

CSTB
le futur en construction

 **COSTIC**
Comité Scientifique et Technique
des Industries Climatiques

E-TRACING

Résultats de l'évaluation



CSTB
le futur en construction

 **COSTIC**
Comité Scientifique et Technique
des Industries Climatiques

E-TRACING

Résultats de l'évaluation

Client : ADEME et GRDF
Marché n° 16MAR001187

Auteurs : Pierre BOISSON (CSTB),
Cédric GALLOIS (COSTIC)
Tony MICHAUD (COSTIC)
Cédric BEAUMONT (COSTIC)

Septembre 2020

RÉF. CSTB : DEE/PES 2020. 20-007RE

Ce rapport comporte 41 pages

Table des matières

1. PREAMBULE	4
2. RESULTATS DE L'EVALUATION SOCIOLOGIQUE	4
2.1 Rappel des objectifs et de la méthodologie d'évaluation sociologique	4
2.2 Déroulement des enquêtes	4
2.3 Analyse des résultats	5
2.3.1 Taux de réponse et durée de réponse aux questionnaires	5
2.3.2 Répartition des réponses par site	6
2.3.3 Modèles des thermostats connectés des répondants	7
2.3.4 Caractéristiques des répondants et des ménages, et occupation des logements	8
2.3.5 Satisfaction globale	11
2.3.6 Utilisation générale du thermostat	13
2.3.7 Utilisation du boîtier du thermostat	15
2.3.8 Utilisation de l'application sur Smartphone	17
2.3.9 Dysfonctionnements rencontrés	19
2.3.10 Questionnaire spécifique pour les thermostats classiques d'origine	21
3. RESULTATS DE L'EVALUATION TECHNIQUE	22
3.1 Résultats concernant la consommation totale de gaz	22
3.2 Résultats concernant le réglage et le fonctionnement des chaudières	23
3.3 Résultats concernant le confort et le comportement	26
3.4 Résultats concernant le chauffage	30
4. EVALUATION DES ECONOMIES D'ENERGIE APPORTEES PAR LES THERMOSTATS CONNECTES	32
4.1 Approche 1 : Comparaison avant / après	32
4.2 Approche 2 : Economies par rapport à des scénarios de référence	35

1. PREAMBULE

Le présent rapport a pour objectif de présenter les résultats de l'évaluation multicritères (techno-socio et économique) obtenus à l'issue du projet.

2. RESULTATS DE L'EVALUATION SOCIOLOGIQUE

2.1 RAPPEL DES OBJECTIFS ET DE LA METHODOLOGIE D'EVALUATION SOCIOLOGIQUE

L'objectif général de cette analyse est de récolter des éléments sur l'appropriation par les ménages de leur thermostat ainsi que sur l'usage qu'ils en font et sur leur ressenti vis-à-vis de celui-ci.

Il s'agit plus précisément de répondre aux questionnements suivants :

- > Quelles utilisations les ménages font de leur thermostat ? Quelles fonctionnalités utilisent-ils principalement ? Via quels supports utilisent-ils leur thermostat ? En cas de non-utilisation ou de très faible utilisation, quels sont les freins qu'ils rencontrent ?
- > Est-ce que les ménages sont satisfaits de leur thermostat ? Est-ce qu'ils ont le sentiment de mieux maîtriser (au sens « avoir la main sur ») leurs consommations énergétiques au travers leur thermostat ? Est-ce qu'ils ont le sentiment d'avoir amélioré leur confort au travers leur thermostat ?
- > Comment évolue dans le temps l'utilisation par les ménages de leur thermostat ? Est-ce qu'au cours du temps les ménages renforcent leurs connaissances de leur thermostat et ses fonctionnalités ? Est-ce qu'au contraire, au cours du temps, les ménages présentent un certain désintérêt pour leur thermostat ? Est-ce qu'il existe des différences entre les fonctions dans leur utilisation dans le temps ?

L'analyse sociologique est effectuée sur la base de réponses des ménages à un questionnaire.

La méthodologie est plus précisément définie dans le livrable L2.2 « Méthodologie d'évaluation multicritère », qui décrit les questions posées.

2.2 DEROULEMENT DES ENQUETES

Il a été choisi des questionnaires en ligne (sur le site SurveyMonkey.com) car ce mode permet d'une part, de faciliter l'envoi et la réception des questionnaires et d'autre part, de rendre aisée la personnalisation des questions (e.g. questions personnalisées suivant le thermostat possédé). En particulier, un questionnaire spécifique a été élaboré pour les logements restés avec leur thermostat d'origine (donc non connecté).

Concernant l'envoi des questionnaires, un lien Internet est envoyé aux ménages par e-mail. L'accès aux questionnaires par les ménages ne nécessite pas la création par ces derniers d'un compte sur le site. Et comme par ailleurs dans les questionnaires, il ne leur est pas demandé de fournir leur nom, un traitement entièrement anonymisé de leurs réponses est ainsi assuré.

Les questionnaires ont été envoyés à des périodes différentes :

- une première enquête a été réalisée en début d'expérimentation (décembre 2018 – janvier 2019) pour questionner les ménages sur leur appropriation de leur thermostat après 2 ou 3 mois
- une seconde enquête a été réalisée en fin d'expérimentation, environ 1 an après (mars-avril 2020) afin plus spécifiquement de questionner les ménages sur l'évolution dans le temps de leur utilisation de leur thermostat

2.3 ANALYSE DES RESULTATS

2.3.1 TAUX DE REPONSE ET DUREE DE REPONSE AUX QUESTIONNAIRES

Les questionnaires ont été envoyés à 26 occupants (en majorité des locataires de logements sociaux et quelques propriétaires à Longjumeau). Dans l'ensemble, on obtient un taux de 65% de réponses (17 sur 26).

Les temps de réponse au questionnaire s'échelonnent **entre 4 et 10 min**, avec une valeur **médiane à 7 min**, et des valeurs extrêmes à 13½, 17½, 22 et 26 min.

Questionnaire thermostats connectés :

Ce questionnaire a été envoyé aux **21** occupants équipés de thermostats connectés (6 à Orly ; 7 à Longjumeau ; 2 à Saint-Ouen ; 6 à Paris). Le nombre de réponses est de 16, mais avec 1 doublon (voire peut être même 2 doublons).

Pour 15 réponses considérées, on obtient donc un taux de réponse de 71%

Lors de l'enquête en 2019, 14 réponses ont été obtenues sur 22 (1 locataire ayant déménagé entre les 2 enquêtes).

Questionnaire thermostats classiques

Ce questionnaire a été envoyé aux **5** occupants équipés de thermostats classique (d'origine): 2 à Orly et 3 à Paris

Le nombre de réponses est de **2** (toutes à Paris), soit un taux de **40%**.

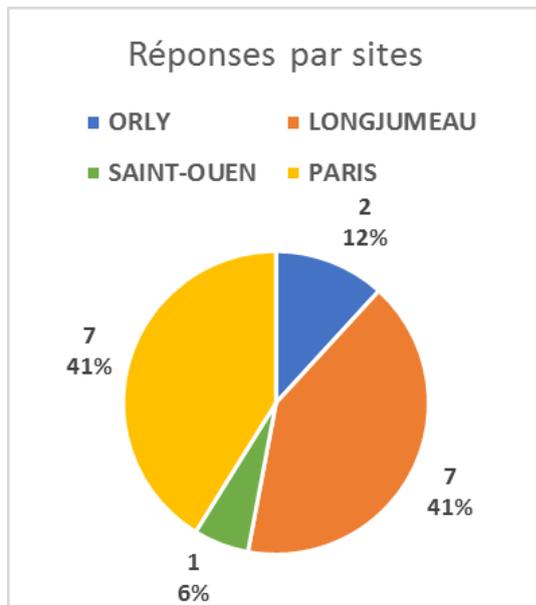
NB : L'analyse plus spécifique des réponses au questionnaire sur les thermostats classiques est présentée au paragraphe 2.3.10. Pour certaines questions en commun avec le questionnaire sur les thermostats connectés, les réponses sont intégrées dans l'analyse principale.

2.3.2 REPARTITION DES REPONSES PAR SITE

La répartition des réponses par site est indiquée dans le tableau suivant.

Nombre de réponses par rapport au nombre de logements	Orly	Longjumeau	St-Ouen	Paris
Enquête 2019	2/6	6/7	1/2	5/6
Enquête 2020	2/6	7/7 *	1/2	5/6

*Suspicion de double réponse à Longjumeau, avec des réponses différentes aux questions et une erreur de modèle de thermostat connecté. Ce cas est signalé comme modèle 'inconnu' par la suite et n'a pas été enlevé dans les analyses à suivre.



On ne constate pas de changement entre 2019 et 2020 sur le nombre de réponses par site. Ce sont les mêmes personnes qui semblent être motivées à participer au sondage, d'une année sur l'autre, et sans faiblissement.

