même modèle. Cela aurait été étrange de trouver d'autres résultats, compte tenu du fait que les variables explicatives ont été sélectionnées en supprimant celles qui étaient corrélées entre elles. Ainsi, les variables météorologiques conservent leur impact fortement significatif et l'ampleur des coefficients est très stable. Le coefficient de la surface du logement reste positif et significatif dans les estimations concernant l'eau chaude et l'électricité, de même que celui des ménages avec trois personnes ou plus. L'âge du répondant conserve quant à lui un léger effet significatif sur la consommation de chauffage, bien que le seuil de significativité soit plus faible que dans les estimations comprenant moins de variables explicatives.



Tableau 11 - Estimations économétriques des déterminants de la consommation d'énergie

	(1) Chaleur [ln(kWh)]	(2) Eau chaude Ln([m³])	(3) Électricité [ln(kWh)]	(4) Chaleur [ln(kWh)]	(5) Eau chaude [ln(m³)]	(6) Électricité [ln(kWh)]	(7) Chaleur [ln(kWh)]	(8) Eau chaude [ln(m³)]	(9) Électricité [ln(kWh)]	(10) Chaleur [ln(kWh)]	(11) Eau chaude [ln(m³)]	(12) Électricité [ln(kWh)]
Température extérieure (°C)	-0.137*** (0.002)	-0.023*** (0.002)	-0.005*** (0.001)	-	-	-	-	-	-	-0.139*** (0.005)	-0.030*** (0.007)	-0.006*** (0.002)
Précipitations (cm/jour)	0.044*** (0.003)	0.008 (0.007)	0.004*** (0.002)	-	-	-	-	-	-	0.048*** (0.007)	-0.021 (0.015)	-0.001 (0.005)
Ensoleillement (h/jour)	-0.006*** (0.001)	-0.002 (0.002)	-0.003*** (0.000)	-	-	-	-	-	-	-0.008*** (0.002)	-0.004 (0.004)	-0.004*** (0.002)
Surface du logement (10 m²)	-	-	-	0.014 (0.014)	0.057*** (0.020)	0.057*** (0.007)	-	-	-	-0.021 (0.032)	0.063** (0.027)	0.056*** (0.012)
Taille du ménage: 3 ou +	-	-	-	-	-	-	0.015 (0.173)	0.672*** (0.232)	0.207** (0.099)	0.026 (0.180)	0.684*** (0.233)	0.163* (0.090)
Âge (10 ans)	-	-	-	-	-	-	1.352** (0.654)	-0.321 (0.880)	-0.190 (0.469)	1.209* (0.622)	-0.435 (0.744)	-0.221 (0.375)
Âge²	-	-	-	-	-	-	-0.141** (0.072)	0.023 (0.100)	0.018 (0.052)	-0.127* (0.069)	0.038 (0.085)	0.022 (0.044)
Revenu (en logarithme)	-	-	-	-	-	-	0.240 (0.199)	0.386 (0.367)	0.134 (0.150)	0.235 (0.204)	0.380 (0.376)	0.139 (0.175)
Température de confort (°C)	-	-	-	-	-	-	-0.050 (0.050)	-0.029 (0.043)	0.020 (0.026)	-0.031 (0.046)	-0.039 (0.042)	0.015 (0.025)
Constante	3.275*** (0.048)	6.211*** (0.064)	1.779*** (0.024)	1.621*** (0.136)	5.375*** (0.199)	1.148*** (0.072)	-2.399 (2.424)	3.579 (3.299)	0.475 (1.678)	-0.646 (2.334)	3.730 (3.125)	0.127 (1.621)
# Obs.	343,979	349,519	348,752	340,737	346,256	345,547	41,249	42,490	41,589	39,627	40,855	39,950
# Ménages	226	226	226	224	224	224	33	33	33	32	32	32
R² within	0.634	0.008	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.683	0.014	0.015

Notes : * / ** / *** dénote un seuil de significativité statistique de 10/5/1%. Erreurs standard robustes (clusters au niveau des ménages) entre parenthèses. Les variables dépendantes sont toutes transformées en logarithmes ($\ln(E + 1)$), donc les coefficients peuvent être interprétés comme des semi-élasticités (ou des élasticités lorsque la variable indépendante est également transformée en logarithmes). Pour finir sur ce tableau, nous observons encore la perte de significativité de la constante dans le modèle complet, cela est expliqué par l'utilisation de toutes les variables explicatives qui incorporent, dans le modèle complet, l'explicativité prise, dans les modèles partiels, par la constante.



Le **Tableau 12** présente une analyse similaire, mais avec **toutes les consommations regroupées en une seule variable dépendante**. Afin de tenir compte des différences entre les trois domaines de consommation, le modèle comprend désormais des effets fixes par domaine (et les consommations sont toujours mesurées en logarithmes, ce qui permet d'interpréter les différences comme des pourcentages). Hormis les effets fixes, **les variables explicatives sont les mêmes qu'auparavant**. L'hypothèse implicite de ce modèle est donc que l'effet des autres variables est constant entre les domaines. **Cette façon de faire permet d'asseoir la stabilité des estimations puisque le nombre d'observations augmente substantiellement**. Les résultats des estimations groupées corroborent largement ceux qui ont été discutés précédemment. De manière globale, **la consommation d'énergie des ménages apparaît donc comme étant largement influencée par les conditions météorologiques**. **Lorsque la température extérieure baisse d'un degré, la consommation d'énergie augmente d'environ 6%**. Les précipitations entraînent une légère augmentation alors que l'ensoleillement entraîne une légère réduction de consommation. **Les caractéristiques du logement, ici capturées uniquement par sa surface, sont importantes**. **Toute augmentation de 10 m² de la surface du logement est associée avec une augmentation de 5% de la consommation d'énergie**. Parmi les caractéristiques socio-démographiques, **seule la taille du ménage apparaît comme significative, les grands ménages consommant 22% de plus que les plus petits**. L'âge et le revenu ont tous deux un impact positif, mais même si leur coefficient est d'ampleur relativement élevée, il n'est pas précisément estimé et on ne peut pas affirmer qu'il soit statistiquement différent de zéro.

	(1)	(2)	(3)	(4)
Température extérieure (°C)	-0.054*** (0.001)	-	-	-0.057*** (0.003)
Précipitations (cm/jour)	0.018*** (0.003)	-	-	0.014** (0.006)
Ensoleillement (h/jour)	-0.003*** (0.001)	-	-	-0.004** (0.002)
Surface du logement (10 m ²)	-	0.049*** (0.010)	-	0.048*** (0.015)
Taille du ménage: 3 ou +	-	-	0.241* (0.124)	0.220* (0.123)
Âge (10 ans)	-	-	0.666 (0.525)	0.629 (0.452)
Âge ²	-	-	-0.078 (0.058)	-0.073 (0.049)
Revenu (en logarithme)	-	-	0.225 (0.155)	0.227 (0.168)
Température de confort (°C)	-	-	-0.028 (0.033)	-0.034 (0.034)
Effet fixe: eau chaude	4.225*** (0.065)	4.221*** (0.065)	4.128*** (0.151)	4.110*** (0.155)
Effet fixe: électricité	-0.024 (0.035)	-0.026 (0.035)	-0.021 (0.104)	-0.024 (0.108)
Constante	2.375*** (0.036)	1.273*** (0.100)	-1.120 (1.598)	-0.772 (1.578)
# Obs.	1,110,457	1,100,612	161,645	156,723
# Ménages	226	224	33	32
R ² within	0.666	0.639	0.646	0.676

Tableau 12 - Estimations économétriques des déterminants de la consommation d'énergie

Notes: */**/** dénote un seuil de significativité statistique de 10/5/1%. Erreurs standard robustes (clusters au niveau des ménages) entre parenthèses. Les variables dépendantes sont toutes transformées en logarithmes ($\ln(E+1)$), donc les coefficients peuvent être interprétés comme des semi-élasticités (ou des élasticités lorsque la variable indépendante est également transformée en logarithmes).



Résultats empiriques : Stochastic frontier model

Dans un deuxième type d'analyse, nous appliquons des modèles à frontière stochastique (*stochastic frontier model*) tels que décrits par l'équation (2). Nous nous focalisons dans ce cas sur les ménages pour lesquels nous disposons de toutes les données, c'est-à-dire un **échantillon de 32 ménages** (parmi les 33 ménages pour lesquels nous avons à la fois les données de consommations et les données socio-démographiques, il est un ménage pour lequel la surface du logement est manquante).

Dans la première partie de cette analyse, présentée dans le **Tableau 13**, nous effectuons des estimations basées sur l'équation (2) pour chaque domaine séparément. Ces estimations ne comportent que des variables relatives aux conditions météorologiques et aux caractéristiques du logement et visent à déterminer l'efficacité (ou inefficacité) de chaque ménage par rapport à une frontière. Ce que ce modèle permet d'obtenir en plus du précédent est donc une **estimation de l'inefficacité de chaque ménage**, que l'on suppose invariable pour un ménage tout au long de la période d'observation mais propre à chaque domaine de consommation d'énergie.

Les coefficients du **Tableau 13** sont très similaires à ceux obtenus dans l'analyse précédente, et il n'est par conséquent pas nécessaire de revenir sur chacun d'entre eux. La différence réside finalement dans le terme d'erreur, qui est désormais décomposé en deux éléments : u , qui est le terme d'inefficacité distribué selon une loi semi-normale, et v , qui est un terme idiosyncratique distribué selon une loi normale. Les déviations standard de ces deux termes d'erreur sont reportées dans le **Tableau 13**, afin de fournir une mesure de leur importance. On remarque que la déviation standard du terme d'inefficacité correspond à une fraction s'élevant 76/37/64% de la déviation standard du terme idiosyncratique. Cela signifie que, **même en tenant compte des différences d'efficacité entre les ménages, cela ne permet pas toujours d'expliquer une grande partie des consommations entre eux**. Une bonne partie des différences reste en effet non-expliquée, ce qui transparaît dans ce modèle dans la variabilité importante du terme idiosyncratique.

	(1) Chaleur [ln(kWh)]	(2) Eau chaude [ln(m ³)]	(3) Électricité [ln(kWh)]
Température extérieure (°C)	-0.139*** (0.001)	-0.030*** (0.002)	-0.006*** (0.000)
Précipitations (cm/jour)	0.048*** (0.006)	-0.021 (0.017)	-0.001 (0.004)
Ensoleillement (h/jour)	-0.008*** (0.001)	-0.004 (0.003)	-0.004*** (0.001)
Surface du logement (10 m ²)	-0.025 (0.036)	0.080* (0.042)	0.060*** (0.018)
Constante	2.141*** (0.662)	3.509*** (0.601)	0.498** (0.231)
# Obs.	39,627	40,855	39,950
# Ménages	32	32	32
LogL	-42,491.5	-84,529.2	-25,434.9
std(u)	0.533	0.698	0.292
std(v)	0.705	1.912	0.456

Tableau 13 - Estimations de la frontière efficiente

Notes: */**/** dénote un seuil de significativité statistique de 10/5/1%. Erreurs standard entre parenthèses. Les variables dépendantes sont toutes transformées en logarithmes (ln(E+1)), donc les coefficients peuvent être interprétés comme des semi-élasticités (ou des élasticités lorsque la variable indépendante est également transformée en logarithmes).



Grâce aux estimations du **Tableau 14**, il est possible d'obtenir **une estimation de l'inefficience de chaque ménage et pour chaque type de consommation**. Ces inefficiences sont représentées dans la **Figure 97**, qui permet de constater qu'il **existe une grande dispersion des ménages**, certains étant proches de 0 (ménages efficaces) mais d'autres obtenant des valeurs relativement élevées (ménages inefficients). Il est à remarquer que la dispersion des termes d'inefficience dépend du type de consommation.