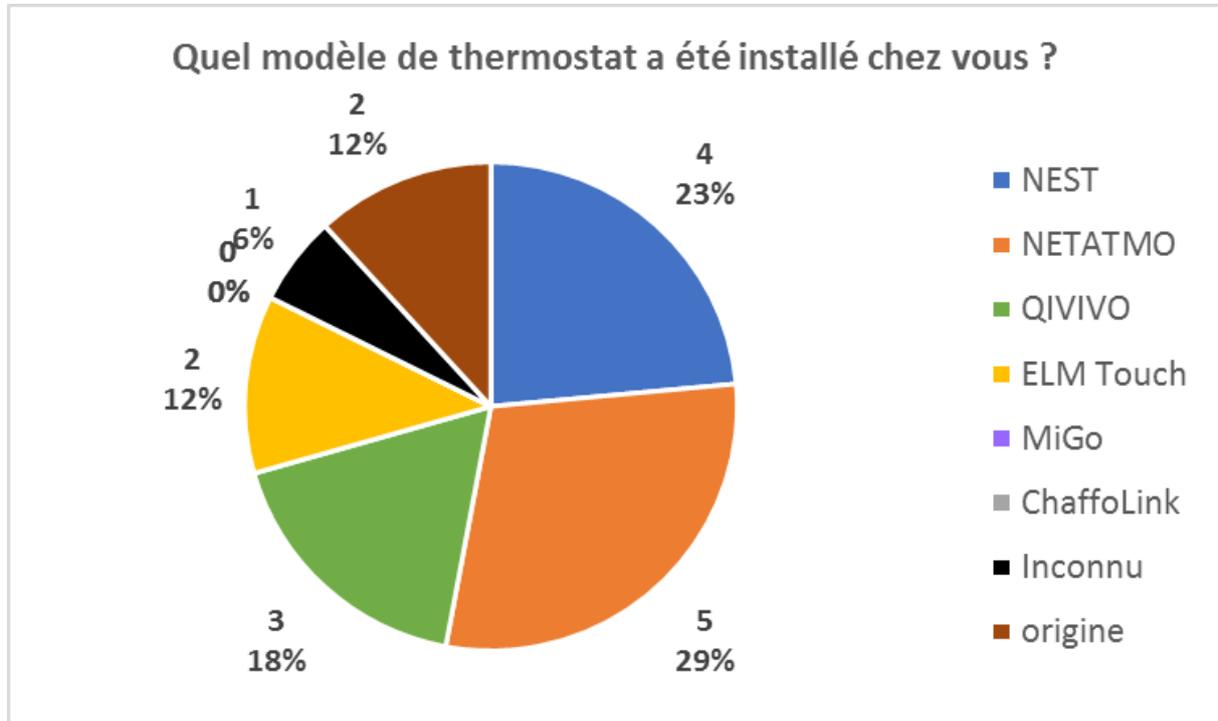
Parmi les 15 réponses en 2020, 3 réponses sont partielles (1 à Paris, 1 à Longjumeau et 1 à Orly). Les personnes n'ont pas répondu aux questions spécifiques au thermostat. Celui à Orly n'a pas sélectionné son modèle de thermostat (par déduction c'est probablement un Netatmo).

On peut noter les faits notables suivants :

- Le locataire du logement n°7 à Paris, équipé d'un Netatmo, indique avoir déménagé le 14 janvier 2020. Il a néanmoins répondu au sondage.
- Le locataire du logement n°6 à Orly, équipé d'un Qivivo, indique avoir enlevé son thermostat connecté: « On m'a retiré le thermostat quand on m'a installé le compteur Linky et quand j'ai changé de fournisseur d'électricité et de gaz. Je suis passé chez Sowe, ils m'ont mis leur équipement à eux et m'ont dit que l'autre devenait obsolète et comme il fonctionnait très mal j'ai accepté ».

2.3.3 MODELES DES THERMOSTATS CONNECTES DES REpondANTS

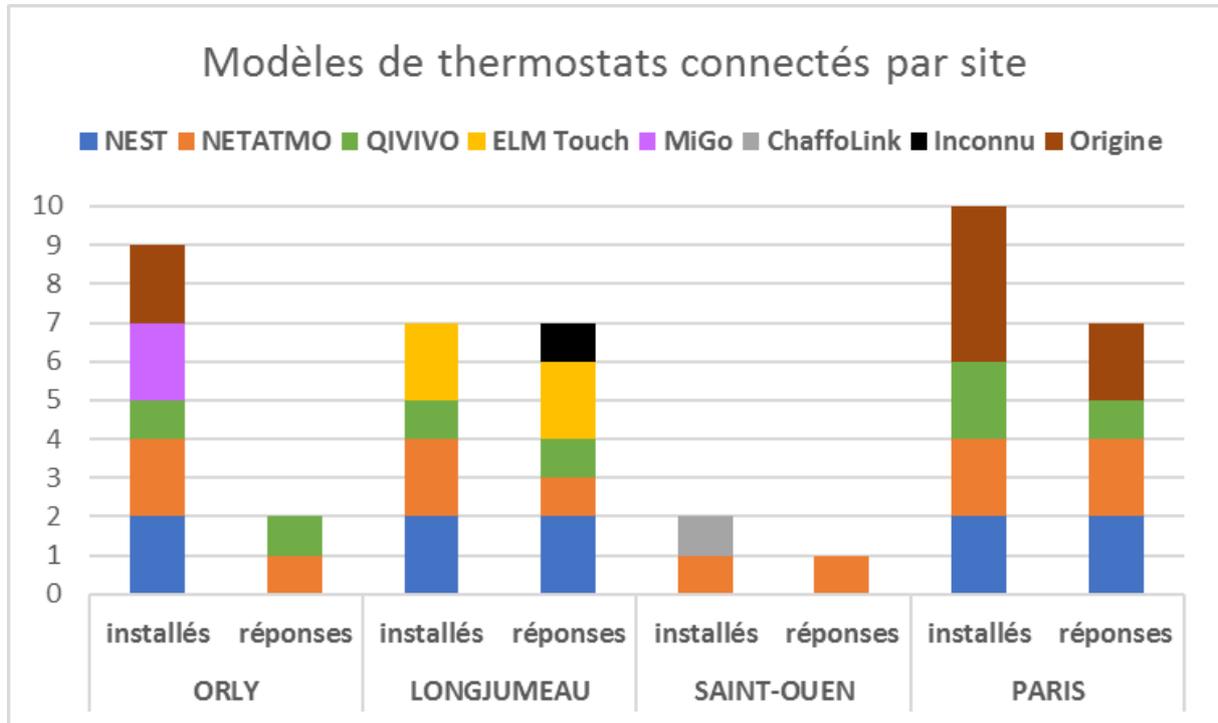
Les réponses à la question sur le modèle de thermostat qui a été installé sont présentées dans le graphique ci-dessous.



L'identification des logements ayant répondu a été possible à partir de certaines informations renseignées : modèle de thermostat, ville, composition du ménage.

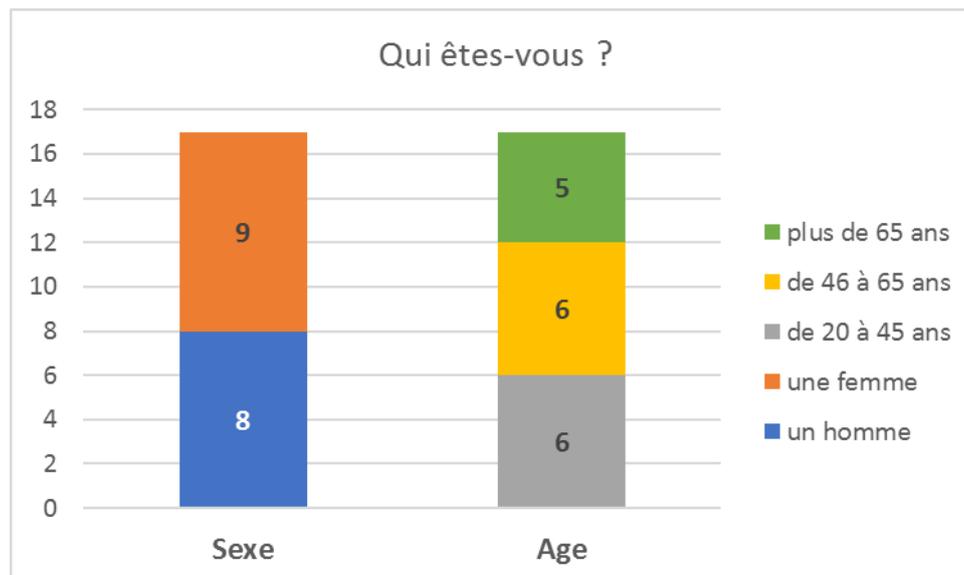
Grâce à cette analyse, 4 erreurs de saisie sur le modèle de thermostat ont été découvertes. Ces erreurs ont été corrigées dans la suite de l'analyse, sauf pour le cas à Longjumeau susceptible d'être un doublon, qui est indiqué ici comme « inconnu ». La catégorie « origine » correspond aux thermostats d'origine, sachant que la question du modèle de thermostat connecté n'a pas été posée pour ces logements.

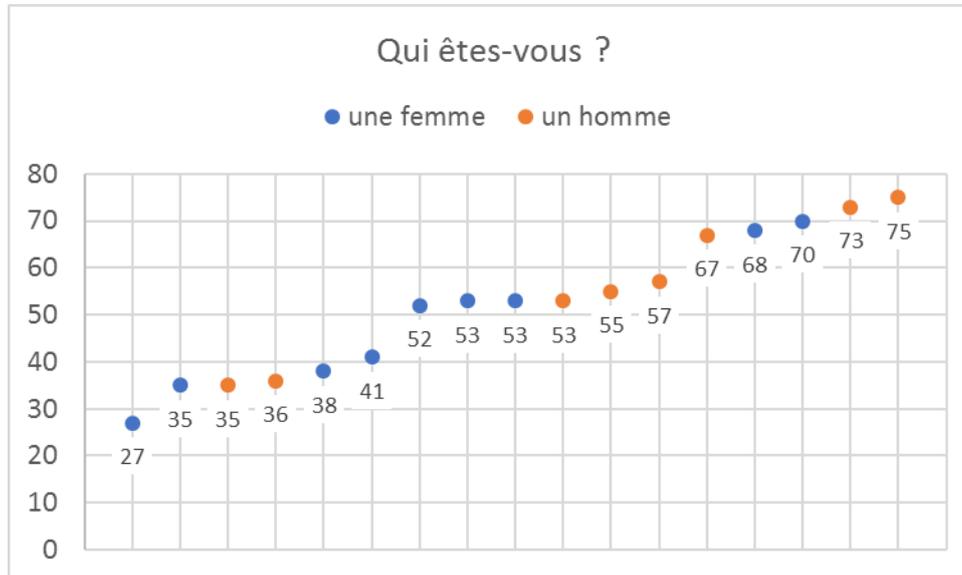
La répartition des modèles de thermostat par site est indiquée dans le graphique suivant, en distinguant le nombre de logements pour lesquels le type de thermostat a été installé et le nombre de logements ayant répondu en 2020.



2.3.4 CARACTERISTIQUES DES REpondANTS ET DES MENAGES, ET OCCUPATION DES LOGEMENTS

On constate une répartition homogène des répondants entre les femmes et les hommes (même tendance qu'en 2019). La répartition est également équilibrée entre les 3 classes d'âge adulte définies (même tendance qu'en 2019).



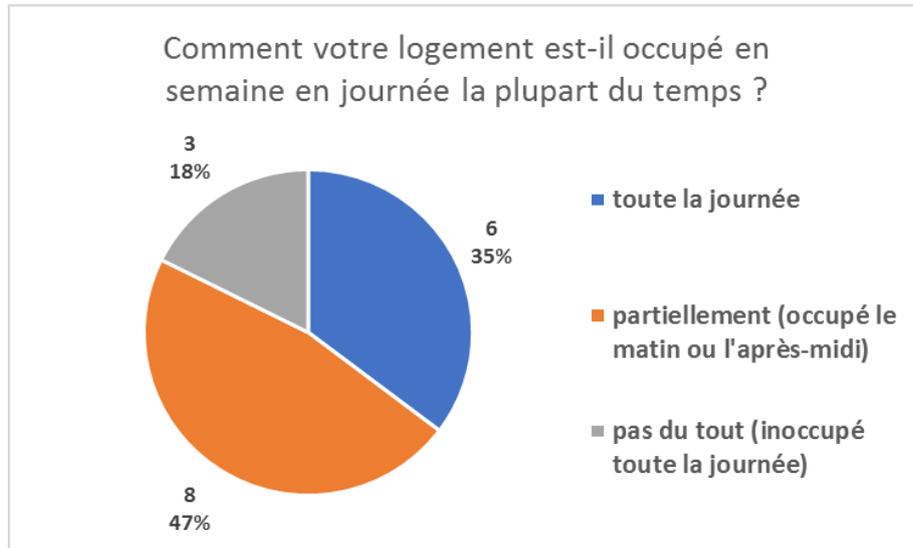


Concernant la composition des ménages ayant répondu, on obtient :

- 4 couples sans enfant,
- 2 couples avec 1 enfant,
- 2 couples avec 2 enfants,
- 3 couples avec 3 enfants ou plus,
- 3 femmes vivant seule,
- 1 couple avec 1 jeune adulte,
- 2 ménages avec des adultes de classe d'âge différente

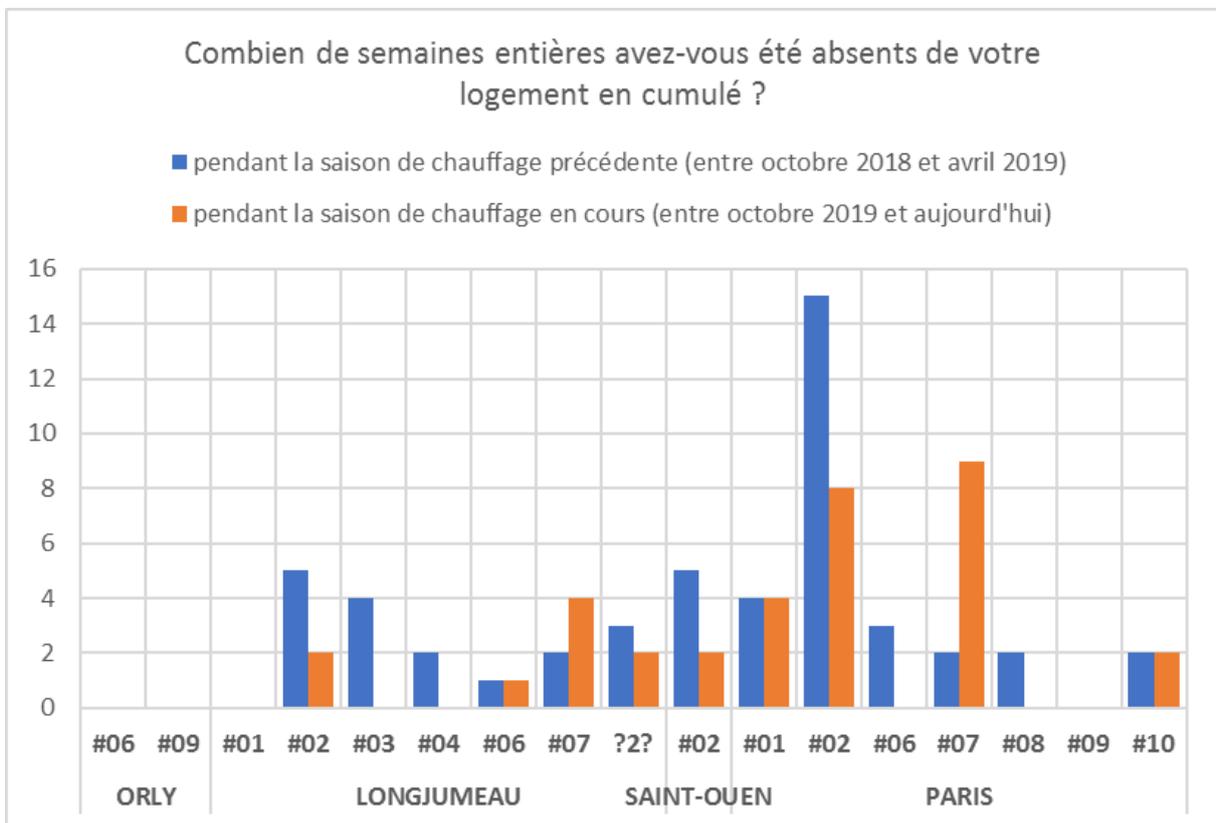
L'occupation moyenne du logement en semaine telle que déclarée par les répondants se répartit entre une occupation toute la journée pour 35%, une occupation partielle (le matin ou l'après midi seulement) pour 47% et une inoccupation pour 18% des cas.

En 2019, la répartition était, parmi les 14 répondants : 5 présents toute la journée, 4 présents partiellement, 5 absents toute la journée, soit respectivement 36% toute la journée, 28% partiellement et 36% en inoccupation la journée.



Pour l'enquête de 2020, une question supplémentaire a été posée concernant le nombre cumulé de semaines entières (telle que des vacances) pendant lesquelles le logement a été totalement inoccupé. La question a été posée pour 2 périodes distinctes : la saison de chauffage précédente (entre octobre 2018 et avril 2019) et la saison de chauffage en cours lors du questionnaire (entre octobre 2019 et mars/avril 2020). Cette information permet d'identifier des écarts d'occupation entre les deux saisons de chauffe qui pourraient entraîner des écarts de consommation de gaz et donc expliquer ces écarts sur les consommations mesurées.

Les réponses sont illustrées dans le graphique suivant pour les différents logements identifiés.