De manière cohérente avec les déviations standard observées dans chaque domaine, on constate que les écarts entre les ménages les plus et les moins efficaces sont relativement faibles pour l'électricité, mais plus importants pour la chaleur et surtout pour l'eau chaude.

Ainsi, cela indique que les écarts de performance, ou autrement dit les gains d'énergie qui pourraient être réalisés, sont surtout élevés dans pour l'eau chaude et le chauffage, mais moins pour l'électricité.

Un autre élément intéressant qui émane de la **Figure 97** concerne le classement des ménages dans les différents domaines de consommation. En effet, **les ménages relativement efficaces dans un domaine sont souvent les plus efficaces dans les autres domaines**. Cela est illustré par les droites de régression superposées aux nuages de points, et dont les pentes sont toutes positives et montrent que les corrélations entre les termes d'inefficience sont positives. La relation entre les termes d'inefficience pour l'eau chaude et l'électricité est particulièrement marquée. Ce résultat corrobore en quelque sorte celui de Jessoe et al. (2017), qui ont montré que fournir des messages d'information relatifs à la consommation d'eau avait non seulement un impact sur la consommation d'eau, mais également sur la consommation d'électricité, soit des **effets dits de *spillovers***.

Globalement, on peut donc dire qu'il existe des ménages globalement performants et d'autres qui le sont moins. En termes de politique économique, cela implique que cibler les "mauvais" ménages (plutôt qu'un type précis de consommation) pourrait permettre de réduire la consommation de manière substantielle.

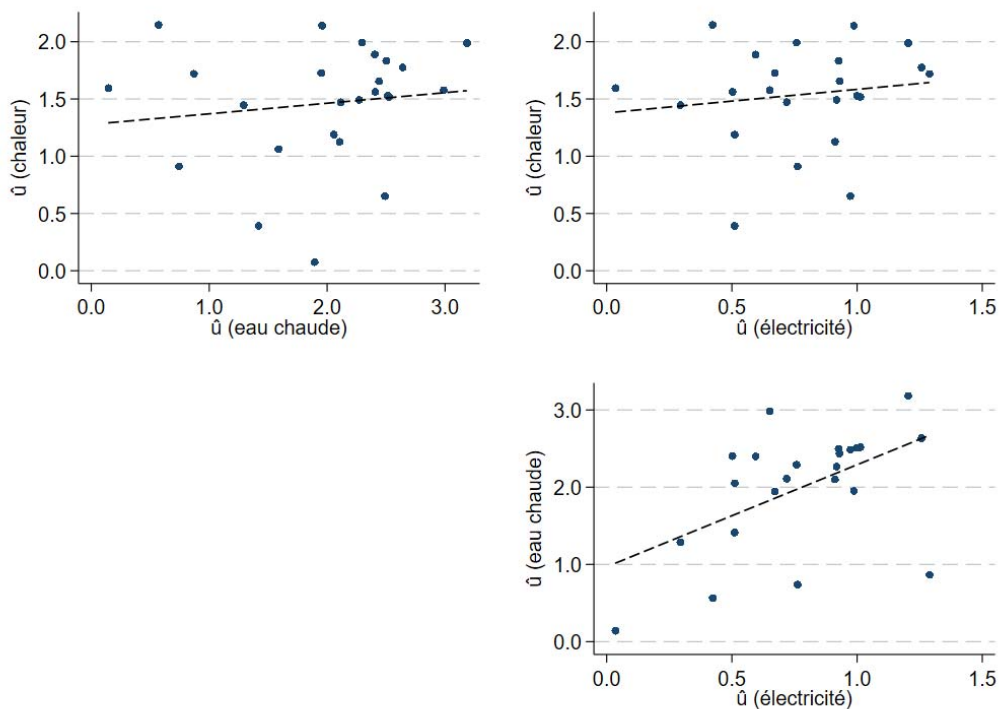


Figure 97 - Représentation schématique d'une frontière stochastique



Le **Tableau 14** montre comment les caractéristiques socio-démographiques d'un ménage influencent son inefficience (équation (3)). Les trois domaines de consommation d'énergie sont, comme dans l'analyse précédente, groupées en une seule estimation qui comporte des effets fixes afin de tenir compte de possibles différences entre eux. À nouveau, **c'est la taille du ménage qui ressort comme l'élément le plus marquant**. Le revenu, bien que non-significatif statistiquement parlant, possède un coefficient d'une certaine ampleur. **Ces deux caractéristiques identifient par conséquent les ménages dans lesquels les gains potentiels sont les plus élevés**. De plus, comme le montrent les effets fixes par domaine dans cette régression, **les gains le plus substantiels pourraient être obtenus grâce à des réductions de la consommation d'eau chaude. Des économies importantes seraient également possibles en matière de chauffage. L'électricité apparaît en revanche comme moins propice aux économies d'énergie**.

Taille du ménage: 3 ou + (0.134)	0.372***
Âge (10 ans) (0.486)	0.035
Âge2 (0.055)	-0.008
Revenu (en logarithme) (0.181)	0.272
Température de confort (°C) (0.034)	-0.040
Effet fixe: eau chaude (0.151)	0.512***
Effet fixe: électricité (0.155)	-0.693***
Constante (1.877)	-0.397
<hr/>	
# Obs.	73
R2	0.535
<hr/>	

Notes: */**/** dénote un seuil de significativité statistique de 10/5/1%. Erreurs standard entre parenthèses.

Tableau 14 - Déterminants de l'inefficience



3.3 Mise en place d'un processus Living Lab dans le quartier

La présentation des résultats se fait dans un ordre logique et linéaire en partant de l'analyse de la thermique d'un bâtiment, à l'analyse socio-démographique et économétrique. Des écarts de performance dans le domaine du chauffage ont été identifiés (17%) ce qui n'est pas le cas pour le domaine de la consommation électrique (-16%). La situation idéale aurait été de pouvoir obtenir le résultat des analyses précédentes de manière séquentielle puis de démarrer le co-design des interventions. Malheureusement, la réalité du terrain, de la difficulté de collecte, d'extraction et de croisement des données a nécessité de faire des hypothèses sur les écarts de performance pour alimenter le processus de co-design d'intervention. Il y a donc un décalage entre les analyses précédentes et les pistes d'action en termes d'interventions proposées. Ce n'est pas limitant car les pistes d'interventions peuvent inspirer d'autres cas d'étude.

Une thèse de doctorat s'est donc concentrée sur l'apport de la méthode Living Lab dans le domaine de la consommation d'énergie (Mastelic, 2019). Un processus a été développé et il a été déployé dans le quartier. L'idée qui sous-tend ce laboratoire vivant est qu'un plan d'efficacité énergétique pour réduire l'écart de performance sera mieux accepté s'il est co-développé par toutes les parties prenantes clés.

Résultats de l'identification des parties prenantes (Tâche 3.1)

Le travail de compréhension des acteurs en présence dans le quartier à haute performance énergétique commence par un **listing des parties prenantes** (Bryson, 2004). Puis ils sont répartis sur une **matrice pouvoir/intérêt** (Eden & Ackermann, 1998). Cette matrice sert à comprendre qui a le pouvoir d'agir sur l'écart de performance et qui a un intérêt à le faire. Elle est réalisée en deux temps : les chercheurs posent des hypothèses sur le pouvoir et sur l'intérêt des parties prenantes à réduire l'écart de performance. Puis lors d'entretiens qualitatifs, on regarde la perspective des divers acteurs (locataires, propriétaires, régies, distributeur d'énergie, commerçants...) sur leur niveau de pouvoir et d'intérêt.

19 entretiens qualitatifs ont été réalisés dans le quartier en automne 2017. Ils viennent compléter les **40 entretiens qualitatifs qui avaient été réalisés lors de l'enquête de satisfaction dans le quartier en 2015**. Les résultats sont similaires à la première étude réalisée par la même équipe de recherche. Comme souvent dans ce type d'étude sur la consommation énergétique, le pouvoir de réduire les consommations est reporté sur une autre partie prenante, personne ne se sentant totalement maître des consommations. C'est peut-être lié à la complexité du système énergétique qui est un système sociotechnique et qui combine donc les deux dimensions. C'est pour cela que nous analysons dans cette étude à la fois la dimension technique et la dimension humaine.



À partir des 19 entretiens qualitatifs, une matrice pouvoir/intérêt a pu être construite. Elle est présentée dans la **Figure 98**.

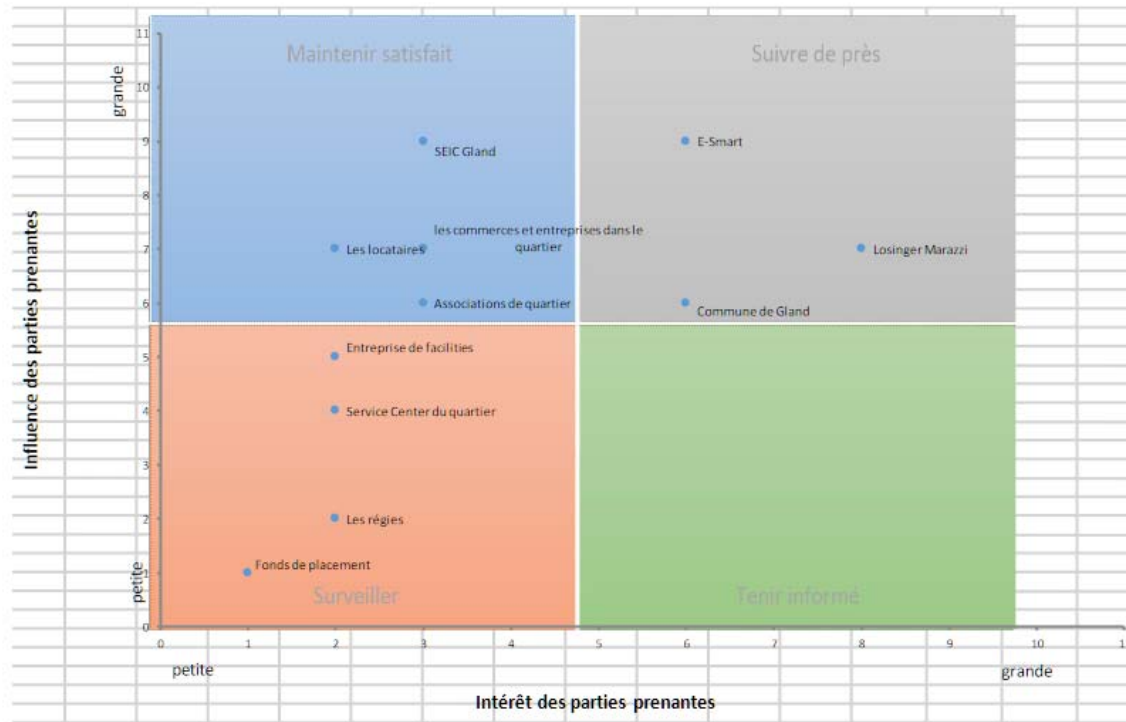


Figure 98 - Matrice pouvoir / intérêt

En premier, les différentes parties prenantes ont été regroupées dans un fichier Excel, puis disposées sur la matrice. Cette matrice a pour but de « catégoriser » les parties prenantes par groupe cible. Chaque groupe de parties prenantes doit ensuite être soit « maintenus satisfaits », « suivis de près », « surveillé » ou simplement être « tenus informés ». Il est donc possible ensuite d'entreprendre différentes actions allant dans ce sens, et de savoir comment réagir avec les différentes parties prenantes, en fonction de leurs divers besoins. Nous constatons donc dans ce schéma que les habitants du quartier doivent être maintenus satisfaits. L'analyse détaillée des acteurs figure dans les pages suivantes.