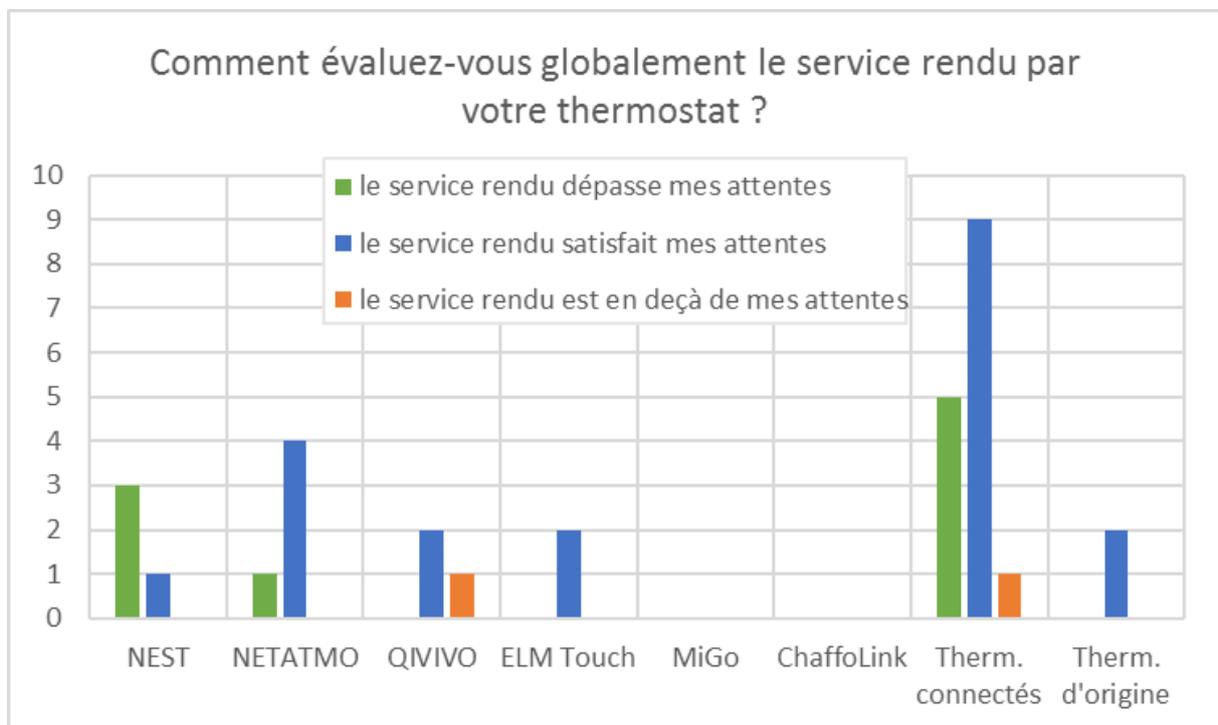


2.3.5 SATISFACTION GLOBALE

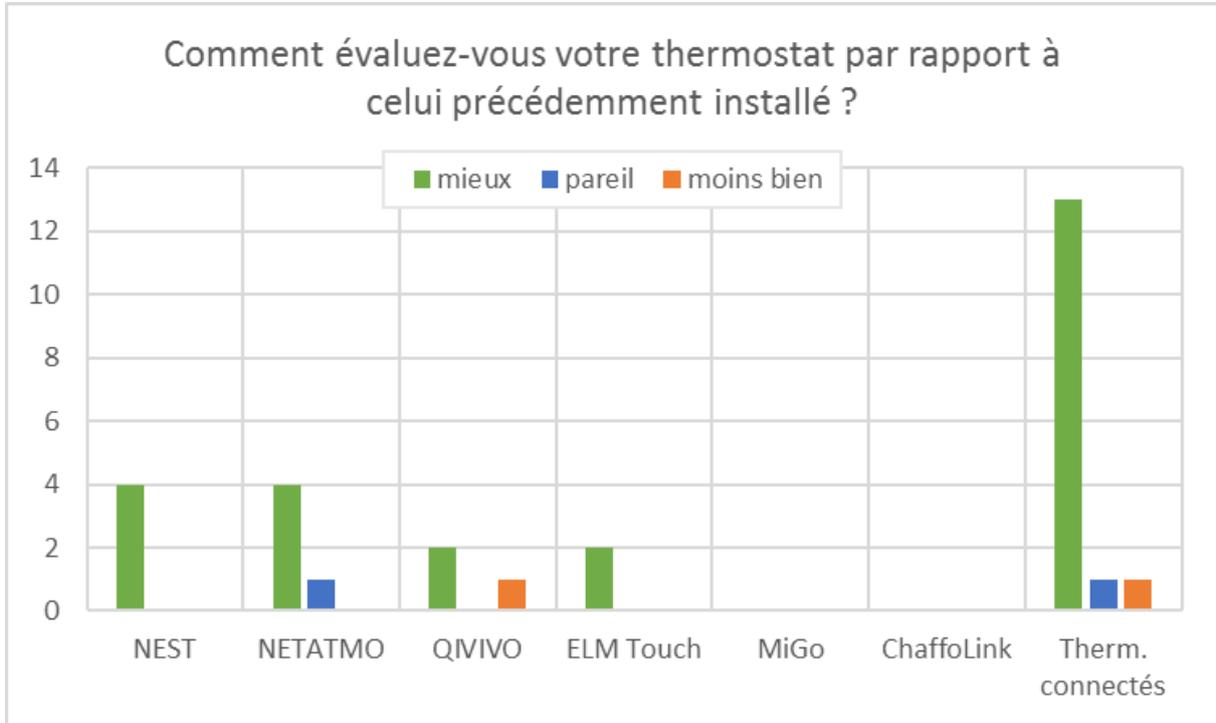
La quasi-totalité des répondants sont satisfaits du service rendu par leur thermostat connecté, les attentes sont même dépassées pour 5 d'entre eux (environ 30%).

Une seule personne est non satisfaite de son thermostat Qivivo (comme en 2019). Il s'agit d'une personne qui a connu des désagréments avec son thermostat Qivivo la première année.

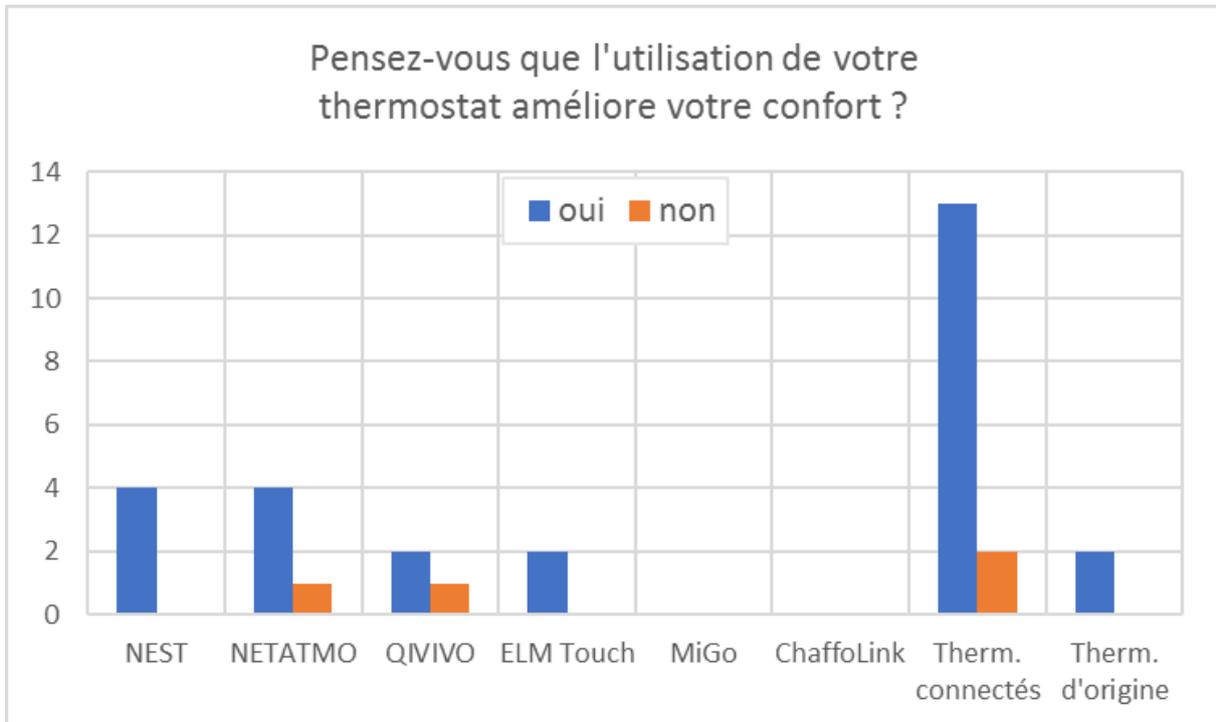
Le graphique suivant représente les réponses sur l'évaluation globale du service rendu par le thermostat pour les différents modèles de thermostats connectés, et à la droite du graphique les réponses pour l'ensemble des thermostats connectés et les 2 autres réponses des thermostats d'origine à titre de comparaison.



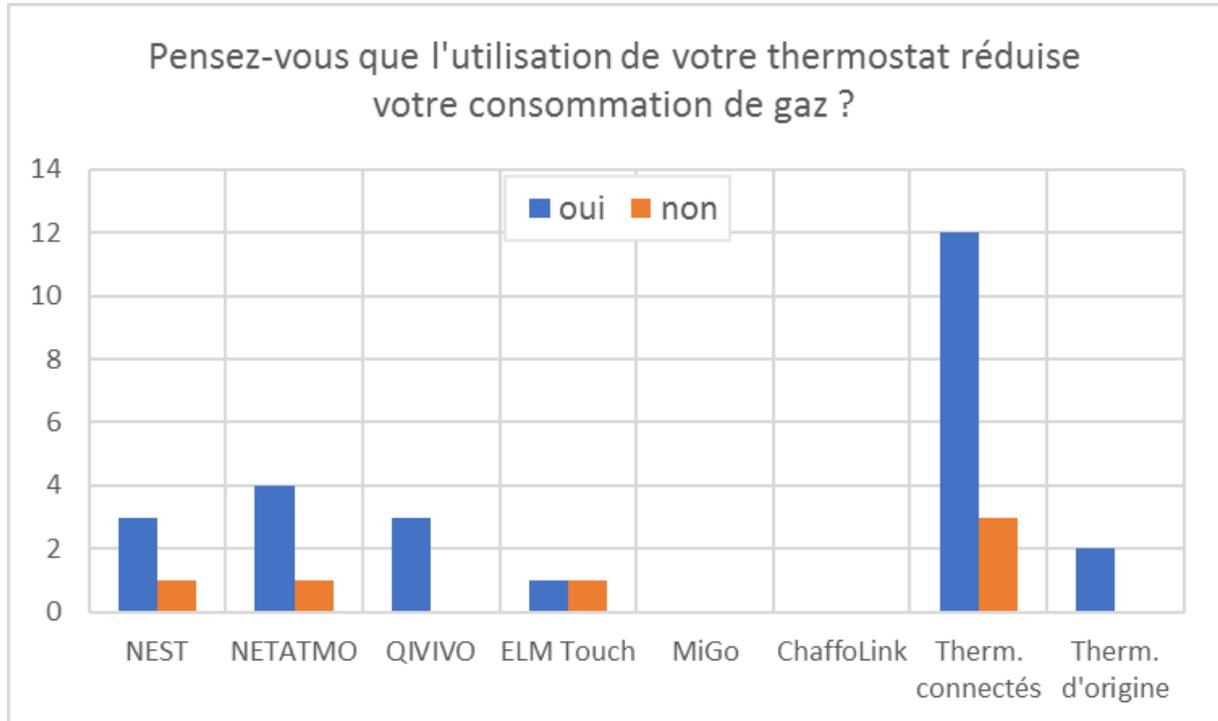
La plupart des répondants (13 sur 15) jugent que leur thermostat connecté est mieux que le précédent. Une personne juge qu'il est pareil (Netatmo à Orly) et une personne juge qu'il est moins bien (Qivivo à Orly).



La plupart des répondants (13 sur 15) pensent que l'utilisation de leur thermostat améliore leur confort. Et 2 personnes pensent le contraire (Netatmo et Qivivo à Orly)



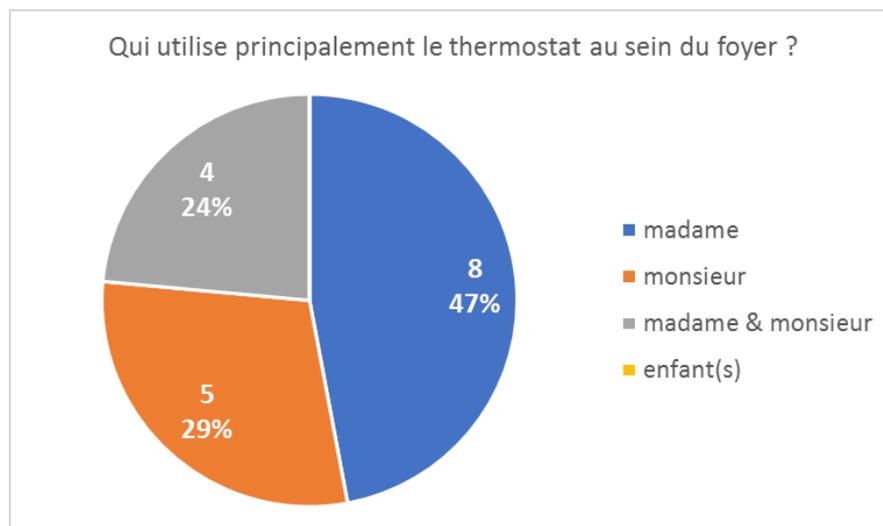
12 répondants sur 15 pensent que leur thermostat réduit leur consommation de gaz. Les 3 autres qui pensent le contraire sont: Nest à Paris, Netatmo à Orly et ELM Touch à Longjumeau.



2.3.6 UTILISATION GENERALE DU THERMOSTAT

Le thermostat est utilisé principalement par les adultes du foyer. Aucun répondant n'a indiqué que le thermostat était utilisé par un enfant.

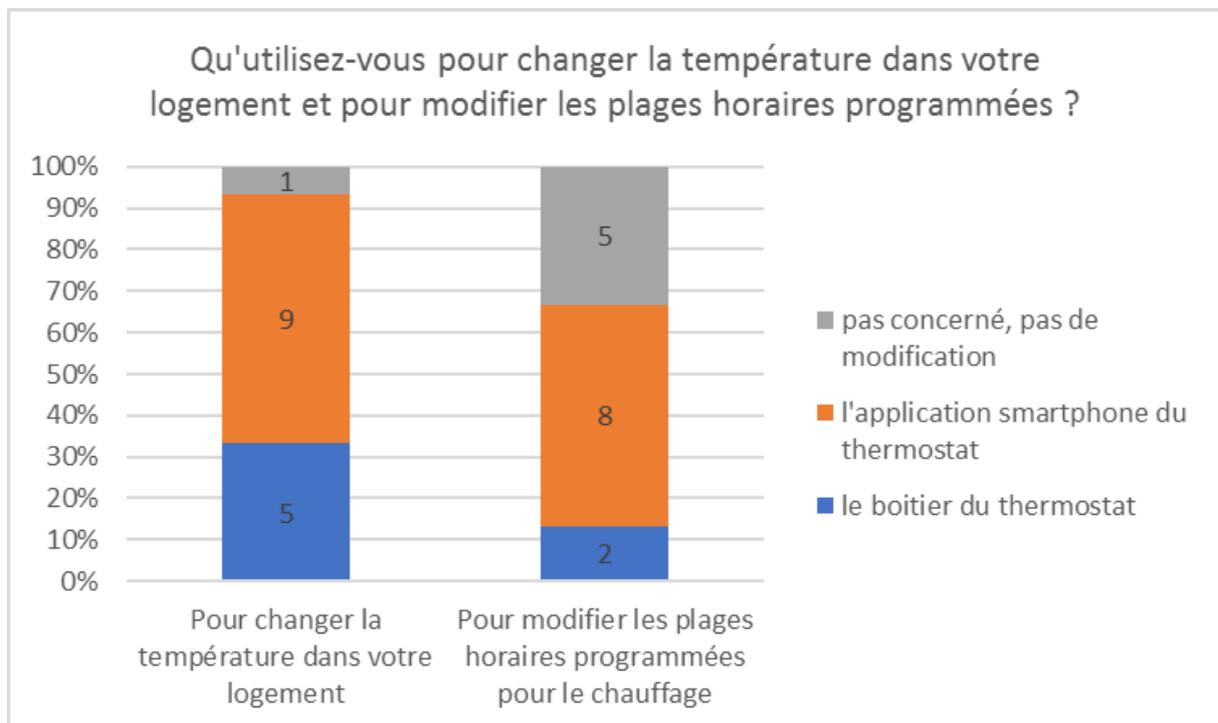
Pour les trois quart (13 ménages), c'est par un seul adulte, majoritairement Madame et pour un quart (4 ménages), c'est Monsieur & Madame.



Environ 90% des répondants (14/15) changent la consigne de température dans leur logement, majoritairement via l'application smartphone (pour 9 d'entre eux), le reste via le boîtier du thermostat dans le logement (pour 5 d'entre eux).

Environ 66% des répondants (10/15) modifient leur programme horaire de chauffage, principalement via l'application smartphone (pour 8 d'entre eux).

L'utilisation de l'application smartphone est donc privilégiée par une majorité des répondants.