Projet UserGap – HES-SO Valais – Les menaces dans

Parties prenantes	Caractéristiques	Rôle pour le projet	Impact sur le projet	Impact potentiel pour la suite	Intensité de l'intérêt	Intensité du pouvoir
Les locataires	Ils louent un appartement par choix ou par défaut dans le quartier. Ils ne connaissent pas forcément toutes les informations liées au quartier	Co-crédation et mise en place de mesures permettant la réduction de la consommation énergétique	Degré de motivation et de participation pour la co- création et à l'implémentation des mesures	Implémentati on à longs termes des mesures d'économies d'énergie	2	7
Les propriétaires	Ils ont acheté un appartement dans le quartier. Ils avaient toutes les informations lors de l'achat	Co-crédation et mise en place de mesures permettant la réduction de la consommation énergétique	Degré de motivation et de participation pour la co- création et à l'implémentation des mesures	Implémentati on à longs termes des mesures d'économies d'énergie	3	7
Les régies	Sont responsables de louer des appartements qu'ils gèrent pour des fonds d'investissements.	Peuvent influencer la perception du quartier lors de la location du bien	Description du quartier aux futurs locataires		2	2
Entreprise de facilities	Gère le nettoyage, les petites réparations dans le quartier, le déblayage, etc.	Responsable de l'entretien du quartier. Peut aussi être un interlocuteur important pour les habitants en cas de problèmes.	Interlocuteur potentiel pour les habitants en cas de problèmes avec certains services énergétiques		2	5
les commerces et entreprises dans le quartier	ont décidé de localiser leur commerces ou entreprises dans le quartier			Implémentati on à longs termes des mesures d'économies d'énergie	3	7
SEIC Gland	Gère la fourniture électrique du quartier	Mise à disposition des données de consommation	Mise à disposition des données de consommations		3	9
-Smart	Fournisseur de l'application pour tablette permettant de gérer plusieurs facettes de l'appartement.	Mise à disposition des données de consommation	Mise à disposition des données du smart meter	Amélioration de la plateforme	6	9
Losinger Marazzi	Constructeur du quartier	Participant au proejets, diffusion des résultats au sein du groupe, mise à disposition de 2 quartiers	Mise à disposition des quartiers et diffusion des résultats	Implémentati on des recommandati ons dans les futurs quartiers durables	8	7
Fonds de placement	Ont placé une partie de leur capital dans un ou plusieurs immeubles du quartier.				1	1
Commune de Gland	La commune a élargi son offre en logement				6	6
Associations de quartier	Essaie de fédérer les habitants du quartier et de l'animer.	Fédération des habitants et soutien pour la co- création de mesures	Implication des habitants d'Eikenott dans le projet		3	6
Service Center du quartier	Permet de rendre service aux habitants du quartier et de solutionner des problèmes				2	4

Projet UserGap – HES-SO Valais – Les menaces dans

Parties prenantes	Caractéristiques	Rôle pour le projet	Impact sur le projet	Impact potentiel pour la suite	Intensité de l'intérêt	Intensité du pouvoir
Les locataires	Ils louent un appartement par choix ou par défaut dans le quartier. Ils ne connaissent pas forcément toutes les informations liées au quartier	Co-création et mise en place de mesures permettant la réduction de la consommation énergétique	Degré de motivation et de participation pour la co-création et à l'implémentation des mesures	Implémentation à longs termes des mesures d'économies d'énergie	2	7
Les propriétaires	Ils ont acheté un appartement dans le quartier. Ils avaient toutes les informations lors de l'achat	Co-création et mise en place de mesures permettant la réduction de la consommation énergétique	Degré de motivation et de participation pour la co-création et à l'implémentation des mesures	Implémentation à longs termes des mesures d'économies d'énergie	3	7
Les régies	Sont responsables de louer des appartements qu'ils gèrent pour des fonds d'investissements.	Peuvent influencer la perception du quartier lors de la location du bien	Description du quartier aux futurs locataires		2	2
Entreprise de facilités	Gère le nettoyage, les petites réparations dans le quartier, le déblayage, etc.	Responsable de l'entretien du quartier. Peut aussi être un interlocuteur important pour les habitants en cas de problèmes.	Interlocuteur potentiel pour les habitants en cas de problèmes avec certains services énergétiques		2	5
Les commerces et entreprises dans le quartier	ont décidé de localiser leur commerces ou entreprises dans le quartier			Implémentation à longs termes des mesures d'économies d'énergie	3	7
SEIC Gland	Gère la fourniture électrique du quartier	Mise à disposition des données de consommation	Mise à disposition des données de consommations		3	9
E-Smart	Fournisseur de l'application pour tablette permettant de gérer plusieurs facettes de l'appartement.	Mise à disposition des données de consommation	Mise à disposition des données du smart meter	Amélioration de la plateforme	6	9
Losinger Marazzi	Constructeur du quartier	Participant au projets, diffusion des résultats au sein du groupe, mise à disposition de 2 quartiers	Mise à disposition des quartiers et diffusion des résultats	Implémentation des recommandations dans les futurs quartiers durables	8	7
Fonds de placement	Ont placé une partie de leur capital dans un ou plusieurs immeubles du quartier.				1	1
Commune de Gland	La commune a élargi son offre en logement				6	6
Associations de quartier	Essaie de fédérer les habitants du quartier et de l'animer.	Fédération des habitants et soutien pour la co-création de mesures	Implication des habitants d'Eikenott dans le projet		3	6
Service Center du quartier	Permet de rendre service aux habitants du quartier et de solutionner des problèmes				2	4



Construction d'une typologie de consommateurs

Pour mieux comprendre qui se cache derrière les consommations d'énergie, un travail sur la **typologie des habitants** a aussi été réalisé sur la base d'un sondage. La méthode permet de regrouper les profils de consommation similaires sur la base des courbes de charge. Puis on regroupe les profils socio-démographiques similaires et on compare ces deux types de groupement, grâce à des méthodes statistiques pour voir quelles inférences sont possibles. Pour plus de détails, un article scientifique a été présenté à ce sujet (Cimmino, 2017). Une typologie de consommateurs est définie en nous basant sur les données sociodémographiques disponibles pour 69 appartements. A l'aide d'une analyse des correspondances (MCA), 5 groupes de consommateurs ont pu être définis. 36% de la variance peuvent ainsi être expliqués.

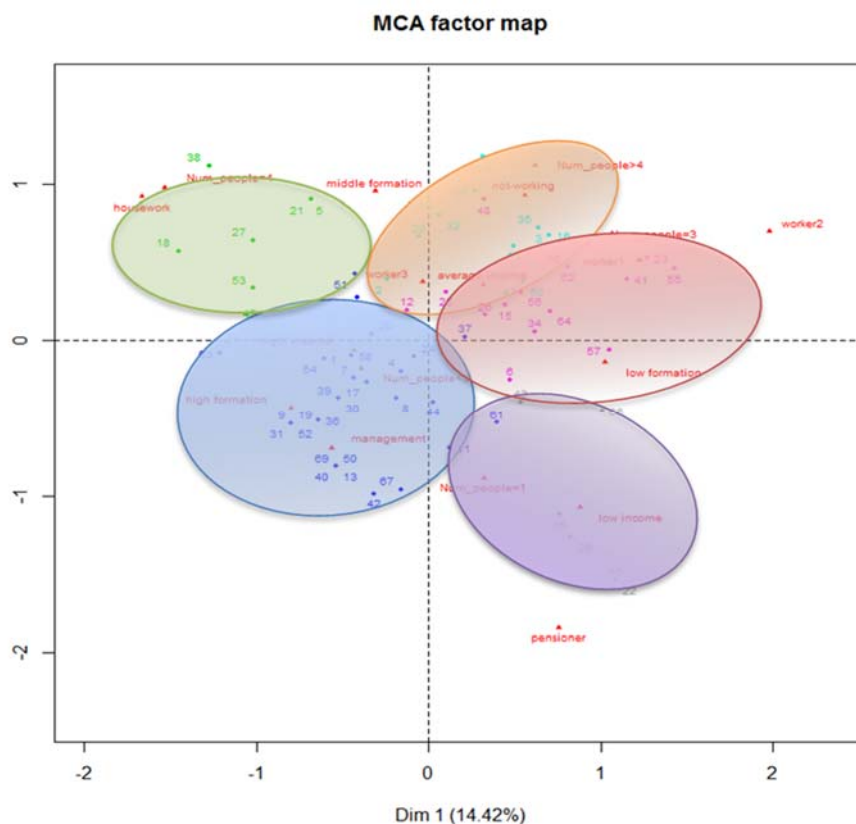


Figure 99 - Analyse des correspondances pour les variables socio-démographiques

Comme le montre la **Figure 99**, la typologie des résidents est composée de cinq groupes et leur interprétation est la suivante :

- Bleu** Ménages ayant une formation supérieure, un revenu plus élevé un travail à responsabilité et un ménage de moins de 3 personnes.
- Orange** Ménages de plus de 4 personnes, d'éducation moyenne et à revenu moyen.
- Vert** Ménages composés de 4 personnes et éducation moyenne.
- Rouge** Ménages ayant un revenu moyen et un faible niveau d'éducation, la plupart d'entre eux sont des travailleurs et ont un noyau familial de trois personnes.
- Violet** Ménages d'une personne, à faible revenu, dont une partie sont des retraités



Nous avons comparé ces classes avec les données de consommation d'électricité. Nous avons privilégié les « clustering » avec les données électriques car la littérature sur le sujet est plus vaste. Cela permet de faire un benchmark avec les autres articles. Pour se faire, les courbes de charge ont été regroupées à l'aide de deux méthodologies différentes : (1) l'approche experte et (2) l'approche statistique :

- (1) **L'approche experte** est basée sur un interview d'experts suisses dans le domaine de l'énergie (3-4 personnes). Les experts ont identifié trois méthodes possibles : la moyenne, le maximum et la durée d'utilisation de la puissance (DUP).
- (2) Pour les **méthodes statistiques**, le paquet TSclust R (Montero & Vilar, 2014) a été choisi, car il est l'un des outils les plus exhaustifs pour le clustering de séries temporelles. La liste des outils est : la distance euclidienne, la distance de déformation dynamique (DWR), la distance de corrélation (Spearman et Kendall), la distance périodogramme et la distance de densité spectrale. L'ensemble de ces modèles est complété par l'analyse de la distance périodique (Dudek et al., 2013) et par la méthodologie SOM (Wehrens, Buydens & autres 2007).

Par la suite, le cluster provenant de MCA a été croisé avec les clusters des courbes de charge dans le tableau suivant. Le chi-carré et le test de Cramer ont été appliqués.

Type de cluster	p-valeur du test χ^2	Phi du test de Cramer
Moyenne	0.20	0.39
Moyenne / Max	0.27	0.40
DUP	0.27	0.40
Moyenne périodique 24	0.36	0.35
SOM	0.06	0.42
Peridogramme	0.15	0.40
Densité spectrale	0.01	0.48
DWR	0.63	0.30
Distance euclidienne	0.09	0.60
Kendal	0.14	0.44
Spearman	0.50	0.32

Tableau 15 - Le paquet TSclust R

Les trois meilleurs modèles expliquant le mieux la consommation en fonction des typologies sont la distance euclidienne, le SOM et la densité spectrale. Le modèle ayant le meilleur Phi est la distance euclidienne.

Les analyses ont été effectuées sur deux jeux de données provenant de fournisseurs différents :

- Les mesures de compteurs de facturation fournies par la SEIC (données mensuelles)
- Les mesures des smart-meters fournies par eSmart (données au quart d'heure)



La cohérence des données entre ces deux jeux de données a été analysée. Dans l'ensemble, les données sont similaires à +/- 5%, cependant, on constate plusieurs interruptions des télémesures ainsi que des remises à zéro, surtout au début de l'occupation du bâtiment (télémesures pas encore au point). Par conséquent, seules les données de eSmart, plus détaillées, ont été utilisées pour l'analyse.

Comme les informations de superficie et de nombre d'habitants n'étaient pas encore disponibles durant cette analyse préliminaire, toutes les mesures ont été agrégées par bâtiment. La moyenne de consommation électrique par appartement a ensuite été extraite. Les résultats de ces moyennes donnent les informations résumées dans le Tableau 16 :

	2014	2015	2016	2017
Consommation moyenne par appartement	1'574	1'808	1'853	2'097
Consommation maximum relevée	3'576	4'006	4'515	5'198
Consommation minimum relevée	308	500	110	548

Tableau 16 - Résumé des relevés de consommation électrique par bâtiment

Les consommations minimums nous donnent une information peu pertinente. En effet, il est très possible que le minimum relevé en 2016 soit dû à un appartement non occupé durant cette période. De plus, les périodes de non-fonctionnement des compteurs peuvent également avoir faussé les données.

Les autres consommations (moyenne et maximum) montrent une consommation électrique relativement faible par appartement. La moyenne correspond à un appartement de 75 à 90 m², avec cuisinière électrique, utilisé par 2 ou 3 personnes. Nous nous attendons donc à des résultats qui seront nettement inférieurs à la norme SIA.

La première étape, nettement plus chronophage que prévue, a été de réunir les informations socio-démographiques pour effectuer les analyses de gap électrique. La réconciliation entre les appartements et les compteurs a également été très complexe, ce qui nous a surpris. Cependant nous disposons à présent du jeu de données suffisant pour effectuer une analyse plus détaillée.

Conclusion sur la typologie des habitants et des courbes de charge

Cette analyse préliminaire a permis de déterminer qu'il est important de **séparer les consommateurs du quartier en groupes cibles**, en fonction de critères socio-démographique afin d'analyser plus finement les consommations. La collecte et l'analyse des données socio-démographiques et leur croisement avec les données de consommation est compliquée car **on doit faire la balance entre les besoins de l'étude et le respect de la vie privée**. Il est important de travailler avec tous les partenaires (distributeur d'énergie, installateur du smart meter, commune, habitants, association de quartier...) pour être capable de collecter les données dans le respect des souhaits des habitants (consentement dans le sondage).



Résultats de la sélection de pratiques (Tâche 3.2)

Cette phase se situe après l'analyse des parties prenantes dans le processus Living Lab Intégré. Il s'agit de centrer les efforts sur quelques pratiques des habitants.

Il semble, suite aux entretiens, qu'il y ait un problème lié au **chauffage** depuis le démarrage du quartier (mis en évidence en 2015 et en 2017). D'une part, le chauffage semble ne pas avoir été réglé au démarrage du quartier. D'autre part, il y a un important problème de communication relevé par les habitants, une partie des habitants n'ayant pas été informés que le quartier était conçu pour offrir 21 degrés dans les appartements. De plus, ils ne comprennent pas l'inertie du bâtiment et ne voient pas de changement quand ils augmentent la température, soit sur le smart meter, soit sur le thermostat. Un problème supplémentaire est lié à l'interface entre la technique et l'humain : le thermostat mentionne 15/20/25 degré or le chauffage ne peut pas monter à plus de 21 degrés dans les appartements, ce qui cause un problème pour les personnes qui ont froid, comme les personnes âgées dans les appartements protégés. Ils se sont équipés de chauffages électriques, ce qui n'est visible que si l'on analyse à la fois la consommation thermique et électrique.

La **ventilation** à double flux pose également problème. Nous avons pu constater durant les entretiens à domicile en 2017 que quelques bouches de ventilation avaient été scotchées. De plus, de nombreux habitants continuent à aérer les pièces en laissant les fenêtres en imposte durant toute la nuit, ce qui peut générer des surconsommations. Ces problèmes sont bien connus et ce qui nous importe dans ce projet, c'est de co-développer des mesures avec les parties prenantes pour contourner ces barrières aux pratiques ayant un fort impact sur la consommation d'énergie et pouvant générer un écart de performance.

Aucun problème n'a été relevé actuellement concernant l'**eau chaude sanitaire**. Quelques adaptations ont été effectuées sur l'infrastructure qui peuvent avoir un impact sur la consommation d'eau chaude comme par exemple l'installation de machines à laver dans les appartements en location, les horaires de la buanderie commune étant considérés comme trop contraignants. Quelques habitants ont également changé leurs mitigeurs avec économiseurs d'eau pour d'autres modèles qui consomment plus d'énergie ou ont installé un pommeau de douche qui consomme également plus.

Concernant la **consommation électrique**, les ménages sont globalement satisfaits de leurs appareils. Certains ont installé des multiprises avec un interrupteur pour chaque appareil. La consommation des radiateurs électriques va bien entendu être mise en avant par les analyses des courbes de charge.

En 2017, nous avons réalisé 19 entretiens qualitatifs avec les parties prenantes clés dans le quartier de Eikenott (Commune de Gland, Distributeur d'énergie, commerces dans le quartier, locataires, propriétaires, régies). Nous avons mis en évidence, grâce aux entretiens qualitatifs les éléments confirmés par les analyses techniques des chapitres précédents (problèmes liés au chauffage et à la ventilation principalement).

L'enquête de satisfaction qui avait été réalisée auprès des habitants en 2014 avec le constructeur avant le démarrage du projet Usergap dans le quartier a comporté un problème majeur : le numéro d'appartement avait été jugé comme une information trop intrusive par le constructeur et avait été supprimée avant l'envoi du questionnaire de satisfaction dans le quartier. Nous n'avons donc pas pu utiliser ces données quantitatives pour faire remonter les données socio-démographiques et nous avons dû re-collecter ces données pour les besoins du projet UserGap à l'aide d'un nouveau sondage séparé dans le quartier de Eikenott en juin 2018. Cela nous a permis de collecter également des données sur la satisfaction des habitants vis-à-vis des services énergétiques et de l'importance qu'ils accordent à ces services. La **Figure 100** représente une matrice importance/satisfaction, qui suit la méthode proposée par Martilla et James (1977). **Cette étape n'était pas prévue et a impacté la durée totale du projet.** Nous avons pu collecter 95 questionnaires auprès des habitants de Eikenott (sur les 400 appartements que compte le quartier) durant le mois de juin 2018.

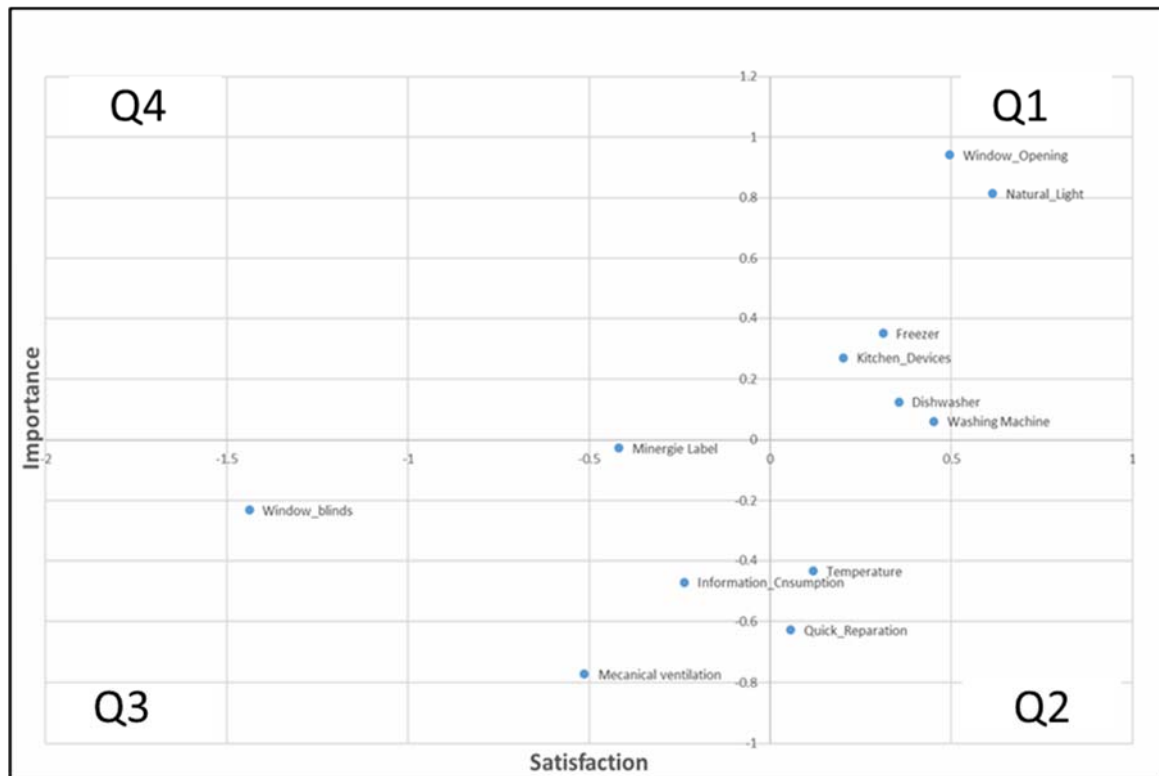


Figure 100 - Matrice importance / satisfaction

Dans le quadrant Q1 de la matrice : on constate que les habitants apprécient le fait de pouvoir **ouvrir les fenêtres** de leurs logements et ils y accordent une grande importance. C'est le facteur le mieux évalué du sondage, tant au niveau de la satisfaction que de l'importance. Ils apprécient également beaucoup la **lumière naturelle** qui est également très importante à leurs yeux. Les différents **appareils ménagers** mis à disposition (congélateur, lave-vaisselle, machine à laver...) semblent également les satisfaire, ils y accordent toutefois une importance moindre.

Dans le quadrant Q2, on constate que deux points sont importants pour les habitants et pour lesquels ils ne sont pas satisfaits : la **température** et les **réparations rapides**. En effet, comme nous l'avons étudié en 2017 grâce aux entretiens qualitatifs, les habitants se plaignent de la température bloquée à 21 degrés. Les personnes âgées en appartements subventionnés par la commune particulièrement. Il semble important, pour éviter que les habitants n'installent des chauffages d'appoints électriques (ce que nous avons pu constater dans les verbatim), de **bien réfléchir au profil d'habitants** (probablement que des personnes âgées, peu mobiles et restant de longues heures à domicile supportent moins bien les températures plus basses) et également à la **manière de communiquer sur la température bloquée** (7 agences immobilières ont communiqué des messages divergents aux habitants par rapport à la température bloquée). Concernant les **réparations rapides**, nous avons également retrouvé des éléments concordants explicatifs dans les entretiens qualitatifs. D'une part, des propriétaires qui avaient un problème avec leur ventilation et qui, après de nombreux contacts avec le constructeur, l'entreprise mandatée pour la ventilation, les services (facility) étaient très mécontents non seulement du défaut mais surtout de la **complexité de trouver le bon interlocuteur**, de la **communication défailante**.



Dans le quadrant Q4, on constate qu'il n'y a pas de service considéré comme moins important en moyenne et qui sont satisfaisants, ce qui est une information importante. Un investissement dans un service qui est satisfaisant mais qui n'est pas jugé comme important par les habitants est en effet inutile.