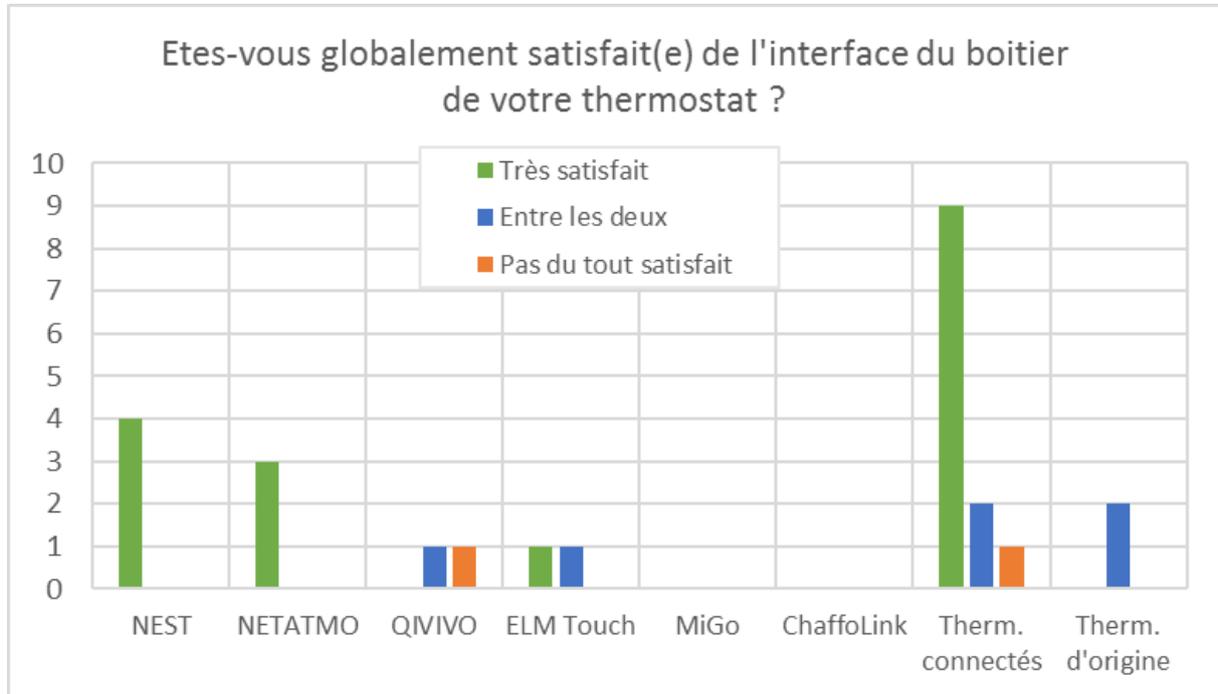


A la question « Savez-vous ce que contrôle votre thermostat connecté ? », 11 répondants sur 15 jugent que leur thermostat connecté contrôle le chauffage, 1 répondant équipé du ELM Touch juge que son thermostat contrôle le chauffage et l'eau chaude, et 3 n'ont pas répondu.

Pour les analyses suivantes, les questions étaient adaptées à chaque modèle de thermostat connecté pour tenir compte des possibles différences de fonctionnalités ou dénominations des fonctions par le fabricant, au niveau du boîtier du thermostat ou de l'application smartphone. Le nombre de réponses a diminué car 3 répondants ont abandonné le questionnaire en cours à ce moment-là. Sur les 15 répondants, 12 personnes ont donc répondu aux questions propres à leur thermostat.

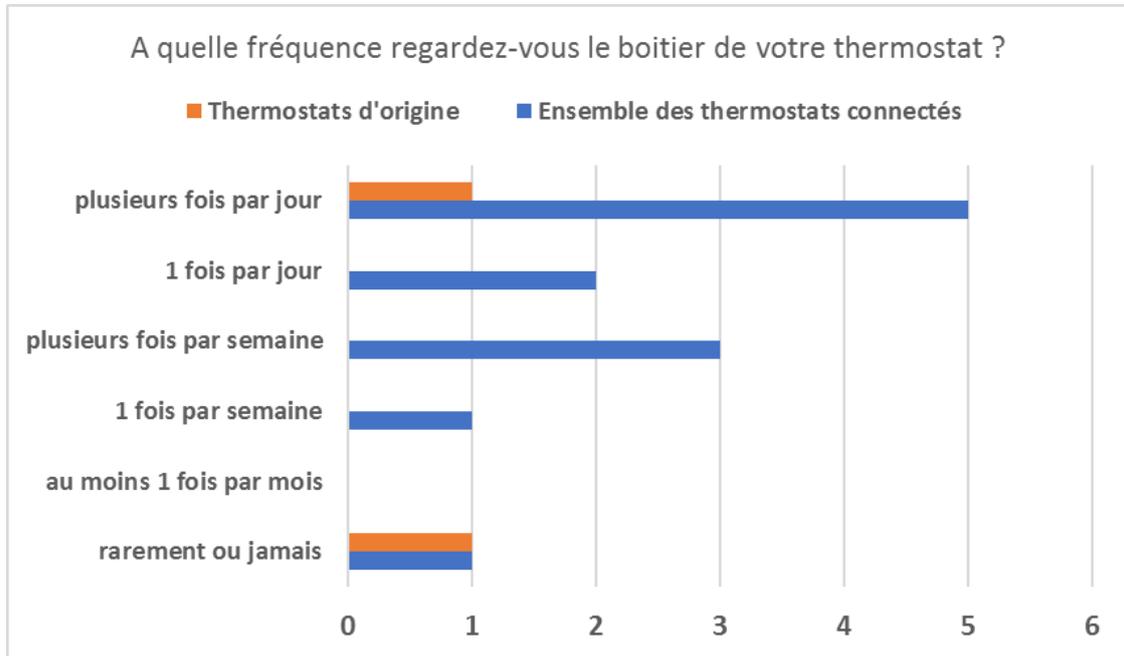
2.3.7 UTILISATION DU BOITIER DU THERMOSTAT

La plupart des répondants (9 sur 12) sont très satisfaits de l'interface du boîtier. Une seule personne n'est pas du tout satisfaite : il s'agit encore du logement équipé du Qivivo à Orly.

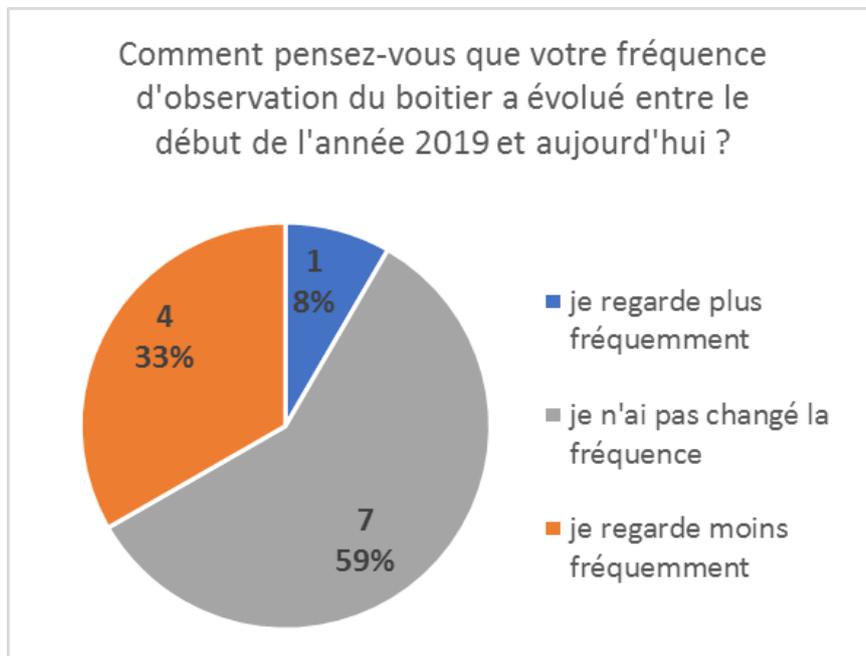


Concernant la fréquence à laquelle les utilisateurs regardent ou manipulent le boîtier de leur thermostat connecté, 5 répondants indiquent utiliser plusieurs fois par jour. Pour 6 autres, cela varie entre 1 fois par semaine et 1 fois par jour.

1 personne indique ne jamais regarder son thermostat (Qivivo à Orly). Il précise : « On m'a retiré le thermostat quand on m'a installé le compteur Linky et quand j'ai changé de fournisseur d'électricité et de gaz. Je suis passé chez Sowe, ils m'ont mis leur équipement à eux et m'ont dit que l'autre devenait un obsolète et comme il fonctionnait très très mal j'ai accepté ».



Pour une majorité (7 sur 12), la fréquence d'utilisation du boîtier n'a pas changé entre 2019 et 2020. 4 répondants indiquent le regarder moins fréquemment.