Le cadrant Q3 concerne les services qui ne sont pas satisfaisants mais qui sont jugés moins importants. Dans ce quadrant, on trouve les **stores, un élément jugé central dans les analyses techniques mais qui n'est pas considéré comme central par les habitants**. La satisfaction est inférieure à la moyenne pour les stores. Le **Label Minergie** est proche de la moyenne en ce qui concerne la satisfaction mais est inférieur à la moyenne de l'importance accordée aux différents services énergétiques. Ce n'est pas une surprise car c'est également un élément qui était ressorti dans les entretiens qualitatifs. En effet, au vu du taux de logement vacants, les habitants du quartier ne possèdent pas forcément des valeurs pro-environnementales, comme décrit dans le sondage. C'est un plus pour une partie des habitants de vivre dans un logement Minergie mais ce n'est pas le cas de tous les habitants. **L'information sur la consommation** d'énergie figure également dans ce cadrant. Nous avons déjà mis en évidence dans les entretiens qualitatifs que les smart meters sont considérés par une partie des habitants comme des « gadgets », l'intérêt porté aux tablettes allant décroissant dans le temps.

Le service qui donne le moins satisfaction du sondage et qui est également jugé comme moins important en moyenne c'est la **ventilation mécanique**. Ce n'est pas une surprise, les discussions durant les entretiens qualitatifs en 2017 ont beaucoup porté sur la ventilation. **Il semble que le débit d'air ne soit pas satisfaisant**. Une des propriétaires avait même collé un ruban sur la bouche d'aération pour voir si le ruban bougeait (resp. si de l'air sortait). Elle nous a montré sa solution « bricolée » car elle était très insatisfaite de la ventilation. Suite au sondage, on constate que ce n'est pas un fait unique mais une préoccupation partagée. **Et en confrontant ces résultats aux analyses techniques, on pose l'hypothèse d'un dysfonctionnement important de la ventilation, d'où une campagne de mesures séparée concernant le débit d'air en janvier 2019.**

Si on met les différents quadrants en perspective, on peut voir que la **température** et la **ventilation** posent problèmes et que les habitants sont satisfaits de pouvoir **ouvrir les fenêtres** pour réguler l'air et la température. On peut faire l'hypothèse que cela explique une bonne partie de la surconsommation de chauffage.

Suite aux recherches faites dans le cadre de ce projet, les recherches ont conclu que **les perceptions des services énergétiques n'influencent pas ou pas directement la satisfaction de vie dans un écoquartier durable**.

On se rend compte que lorsque que tout va bien, la satisfaction est générale mais personne ne le remarque. Par contre, dès lors que les services énergétiques deviennent un problème, l'insatisfaction est générale. **Il faut donc accentuer et mettre en avant quand les services énergétiques correspondent aux besoins de la population, parce qu'actuellement, les gens ne remarquent que lorsque cela est négatif. Ils associent donc les services énergétiques à quelque chose de négatif.**

En conclusion, trois pratiques ont été sélectionnées.

(1) « **Se chauffer** » : La température est actuellement un critère ayant beaucoup d'importance pour les habitants, et pour lesquels ils ne sont pas satisfaits.

(2) « **Utilisation des stores** » : En revanche, l'utilisation des stores ne semble pas importante pour les habitants, et pourtant représente un impact majeur dans la consommation. Grâce à ces analyses, nous pouvons affirmer qu'il y aurait certaines fonctionnalités à ajouter pour gagner en efficacité énergétique.

(3) « **Ouverture des fenêtres** », qui comme représenté dans les analyses multivariées, engendre des impacts sur la consommation de chauffage.



Résultat de la co-crédation de mesures énergétiques (Tâche 3.3)

Après avoir diagnostiqué et mesuré les problèmes d'écart de performance, identifié les pratiques qui sont la cause de ces écarts, les attitudes des parties prenantes, leur pouvoir et leur intérêt face à la consommation d'énergie, cette phase se concentre sur le co-développement de solutions. On peut se demander pourquoi les mesures d'efficacité énergétiques ne se concentrent pas uniquement sur les pratiques identifiées. D'une part, la collecte et l'analyse des données a été retardée et les activités d'intégration des parties prenantes devaient avoir lieu. Des hypothèses ont donc été faites sur les écarts de performance et les secteurs dans lesquels agir. Les mesures se concentrent sur les trois domaines : électricité, ECS et chauffage.

Premier workshop et soirée co-design

On fait l'hypothèse que le plan d'efficacité énergétique co-développé par les parties prenantes correspondra mieux à leurs besoins et sera plus efficace qu'un plan sans impliquer les parties prenantes. Un premier workshop a été organisé dans le quartier en novembre 2017. Il a réuni 15 participants (propriétaires, locataires, prestataires de services, commune, académiques) qui ont travaillé à partir des barrières qui ont été mises en évidence.

Suite à une première soirée de co-design fin 2017 qui avait généré de nombreuses idées de mesures énergétiques en impliquant toutes les parties prenantes, nous avons participé à la Journée de l'Energie organisée par la ville de Gland dans le quartier de Eikenott. Elle a eu lieu le 3 février 2018. La déléguée à l'énergie de la commune de Gland nous a mis à disposition un espace dans lequel nous pouvions interagir avec les habitants et autres visiteurs.

Sélection de trois mesures d'efficacité énergétique

Suite à la soirée de co-design de novembre 2017 et à la Journée de l'Energie, **les ingénieurs participant au projet ont sélectionné trois mesures pouvant être réalisées par la suite dans le quartier et répondant à des besoins des habitants.** Les mesures ont des caractéristiques communes :

1. **Coût réduit** : le matériel coûte moins de CHF100.- pour chaque mesure. En effet, le budget lié à l'achat de matériel étant réduit dans le projet, il n'était pas possible d'agir par exemple sur l'automatisation des stores.
2. **Aspect ludique** : nous avons voulu utiliser des artefacts colorés et visuellement attractifs pour tangibiliser l'énergie
3. **Feedback direct et indirect**, le premier influence plus directement les comportements, selon un rapport de l'agence européenne de l'environnement (European Environment Agency, 2013)
4. **Simplicité d'installation et d'utilisation** proche du « plug and play »
5. **Nudge** : changement de la solution par défaut installée qui a une influence sur les pratiques (Sunstein, 2017). L'effet est plus pérenne dans le temps car l'intervention change le contexte d'usage et diminue l'effort de l'habitant.



Les trois mesures sélectionnées pour être testées dans le quartier sont les suivantes :

1) Température des pièces : installation de vannes connectées dans les chambres qui ne disposent pas de thermostat. En effet, suite aux entretiens qualitatifs, on constate que les parents souhaitent régler une température de consigne plus basse dans leur chambre que dans celle des enfants, ce qui n'est pas possible pour l'instant. Ils ouvrent donc les fenêtres pour régler la température, comme mesuré dans le sondage. Pour éviter ce phénomène et des investissements importants en installation, un système sans fil est testé. Cela change le contexte d'utilisation de la régulation, diminue les efforts pour le réglage car il peut être fait à distance.

2) Eau chaude sanitaire : pommeau de douche économique et connecté : les habitants ont mentionné à plusieurs reprises la volonté de visualiser leur consommation électrique, mais aussi d'eau chaude sanitaire. Nous avons sélectionné un pommeau de douche qui donne un **feedback direct** (couleur qui change en fonction de la durée) et **indirect** (application Bluetooth qui regroupe les données historiques et qui permet le calcul des économies d'eau et d'argent). Il peut être utilisé par tout public, même de jeunes enfants, grâce aux codes couleurs émis par la douche.



Figure 101 - Exemple de vanne connectée et de douche connectée Hydrao

3) Consommation électrique : Bouton rouge programmable éteignant toutes les consommations électriques superflues dans l'appartement. C'est une idée qui a été proposée à plusieurs reprises lors des ateliers de co-design. A l'image de ce qui se fait dans les hôtels avec la carte de la chambre, ils aimeraient un moyen rapide d'arrêter toutes les consommations en une seule opération en quittant le logement. C'est un gain de temps, la simplicité et l'efficacité.



Figure 102 - Exemple de bouton connecté programmable



L'idée de bouton rouge paraît simple conceptuellement mais est plus complexe à mettre en place. En effet, quand les habitants disent « tout » vouloir couper en partant. Est-ce bien réaliste ? Quelles sont les consommations électriques qui peuvent réellement être coupées sans risque ? Une soirée de co-design le 20 mars 2018 a réuni 10 habitants, l'entreprise qui a développé le smart meter et les académiques dans l'appartement d'un des propriétaires. L'idée était de co-développer une solution par défaut pour les futurs quartiers ou à ajouter dans les appartements existants. L'hypothèse principale repose sur les bénéfices du co-design, notamment d'augmenter l'« acceptation sociale » des solutions co-développées (Steen et al, 2011). Lors de cette rencontre, une liste d'appareils ne devant pas être éteints a été établie. Il s'agit des appareils suivants :

- Tablette e-Smart
- Régulateur de chauffage
- Réfrigérateur et congélateur
- Prise qui alimente le réveil matin...
- Box TV (en fonction des modèles, cela peut poser problème)
- Alarme
- Four (pour ne pas dérégler l'horloge)
- Lampe de sécurité (il existe des lampes de sécurité qui fonctionnent avec des batteries)

Par exemple, il est apparu que les habitants ne souhaitent pas que le four s'éteigne, car ils devraient à chaque fois reprogrammer l'horloge qui clignote. Cette dernière doit impérativement fonctionner pour pouvoir utiliser certaines fonctionnalités comme la programmation de fin de cuisson. L'entreprise E-Smart était également présente afin de pouvoir par la suite faire les mises à jour nécessaires pour la mise en place du bouton rouge et des thermostats par pièce.

De nombreux freins sont apparus dans les logements existants et nous testons d'autres fonctionnalités que pourrait commander ce bouton, comme par exemple savoir quand les habitants sont présents ou absents pour remonter les stores automatiquement (impact important comme vu dans l'analyse technique du bâtiment).

La soirée de prototypage du bouton ON/OFF a permis de récolter les barrières à cet appareil, les différents services énergétiques que l'on aimerait lier ou non, de lister tous les appareils ne devant pas être éteints. Ce concept de simplicité (« low-tech ») a séduit un partenaire d'implémentation qui a testé cette solution dans un nouveau quartier à bâtir en Valais, et destiné à une cible de seniors.

Développement du jeu sérieux « Poker Design »

Finalement, la dernière étape de co-design de mesures énergétiques dans le quartier a consisté au développement d'un nouveau jeu de cartes dit jeu « sérieux ». Il comprend : (1) Des personas (sorte de profil type de parties prenantes), (2) des cartes d'usages (lessive, éclairage...), (3) des cartes d'action (ex. récompenser, informer...). Les freins et motivations ont tout d'abord été mis en évidence grâce aux entretiens réalisés en 2017. Puis des mesures ont été développées en combinant une carte de chaque catégorie. Ce jeu de cartes a été développé suite à la constatation que le comportement des habitants face aux services énergétiques avait un impact direct sur l'efficacité énergétique. **L'intérêt du jeu consiste à « associer de manière originale des « aspects sérieux » comme des informations sur le changement climatique ou d'autres crises environnementales, « dans une visée sensibilisatrice et éducative... »** (Gagnebien, 2012). Le jeu de rôle permet de dépersonnaliser la perception via la simulation. Il est plus facile de s'exprimer au nom d'une autre personne pour identifier les dérives de consommation par exemple. Les personas créés également à partir des entretiens qualitatifs dans le quartier représentent les acteurs clés du quartier, exprimant leurs besoins ainsi que leurs attentes vis-à-vis du quartier et de ses services énergétiques. Le but de ce jeu est de co-développer un plan d'efficacité énergétique dans un quartier.



Figure 103 - Cartes Persona



Figure 104 - Cartes d'action



Figure 105 - Cartes d'Usages

Puis une version plus courte a été développée, soit un jeu d'une vingtaine de minutes. Il s'inspire du jeu de l'oie où chaque case représente une pièce dans un bâtiment qu'il faut traverser en proposant à chaque fois une mesure d'efficacité énergétique (EE) avec l'aide des cartes d'action. Ce jeu a été testé durant la journée de l'Energie dans le quartier de Eikenott.

Résultat de la mise en place d'interventions ciblées dans le quartier (Tâche 3.4)

Avec les mesures identifiées précédemment, un plan d'efficacité énergétique a été mis en place dans le quartier de Eikenott. Celui-ci contient un descriptif de la mesure en spécifiant la pratique, les indicateurs de suivi de consommation et comment ces indicateurs sont calculés.

Afin de communiquer et de mettre en place ces mesures, le concept des soirées « TupperWatt » a été proposé. Une telle soirée a été organisée en janvier 2019. Le but de la rencontre était de présenter les trois mesures sélectionnées et de motiver les habitants à participer (objectif : 10 ménages). Un ingénieur leur a également expliqué comment installer, régler et utiliser les artefacts techniques. De plus, des mesures d'efficacité complémentaires ont été présentées afin de sensibiliser les habitants à la thématique. La soirée TupperWatt a également été pilotée dans un autre ménage hors du quartier et participant à l'émission RTS « Une seule planète », offrant de la visibilité au consortium du projet UserGap.



Un électricien s'est déplacé dans le quartier d'Eikenott afin de récolter les informations des compteurs de différents appartements en amont. Puis, plusieurs sondes de température ont été installées dans les pièces qui n'en disposaient pas encore. Un module de commande de la vanne de chauffage a également été installé dans 4 appartements. 6 ménages ont également été équipés de multiprises télécommandées, installées dans le salon. Un pommeau de douche connecté Hydrao a été offert en cadeau lors de la soirée TupperWatt. Il change de couleur en fonction de la durée de la douche et communique les informations de consommation par bluetooth sur une application mobile.

Concernant la problématique des stores, ces derniers n'ont que peu d'importance aux yeux des utilisateurs selon le sondage, mais une grande conséquence sur la consommation selon l'analyse technique. Actuellement, il n'existe pas de domotique installée sur les stores. Lors de la construction du quartier, cette fonction était proposée en option. Etant donné que les analyses électriques ont révélé qu'il n'y avait pas d'écart de performance d'un point de vue électrique, le bouton central de commande à distance pourrait être utilisé à une autre fin. En effet, il reste « low-tech », ludique, simple et bon marché.

L'idée est de coupler l'utilisation du bouton avec la présence ou l'absence des habitants dans l'appartement. Il serait possible de piloter la commande des stores avec le bouton rouge en fonction de la saison, de la température extérieure et de l'ensoleillement, des critères jugés très importants dans l'analyse technique et économétrique. Le budget du projet ne permet pas de mettre en place ce type de mesure dans un bâtiment existant mais pourrait être testé dans un projet ultérieur.

Evaluation des consommations réelles après la mise en place du Living Lab (Tâche 3.5)

La mise en place des mesures a été effectuée dans un nombre très faible d'appartements. Elles ne permettent pas la généralisation des résultats. Il était tout de même important aux yeux de l'équipe de recherche de proposer et de tester une méthode simple et peu onéreuse pour mesurer l'impact des mesures de performance énergétique. En effet, des outils comme IPMVP ne s'appliquent que difficilement à l'échelle d'un ménage si on doit tenir compte de son coût de mise en œuvre.

Evaluation des consommations réelles d'eau chaude sanitaire : Les pommeaux de douche encourageant à une consommation plus faible d'eau chaude sanitaire ont été distribués à 6 ménages habitant dans 5 bâtiments différents. Les données des 6 ont pu être récupérées. Ces données couvrent 6 mois précédant la distribution des pommeaux de douche (de février à juillet 2018), ainsi que les 6 mois identiques suivant la distribution des pommeaux de douche (de février à juillet 2019).

Une analyse plus précise des données a été également effectuée pour vérifier les points suivants : (1) données existantes sur l'ensemble des périodes analysées, (2) pas de changement dans l'enveloppe des courbes qui pourrait faire soupçonner un changement de locataire. Après analyse précise des données, la consommation d'un ménage a dû être éliminée, car les données n'étaient pas fiables.

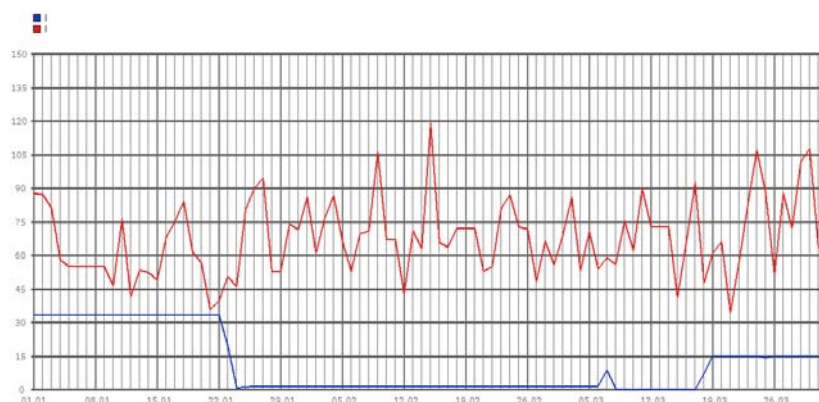


Figure 106 - Représentation des mesures journalières d'eau sanitaire pour un ménage

La **Figure 106** représente les mesures journalières d'eau chaude sanitaire pour les premiers trimestres 2018 (bleu) et 2019 (rouge). La courbe 2018 montre des informations erronées. Le ménage a été éliminé de l'échantillon. Pour les cinq échantillons restants, la moyenne des 6 mois de 2018 avec celle des 6 mois de 2019 ont été comparées :

Echantillon	Moyenne 2018 (litres/jour)	Moyenne 2019 (litres/jour)	Différence %
1	98.6	90.1	- 8.63 %
2	146.1	114.3	- 21.78 %
3	75.5	102.0	+ 34.97 %
4	62.0	63.4	+ 2.14 %
5	46.3	44.1	- 4.75 %

Tableau 17 - Moyenne de consommation d'eau sanitaire comparée

Nous constatons que deux ménages ont diminué leur consommation de 8 et 22% alors que deux autres ménages ont augmenté leur consommation de 35 et 2%. Il n'est pas possible de dire que les pommeaux de douche hydroaero ont permis de diminuer la consommation d'eau. Il faudrait répliquer cette expérimentation sur un plus grand nombre de ménages pour en tirer des conclusions généralisables.



4. Conclusions et résumé

Cette section résume les enseignements tirés du projet, tout d'abord pour le constructeur du quartier puis également en vue de faire évoluer les normes SIA 380/1 et 380/4.

5.1 Recommandations à destination des entreprises de construction

Le quartier d'Eikenott est un des premiers quartiers durables ayant été développé par l'entreprise en Suisse, il fait figure de pionnier mais également de test pour les futurs quartiers. Nous avons constaté que ce quartier consomme environ 17% de plus que la norme en matière de chauffage, si on calcule avec la méthode probabiliste, la plus favorable. Cet écart a pu être expliqué d'un point de vue technique et également social grâce aux analyses effectuées. La consommation d'électricité ne semble pas poser problème, nous allons donc orienter les recommandations sur la partie thermique.

Utilisation non optimale des stores : les habitants utilisent les stores non seulement pour se protéger du soleil mais également pour des questions de sécurité et de vis-à-vis. Or, dans l'analyse technique, le bon usage des stores, ouverts complètement en hiver et fermé en été peut réduire de manière importante la consommation d'un bâtiment bien isolé et donc l'EdP. Nous recommandons aux entreprises de construction de bien orienter le bâtiment (exposition au sud), en essayant de limiter le vis-à-vis, de proposer de la domotique par défaut pour monter et descendre les stores. De plus, il serait intéressant d'utiliser un bouton central qui indiquerait la présence ou l'absence des occupants et monterait/descendrait les stores selon la saison de manière automatique. En effet, la mise en place d'une solution optimale par défaut est très importante pour diminuer l'effort des habitants et diminuer la consommation. Il serait également intéressant de sensibiliser les habitants à la question en expliquant la différence entre une protection externe (stores) qui empêche la chaleur d'entrer et une protection interne (rideaux) qui peut très bien faire l'affaire en matière de vis-à-vis et de vie privée sans bloquer les rayons du soleil en hiver. Encourager les ménages à utiliser des rideaux et non des stores pour des questions de vie privée dans les bâtiments nouvelle génération pourrait être intéressant d'un point de vue énergie. C'est tout l'intérêt de ce projet d'allier des recommandations techniques et de prendre en compte les aspects sociaux des usages.

Ventilation mécanique mal réglée : la ventilation mécanique ne donne pas satisfaction dans le bâtiment étudié (analyses techniques) et dans le quartier en général (analyse sociale). Le manque de débit d'air encourage les habitants à ouvrir les fenêtres notamment en hiver et à les laisser en imposte. L'entreprise qui a conçu le système de ventilation a fait faillite et plus aucun suivi n'a été effectué sur le système de ventilation. Les données n'étaient plus remontées et une fois la vérification des données effectuées, le débit d'air était insuffisant. Si une donnée par défaut est programmée dans l'automate de régulation et qu'aucun suivi n'est effectué par la suite, le système peut être défaillant très longtemps, jusqu'à ce que quelqu'un se plaigne et se saisisse du problème. Nous recommandons donc aux entreprises de construction de **réfléchir en amont sur la maintenance du système**. Les habitants et les régies doivent avoir une personne de contact en cas de problème, que ce soit pour la ventilation ou pour le chauffage. Nous avons eu des retours des habitants qui se plaignent de ne pas savoir à qui s'adresser quand ils ont un problème technique. Même le service de facility management proposé dans le quartier ne sait pas comment trouver le bon interlocuteur en matière d'énergie. La phase d'exploitation de ces quartiers doit pouvoir être réfléchi en amont pour que le design du quartier soit effectué en conséquence. De plus, les réclamations des habitants devraient être collectées de manière systématique (feedback) pour améliorer l'efficacité des systèmes et également éviter les erreurs dans les quartiers futurs (feedforward).



Ouverture des fenêtres en hiver : les analyses sociales montrent que les habitants laissent les fenêtres ouvertes en hiver. L'énergie n'est pas tangible, ce n'est pas comme lors d'une fuite d'eau dans le logement, très tangible et que l'on répare immédiatement. Quand une fenêtre reste ouverte en hiver, c'est une fuite d'énergie qui n'est pas perçue. Il y a tout d'abord des habitudes à changer : un bâtiment Minergie ne s'aère pas comme une maison vétuste, mal isolée et sans système de ventilation mécanique. Des recommandations concrètes pourraient être proposées. Elles se baseraient sur la bonne volonté des habitants de les respecter, ce qui est un peu optimiste. L'autre partie de la problématique est technique : il n'y a qu'une sonde thermostatique pour la partie « nuit » et une pour la partie « jour ». Les entretiens qualitatifs ont révélé que des habitants chauffaient la chambre des enfants à une température différente de la chambre des parents. Avec l'absence d'une sonde par pièce, la baisse de température de la chambre des parents est effectuée par une ouverture de la fenêtre en imposte la nuit. Nous avons tenté de régler ce problème en ajoutant une sonde thermostatique télécommandée à partir du smart meter. Des technologies existent mais ne sont pas très instinctives à installer (nécessité de faire venir un électricien, ce qui engendre des coûts pour les ménages). Depuis la construction du quartier, de nouvelles lois cantonales obligent la mise en place d'une sonde par pièce mais elles ne sont pas toujours appliquées par les installateurs dans une période de transition. Il faudrait également sensibiliser les installateurs à cette problématique car ce sont eux qui sont au contact avec les habitants, dans les constructions individuelles par exemple.