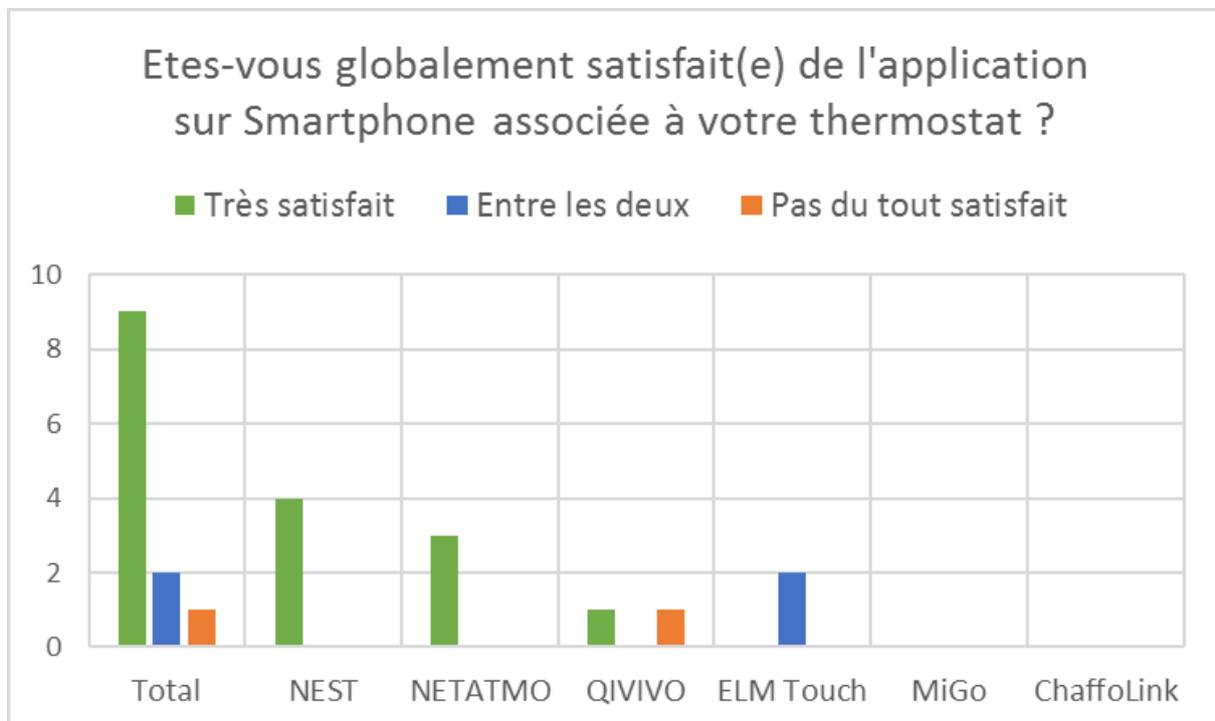
A la question « Quand vous regardez votre boîtier, que regardez-vous ? », plusieurs réponses étaient possibles. En nombre décroissant d'occurrence, les réponses obtenues sont :

- 7 occurrences pour la température qu'il fait
- 2 occurrences pour l'indicateur de chauffe ou de fonctionnement de la chaudière
- 2 occurrences pour l'indicateur NEST d'économie d'énergie (activation de la feuille ou nombre de feuilles par mois)
- 1 occurrence pour les réponses suivantes: le délai pour augmenter la température, les conditions météorologiques, l'historique des consommations

A noter que l'emplacement du boîtier du thermostat est, pour 6 répondants, fixé au mur. Pour 2 répondants à Longjumeau, il n'est pas fixé au mur et a été changé de place au cours de la saison 2019/2020.

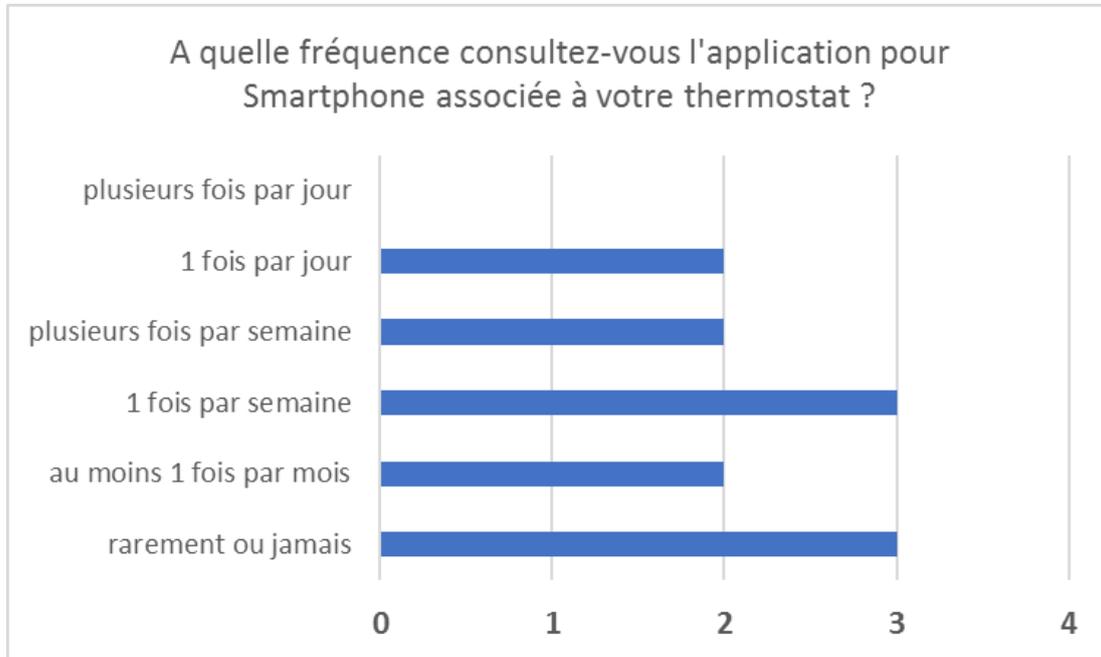
2.3.8 UTILISATION DE L'APPLICATION SUR SMARTPHONE

La plupart des répondants (9 sur 12) sont très satisfaits de l'application sur Smartphone. Une personne n'est pas du tout satisfaite : cas du Qivivo à Orly.

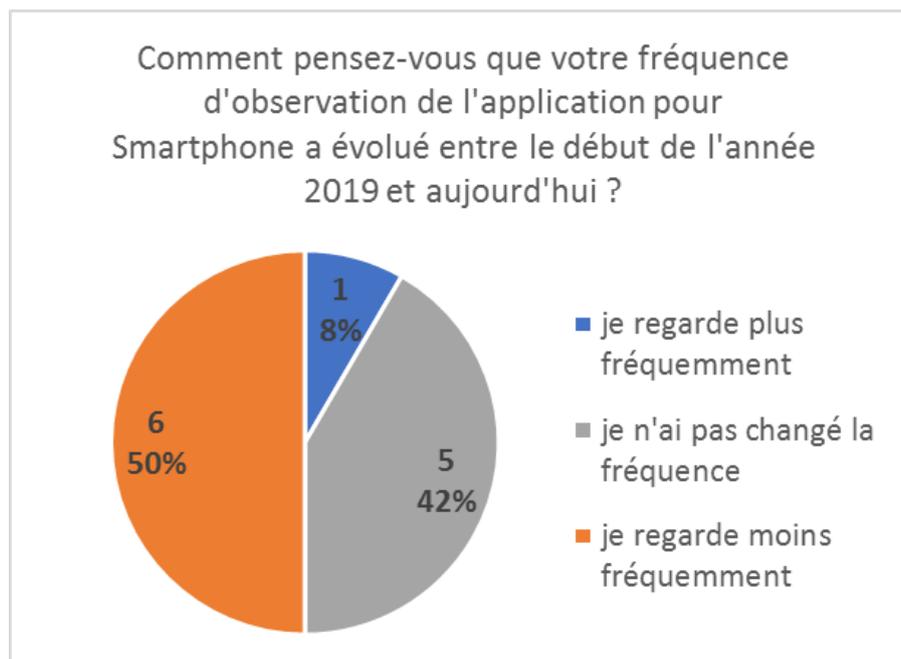


Il ne ressort pas de fréquence de consultation privilégiée de l'application pour smartphone : les réponses varient entre rarement ou jamais et 1 fois par jour.

La personne équipée du Qivivo à Orly indique ne jamais regarder car elle n'a plus son thermostat.



Pour la moitié des répondants (6 sur 12), la fréquence de consultation a diminué entre 2019 et 2020, et elle n'a pas changé pour la plupart des autres (5 sur 12).



A la question « Quand vous consultez l'application, que regardez-vous ? », plusieurs réponses étaient possibles. En nombre décroissant d'occurrence, les réponses obtenues sont :

- 7 occurrences pour l'écran d'accueil, dont 3 pour modifier à distance la température
- 4 occurrences pour la température
- 4 occurrences pour la programmation ou le planning
- 2 occurrences pour le suivi des consommations

Les fonctions de commande à distance sur l'application sont utilisées par le répondant ou les autres occupants dans 8 cas sur 12. Les fonctions déclarées utilisées (plusieurs réponses possibles) sont :