Température bloquée à 21 degrés : on remarque que la température réelle des logements ne respecte pas les 20 degrés prévus dans la norme SIA 380/1 ni même les 21 degrés prévus dans le calibrage du quartier. Une partie des habitants souhaiterait une température plus basse mais ils ont de la peine à l'obtenir dans des logements collectifs. En fonction de l'emplacement de leur appartement et de la manière dont chauffent les voisins, c'est difficile d'obtenir une température plus basse. Une autre partie des habitants souhaite une température plus élevée, c'est notamment le cas des personnes âgées dans les appartements protégés. Bien entendu, il est difficile de prévoir quel type de population va occuper les logements en location. Mais si on prévoit des logements sociaux subventionnés et que des personnes âgées, peu mobiles vont les occuper, il faut prévoir qu'elles aient froid à 21 degrés et qu'elles s'équipent de chauffages d'appoints électriques. Il est d'ailleurs intéressant de faire une analyse multi-fluides pour constater ces dérives d'usage qui ne peuvent pas être vues sur la consommation de chaleur uniquement. Le thermostat a également son importance car dans le quartier étudié le thermostat indique jusqu'à 25 degrés alors que le quartier est calibré pour offrir 21 degrés. Une partie des habitants nous ont informé qu'ils ont tenté tout l'hiver d'augmenter la température, sans succès. L'interface doit donc éviter d'induire en erreur, le thermostat ne devrait pas indiquer de température mais plutôt des plus ou des moins pour augmenter ou baisser la température perçue. Il faudrait également se poser la question, dans des bâtiments bien isolés et basse consommation, de la température de référence, 20 degrés ne semblent pas très réalistes si on étudie les usages. On peut bien entendu demander aux habitants de mettre des pulls, on verra quoi qu'il arrive une partie des habitants s'équiper de chauffages d'appoint.

Profil des habitants : nous avons pu mettre en lumière que ce ne sont pas les habitants qui se disent les plus écologiques qui consomment le moins. De plus, ce n'est pas l'argument écologique qui attire en premier les habitants d'un quartier durable. La vie sociale, les relations dans le quartier, les services à disposition, la proximité des agglomérations attire d'avantage que l'aspect écologique selon notre sondage. Ce n'est pas valable que pour les quartiers durables, si on prend l'exemple des voitures, l'argument écologique n'est pas le premier critère de choix mais vient renforcer les premiers critères. Par contre, nous avons démontré des liens entre le type de profils (éducation, revenu) et la consommation d'énergie. En fonction de la clientèle cible du constructeur, les consommations d'énergie peuvent beaucoup varier pour un même quartier. L'analyse sociologique en amont de la



construction, comme le réalise l'entreprise Losinger, est très importante dans cet ordre d'idée pour anticiper le type de profil d'habitants. La typologie développée dans le projet peut également aider à inférer les futures consommations d'énergie en fonction du type d'habitant. L'outil n'est pas encore d'une grande précision mais avec une plus grande base de données (croisement entre critères socio-démo et consommation d'énergie), on pourrait augmenter la robustesse de ces méthodes d'inférence.

Type de feedback aux habitants : selon les études européennes, les feedbacks directs ont un impact plus important que les feedbacks indirects. Prenons l'exemple des pommeaux de douche Hydrao qui ont été installés dans les ménages test. La couleur du pommeau change en fonction de la durée de la douche et en fonction de la température de l'eau. C'est un exemple type de feedback direct aux habitants. Il est intéressant de l'installer par défaut à la construction pour que l'effet perdure, sans avoir besoin de travailler sur les usages. La douche hydrao propose également un feedback indirect avec une application. Il semble que l'effet du feedback indirect s'estompe avec le temps. Le feedback direct et tangible (couleur), ludique apporte une réelle information sur l'usage et sur les potentielles dérives d'usage (douche qui vire au orange puis rouge au bout d'un certain temps, programmable par l'utilisateur). Ce type d'appareil qui tangibilise l'énergie n'existe à notre connaissance pas pour la gestion de la température du logement. Pourtant, un feedback direct, en couleur, ludique et facile à comprendre pourrait être intéressant à tester dans ce domaine également. Pour ce qui est du smart meter, les avis divergent. Certains habitants trouvent qu'il est intéressant de regarder le smart meter en cas de panne, comme par exemple lors de problèmes liés au chauffage à distance durant le démarrage du quartier. Cela reste pour beaucoup un outil que l'on utilise pour vendre l'appartement (plus-value à l'achat) mais qui n'est pas beaucoup utilisé pour le suivi des consommations d'énergie, mis à part quelques exceptions (profils d'habitants plutôt techniques).

Gouvernance énergétique du quartier : comme mentionné plus haut, il est difficile de trouver le bon interlocuteur quand un problème arrive sur le chauffage ou la ventilation. De plus, il ne semble pas que les habitants mettent l'énergie au sommet de leurs priorités. Il serait intéressant de proposer des contrats de performance énergétique pour la gestion et la maintenance du quartier. Avoir un acteur dont c'est la priorité et qui est rémunéré sur l'efficacité énergétique dans le quartier pourrait être utile, surtout dans un quartier avec sept agences immobilières différentes, qui donnent des informations différentes aux habitants. Certaines régies ont par exemple omis de mentionner que le quartier était calibré pour 21 degrés. Il n'est pas facile de trouver un acteur qui soit d'accord d'établir des contrats de performance énergétique étant donné la difficulté de prévoir l'écart de performance. Nous espérons que ce projet pourra aider à réduire l'EdP afin d'encourager l'utilisation des CPE également dans les logements collectifs

Formation des habitants et vie de quartier : nous avons découvert durant le projet l'existence du «Neighbour Hub », un concept de module qui s'installe dans les quartiers, qui apporte à la fois un lieu de rencontre pour les habitants, de formation avec un programme de conférence, une démonstration des technologies et des usages efficients de l'énergie. Ce concept entre tout à fait dans une logique de quartier durable, avec une association de quartier qui pourrait faire vivre ce type de lieu où l'on parle d'énergie dans un contexte plus large que l'innovation technique mais également sociale. C'est un concept très inspirant qui pourrait être testé dans les quartiers durables et qui pourrait également être combinés avec les contrats de performance énergétique pour lui offrir un modèle de revenu parfaitement aligné avec la vocation du NeighborHub. Nous recommandons de tester ces modules dans l'un des quartiers durables du groupe et de remonter du feedback intéressant pour modifier les futurs quartiers.



Soirées TupperWatt : dans le même ordre d'idée, les soirées TupperWatt développées dans le cadre du projet UserGap ont permis de parler d'énergie avec les habitants, avec des mots qu'ils comprennent (des enfants ont participé aux soirées TupperWatt). Du petit matériel d'efficacité énergétique peut être vendu lors de ces soirées pour en diminuer le coût. C'est un concept intéressant qui s'appuie sur les dynamiques de groupe et qui remet l'énergie au centre des discussions et des priorités pour ensuite proposer des mesures concrètes pour diminuer les consommations (ou pourquoi pas disséminer les technologies d'énergies renouvelables comme les panneaux solaires ou les pompes à chaleur). Nous recommandons aux distributeurs d'énergie de tester ce dispositif d'innovation sociale chez leurs clients.

Poker design : l'outil de poker design qui a été développé dans le cadre du projet permet de co-concevoir un plan d'efficacité énergétique pour un quartier. On réunit diverses parties prenantes comme le délégué à l'énergie de la commune, le distributeur d'énergie, des propriétaires et des locataires, des installateurs également. Le jeu sérieux permet à chacun de contribuer et de donner des idées, les problématiques des utilisateurs sont mis en exergue, avec leurs propres mots et les peuvent mieux comprendre ce qui pose problème et adapter leurs offres. Nous souhaitons mettre à disposition le jeu en « creative commons » pour que tout un chacun puisse l'utiliser. Nous souhaitons également trouver un financement pour le faire passer du prototype à la phase de production.

Recommandations pour le développement des normes SIA

Ce projet UserGap a mis en lumière plusieurs retours intéressants sur la manière de mesurer la performance énergétique des bâtiments. Il est en effet intéressant de constater qu'on arrive à améliorer la précision des modèles avec l'approche probabiliste développée par l'équipe du LESBAT. Faire varier les paramètres d'entrée du modèle peut être très intéressant pour tenir compte du contexte des bâtiments et d'explorer différents scénarios.

Il semble également intéressant de tenir compte du lieu géographique de référence car la météo peut être totalement différente sur le plateau et au bord du lac Léman. En modifiant la station de référence et en recalculant l'énergie ex-ante, on s'approche des valeurs ex-post.

Un élément qui nous a semblé également central est **l'intégration d'une équipe pluridisciplinaire pour l'établissement des normes SIA**. Si on prend l'exemple de la norme SIA 380/1, on s'aperçoit qu'il n'y a pas de spécialiste des sciences sociales. Et pourtant, on développe une table de référence sur l'« utilisation standard de l'énergie ». Il est intéressant d'avoir des spécialistes de l'usage pour proposer un usage standard.

De plus, les normes comme la 380/1 est calibrée pour analyser ce que nous avons appelé le niveau «MESO », le bâtiment. On se focalise sur un bâtiment et on considère que l'analyse d'un quartier est une addition de bâtiments, ce qui néglige une vision MACRO de la consommation d'un quartier.



Dans la suite du rapport, les articles scientifiques publiés par l'équipe de recherche permettront au lecteur d'aller plus loin que le rapport final. L'équipe de recherche se tient également volontiers à disposition pour toute question.

Quand on veut agir sur la performance énergétique, on agit sur un système complexe et la manière privilégiée de tester si une intervention a un effet ou non, est la quasi-expérimentation. Pour cette raison les auteurs ont testé l'approche des laboratoires vivants (living lab) pour co-développer des actions d'efficacité énergétique avec les parties prenantes.

« Un Living Lab est un intermédiaire d'innovation, qui orchestre un écosystème d'acteurs dans une région spécifique. Son objectif est de co-concevoir des produits et des services, de manière itérative, avec les principales parties prenantes, dans le cadre d'un partenariat public -privé-personnes et dans un environnement réel. L'un des résultats de ce processus de co-design est la co-création de valeur sociale (bénéfique). Pour atteindre ses objectifs, le Living Lab mobilise les outils et méthodes d'innovation existants ou en développe de nouveaux. » (Mastelic, 2019)

L'approche permet de mieux comprendre les barrières à l'action selon différentes perspectives. Un regard neuf et « naïf » est posé sur le challenge énergétique. En effet, les barrières ne se trouvent pas toujours où on les attend. La première étape est de mettre les partenaires en réseau et de définir une vision commune. Les interactions et la médiation favorisent l'établissement de la confiance et le partage de connaissances (intelligence collective). La méthode ELL permet de jeter des ponts entre les acteurs et entre les disciplines.

Un autre élément important est l'augmentation du pouvoir perçu par les acteurs du changement. Les parties prenantes ont parfois le sentiment de ne pas pouvoir agir. Dans nos projets, les parties prenantes ont aussi besoin d'exemples, d'être accompagnés, d'être rassurés pour leur donner confiance qu'ils peuvent agir. Nous avons testé les soirées TupperWatt (parues aussi durant l'émission de la RTS « une seule planète »), des ateliers qui réunissent les voisins autour du thème de l'énergie. Un expert vient présenter des solutions techniques. Les freins des participants peuvent être exprimés librement et les échanges d'expériences sont riches d'enseignement. Ils prennent ainsi conscience qu'ils peuvent agir, à leur échelle.

On assiste à un changement du rôle des utilisateurs. Ils deviennent actifs et codesigners du service énergétique et même pro-sommateurs. Les utilisateurs ont bien souvent perdu le lien avec l'énergie primaire. Ils deviennent de passifs consommateurs de services automatisés. Dans le cadre des activités du ELL, nous essayons de leur redonner un rôle actif de co-designers, au côté des spécialistes. Nous avons par exemple développé un jeu sérieux : le poker design. Les parties prenantes ont ainsi pu combiner les cartes pour développer un plan d'économie d'énergie pour le quartier. Les personnes permettent de prendre du recul par rapport à leurs propres usages, de déculpabiliser. Le jeu stimule les discussions et le co-développement de solutions à mettre en place dans le quartier.

Quand les parties prenantes proposent des idées pour améliorer les services énergétiques, ils expriment leurs propres besoins. Les solutions co-développées sont plus proches de ces besoins. Elles sont d'autant plus facilement adoptées par les acteurs, même s'ils n'ont pas participé au processus de co-design.



Comment atteindre la transition énergétique avec l'ensemble des acteurs économiques ? La part de consommation énergétique des ménages en Suisse est très importante, elle représente environ 50 % de la consommation énergétique du pays. Il est donc illusoire d'imaginer une transition énergétique sans eux. Comme il est aussi tout à fait vain d'imaginer qu'en les informant uniquement, cela puisse suffire à ce qu'ils changent drastiquement leur manière de consommer.

Il faudra passer du temps pour comprendre quels types d'approches permettraient aux ménages d'accueillir chez eux les dernières technologies innovantes compatibles avec la transition énergétique et d'adapter leurs comportements pour devenir des acteurs de la transition énergétique. Cette transition devra être rapide et ne se fera pas, ou très difficilement, sans des approches de co-construction efficace. Les approches de ELL s'inscrivent parfaitement dans cet esprit, car les solutions co-développées sont beaucoup plus facilement acceptées et ce qui est vrai pour les ménages peut aussi très bien s'appliquer aux entreprises qui consomment l'autre part des 50% d'énergie.



5. Bibliographie

Banfi, S., Farsi, M., Filippini, M., & Jakob, M. (2008). Willingness to pay for energy-saving measures in residential buildings. *Energy Economics*, 30(2), 503–516. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.06.001>

Best, H., Mayerl, J., (2013) Values, beliefs, attitudes: an empirical study on the structure of environmental concern and recycling participation. *Soc. Sci. Q.* 94 (3), 691-714.

Burman, E., Mumovic, D., & Kimpian, J. (2014). Towards measurement and verification of energy performance under the framework of the European directive for energy performance of buildings. *Energy*, 77, 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.102>

Bundesamt für Energie. (2016), Überblick über den Energieverbrauch der Schweiz im Jahr 2015, Auszug aus der Schweizerischen Gesamtenergiestatistik 2015. Retrieved from: http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00631/index.html?lang=en&dossier_id=00763

Chesbrough, H. W. (2006). *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Harvard Business Press.

Chesbrough, H. W. (2011). Bringing Open Innovation to Services. *MIT Sloan Management Review*, Cambridge, 52(2), 85–90.

Competence Center for Research in Energy, Society and Transition CREST, (2016). Work package 2: Change of Behavior. Retrieved from: <https://www.sccer-crest.ch/research/work-packages-of-sccer-crest/work-package-2-change-of-behavior>

Cook, S. W., & Berrenberg, J. L. (1981). Approaches to encouraging conservation behavior: A review and conceptual framework. *Journal of Social Issues*, 37(2), 73-107.

Davies, A. R., Doyle, R., & Pape, J. (2011). Future visioning for sustainable household practices: spaces for sustainability learning? *Area*, 44(1), 54–60. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4762.2011.01054.x>

Demoscope AG (2016) Reimann, W., Bühlmann, E., Erfolgskontrolle Gebäudeenergiestandards.

DETEC (2019): Révision de la loi sur l’approvisionnement en électricité (ouverture complète du marché de l’électricité, réserve de stockage et modernisation de la régulation du réseau) – Rapport sur les résultats de la consultation, Département fédéral de l’environnement, des transports, de l’énergie et de la communication DETEC, Confédération Suisse, Septembre 2019.



De Wilde, P. (2014). The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation. *Automation in Construction*, 41, 40-4

Dupont, L., Mastelic, J., Nyffeler, N., Latrille, S., Seuillet, E. (2018), Living Lab as a Support to Trust for Co- creation of Value: Application to the Consumer Energy Market, *Journal of Innovation Economics and Management*, DeBoeck Superior.

ENoLL (2018), What are Living Labs. Available online: <https://enoll.org/about-us>

Estiri, H. (2014). Building and household X-factors and energy consumption at the residential sector: A structural equation analysis of the effects of household and building characteristics on the annual energy consumption of US residential buildings. *Energy Economics*, 43, 178-184.

European Commission. (2013). Report from the commission to the European parliament and the council, Poggess by Member States towards Nearly Zero-Energy Buildings, COM (2013) 483 final/2, European Commission. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu>

Fell, M. J. (2017). Energy services: A conceptual review. *Energy Research & Social Science*, 27, 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.02.010>

Gassmann, O., Enkel, E., & Chesbrough, H. (2010). The future of open innovation. *R&D Management*, 40(3), 213–221. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2010.00605.x>

Gavard-Perret, M. L., Gotteland, D., Haon, C., & Jolibert, A. (2008). *Méthodologie de la recherche: réussir son mémoire ou sa thèse en sciences de gestion*. Paris: Pearson Education France.

Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33(6), 897–920. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015>

Grönroos, C., & Voima, P. (2013). Critical service logic: making sense of value creation and co-creation. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 41(2), 133–150. <https://doi.org/10.1007/s11747-012-0308-3>

Guillen, G. and M. Nicolau (2013). BIG 2050: Because living sustainably today is possible! Pathways, scenarios and backcasting for sustainable and low-carbon lifestyles: Comparing methods, cases and results. Rotterdam, The Netherlands, SCORAI Europe proceedings.



Hastings, G. (2017) "Rebels with a cause: the spiritual dimension of social marketing", *Journal of Social Marketing*, Vol. 7 Issue: 2, pp.223-232, <https://doi.org/10.1108/JSOCM-02-2017-0010>

Jessoe, K., Lade, G. E., Loge, F., & Spang, E. (2017). Spillovers from behavioral interventions: Experimental evidence from water and energy use, E2e Working Paper 033.

Kavousian, A., Rajagopal, R., & Fischer, M. (2013). Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. *Energy*, 55, 184-194

Khoury, J. (2015). Rénovation énergétique des bâtiments résidentiels collectifs: état des lieux, retours d'expérience et potentiels du parc genevois. Doctoral dissertation, University of Geneva

Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental education research*, 8(3), 239-260. <https://doi.org/10.1080/13504620220145401>

Kotler, P., & Zaltman, G. (1971). Social Marketing: An Approach to Planned Social Change. *Journal of Marketing*, 35(3), 3. <https://doi.org/10.2307/1249783>

Lehmann U., Khoury J, (2017) Performance énergétique des bâtiments de logement pour étudiants: Etudes de cas dans le canton de Genève. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:93923>

Lemon Consult, (2018), SolarGap – Auswirkung von Sonnenschutzsystemen auf den Heizwärmebedarf von Gebäuden. Projet OFEN, accessible via: <https://www.aramis.admin.ch/Default.aspx?DocumentID=46277&Load=true>

Maloney, M.P., Ward, M.P., (1973) Ecology: let's hear from the people: an objective scale for the measurement of ecological attitudes and knowledge. *Am. Psychol.* 28 (7), 583.

Martilla, J.A., & James, J.C. (1977). Importance-Performance Analysis. *Journal of Marketing*, 41(1), 77-79. <https://doi.org/10.2307/1250495>

McKenzie-Mohr, D. (2000). Fostering sustainable behavior through community-based social marketing. *American Psychologist*, 55(5), 531-537. <http://dx.doi.org/10.1037/0003-066X.55.5.531>

Meldem, R. et al. (1991) Mesure et analyse d'un système de rafraîchissement passif à Sion (Valais). <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:79687>



Menezes, A. C., Cripps, A., Bouchlaghem, D., & Buswell, R. (2012). Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap. *Applied Energy*, 97, 355-364.

Office Fédéral de la météorologie et de climatologie MétéoSuisse, « Relevé de température pour les stations météo Suisses » accédé via : <https://gate.meteoswiss.ch/idaweb/more.do>

P. Padey, B.Périsset, S.Lasvaux, S.Genoud, J. Mastelic (2018): Modèle probabiliste de la consommation énergétique d'un bâtiment pour l'étude de l'écart de performances, 20. Status-Seminar «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt»

Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*, 24(5), 377–390. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(96\)00017-1](https://doi.org/10.1016/0301-4215(96)00017-1)

Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., & Berry, L. L. (1988). Servqual: A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of Retailing*, 64(1), 12-40. Retrieved from

<https://search.proquest.com/docview/228609374?accountid=15920>

Perret L, Chevillat Y, Wyrsh N, Bloch L, Holweger J, Weber S, Péclat M (2019): "FLEXI 2: Déterminer le potentiel de flexibilisation de la demande d'électricité des ménages", project Office fédéral de l'énergie.

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria <http://www.R-project.org/>

Roulet Claude-Alain (1987) *Energétique du bâtiment II*, Presses Polytechniques romandes.

Sahakian, M., & Wilhite, H. (2014). Making practice theory practicable: Towards more sustainable forms of consumption. *Journal of Consumer Culture*, 14(1), 25–44. <https://doi.org/10.1177/1469540513505607>

Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., ... Tarantola, S. (2008). Global Sensitivity Analysis. <https://doi.org/10.1002/9780470725184.ch6>

Sanders, E. B. N., & Stappers, P. J. (2008). Co-creation and the new landscapes of design. *Co-design*, 4(1). <https://doi.org/10.1080/15710880701875068>



Santin, O. G. (2011). Behavioural patterns and user profiles related to energy consumption for heating. *Energy and Buildings*, 43(10), 2662-2672.

Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill, A., (2016). *Research Methods for Business Students*, Seventh Edition, Pearson Education Limited, Essex, England.

Schuurman, D. (2015). Bridging the gap between Open and User Innovation?: exploring the value of Living Labs as a means to structure user contribution and manage distributed innovation (Doctoral dissertation, Ghent University).

SIA 380/1 (2009), *Besoins de chaleur pour le chauffage*, Société des Ingénieurs et Architectes.

Sobol', I. (2001). Global sensitivity indices for nonlinear mathematical models and their Monte Carlo estimates. *Mathematics and Computers in Simulation*, 55(1-3), 271-280. [https://doi.org/10.1016/S0378-4754\(00\)00270-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4754(00)00270-6)

Steen, M., Manschot, M., & De Koning, N. (2011). Benefits of co-design in service design projects. *International Journal of Design*, 5(2), 53-60.

Sunstein, C. R. (2017). Default rules are better than active choosing (often). *Trends in cognitive sciences*, 21(8),

Swiss Federal Office for Energy SFOE, (2016), *Energy Strategy*, retrieved from: <https://www.uvek.admin.ch/uvek/en/home/energie/energy-strategy-2050.html>

Transvalor, « Solar Radiation Data », accessed via : <http://www.soda-pro.com/>

Tukey JW (1977): "Exploratory data analysis", Addison-Wesley.

Vargo, S. L., & Lusch, R. F. (2004). Evolving to a New Dominant Logic for Marketing. *Journal of Marketing*, 68(1), 1-17. <https://doi.org/10.1509/jmkg.68.1.1.24036>

Von Hippel, Eric A., (2005). *Democratizing Innovation*. MIT Press, Cambridge, MA.

Wacker, J. G. (1998). A definition of theory: research guidelines for different theory-building research methods in operations management. *Journal of Operations Management*, 16(4), 361-385. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(98\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(98)00019-9)