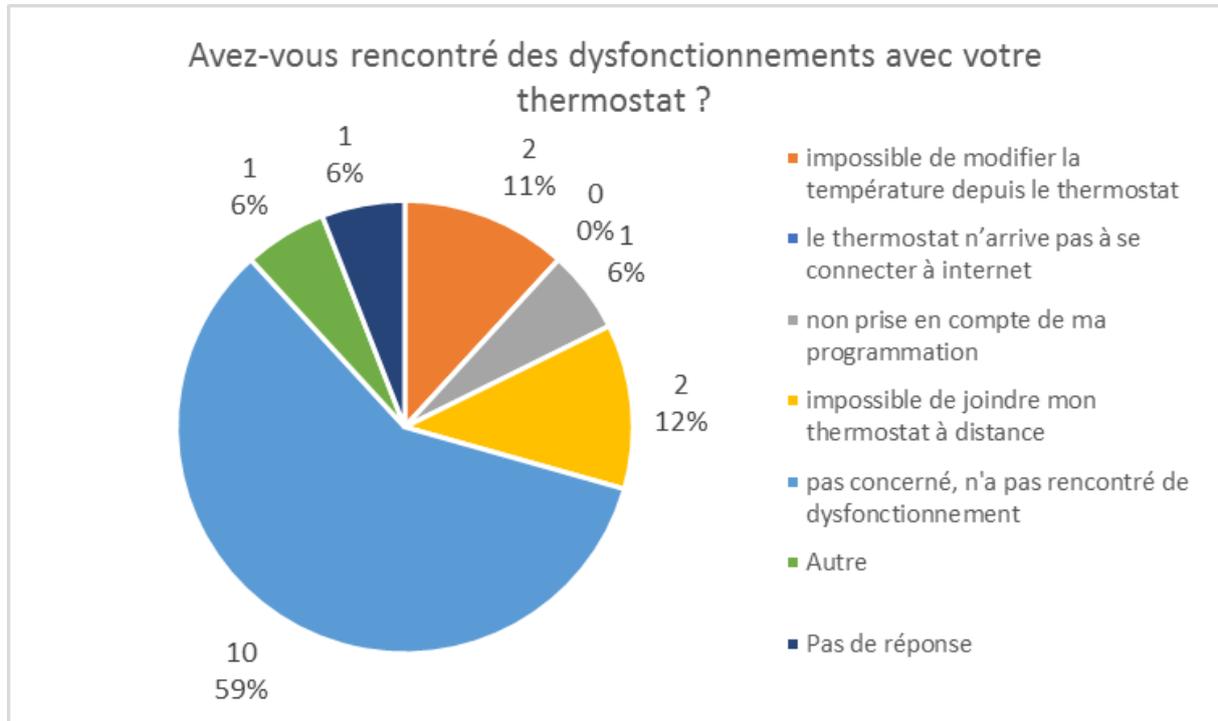
- 7 occurrences pour le réglage de la température
- 4 occurrences pour le mode absence
- 2 occurrences pour la programmation
- 1 occurrence pour la température d'absence
- 1 occurrence pour le mode retour imprévu

Les 4 logements qui n'utilisent pas les fonctions de commande à distance sont : 2 ELM Touch à Longjumeau, le Netatmo à St-Ouen et le Qivivo à Orly.

2.3.9 DYSFONCTIONNEMENTS RENCONTRES

Des questions spécifiques ont été posées pour savoir si des dysfonctionnements ont été constatés, au niveau des thermostats mais aussi au niveau des chaudières.

Une majorité des occupants (60%) n'ont pas rencontré de dysfonctionnement sur leur thermostat (idem en 2019). Quand cela est arrivé, cela s'est produit qu'une seule fois. Les raisons sont indiquées dans le graphique ci-dessous.



L'autre raison indiquée est : « On m'a retiré le thermostat quand on est venu me mettre un compteur Linky car on m'a dit qu'il devenait obsolète. J'ai accepté car il ne fonctionnait pas souvent. » Il s'agit du cas du logement équipé du Qivivo à Orly.

Concernant les dysfonctionnements sur la chaudière et les interventions de maintenance, 4 personnes indiquent avoir rencontré des problèmes de fonctionnement avec leur chaudière durant l'année 2019 et le début d'année 2020 :

- 2 personnes à Longjumeau, en novembre
- 2 personnes à Orly, en octobre et à une date inconnue

Pour la plupart des répondants (excepté pour 2 d'entre eux), il y a eu une ou des interventions de maintenance sur leur chaudière durant la même période. Les dates indiquées par les répondants, selon les sites, sont les suivantes :

- Orly: octobre 2019 et date inconnue
- Longjumeau: mars, juin, octobre, novembre, décembre 2019, janvier 2020
- Paris: juin, octobre, décembre 2019
- St-Ouen: date inconnue (« maintenance classique 3F »)

2.3.10 QUESTIONNAIRE SPECIFIQUE POUR LES THERMOSTATS CLASSIQUES D'ORIGINE

Le questionnaire pour les logements équipés de thermostat classique (c'est-à-dire thermostat d'origine) a obtenu 2 réponses.

Les 2 réponses sont des locataires du site parisien.

Le service rendu par le thermostat est jugé satisfaisant pour les 2. Leur utilisation du boîtier du thermostat est évaluée à « moyennement satisfaisant ».

Un seul logement a un appoint en chauffage. Il est partiellement occupé en journée. Il utilise plusieurs fois par jour son thermostat pour regarder la température ambiante. Il n'a pas rencontré de dysfonctionnement.

L'autre logement utilise rarement ou jamais son thermostat. Il est absent en journée. Il rencontre le dysfonctionnement suivant : impossibilité de modifier la température depuis le thermostat. Il fait la remarque suivante : « *Pas de nouveau thermostat chez nous, juste des capteurs. Le thermostat actuel est dans le salon et quelquefois la chaleur ne se répartit pas correctement ou la température demandée n'est pas tout le temps ajustée.* ». Mais il indique ne pas avoir de sensation de froid notable.

3. RESULTATS DE L'EVALUATION TECHNIQUE

3.1 RESULTATS CONCERNANT LA CONSOMMATION TOTALE DE GAZ

Résultats obtenus

On donne, dans le tableau ci-dessous, les résultats obtenus sur 12 mois continus, concernant la consommation totale de gaz, pour les sites suivis.

Site	Nombre de logements	Ratio (kWh/m ²)		
		Min	Moyenne	Max
Orly	9	63.5	117.3	176.3
Longjumeau	7	19.2	109.1	180.5
Saint-Ouen	2	74.8	84.5	94.2
Paris	10	14.7	109.8	209.8

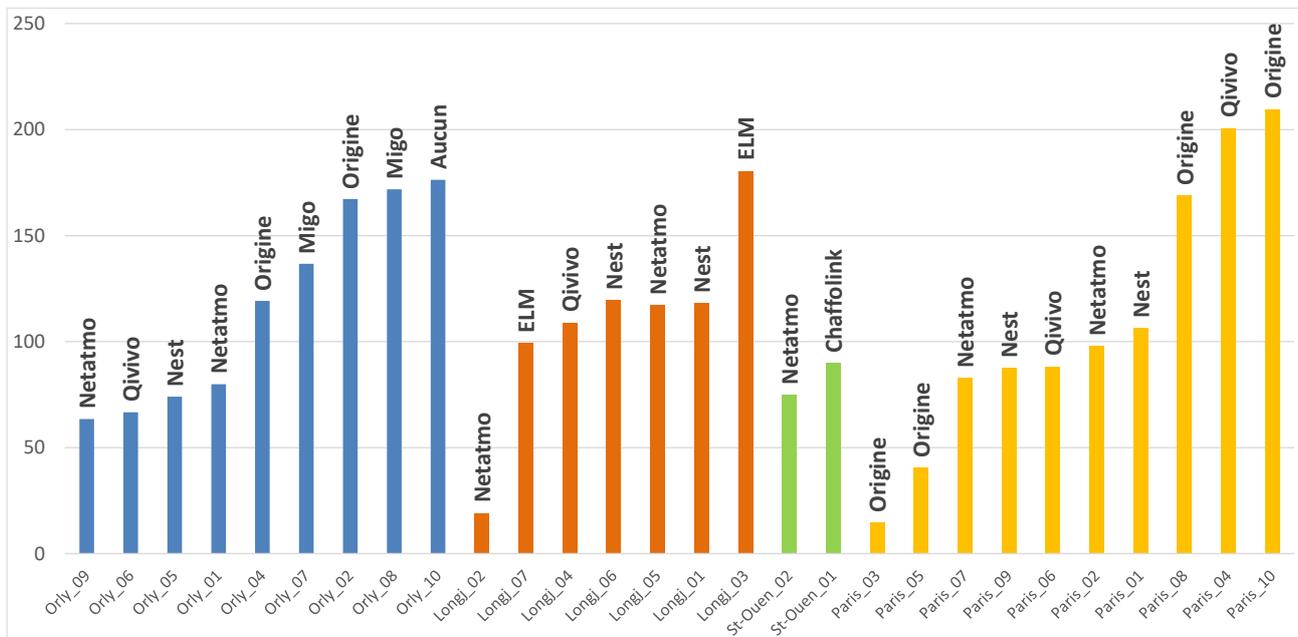


Figure 1 : Consommation totale de gaz sur 12 mois (en kWh_{PCS}/m².an)

Analyse

Sur l'ensemble des sites :

- la consommation annuelle totale de gaz s'étend **de 14,7 à 209,8 kWh_{PCS}/m².an**
- les résultats montrent une dispersion importante des résultats sans corrélation apparente avec la nature du thermostat

Ce premier résultat laisse déjà présager que les comportements ont un impact de premier ordre sur les consommations d'énergie.

Remarque : Les résultats présentés couvrent bien tous les mois d'une année mais ne sont pas établis ni sur les mêmes périodes selon les sites, ni nécessairement sur 12 mois continus.

3.2 RESULTATS CONCERNANT LE REGLAGE ET LE FONCTIONNEMENT DES CHAUDIERES

Rappel de la méthodologie

En traçant les températures maximales journalières au départ chauffage en fonction de la température extérieure moyenne journalière, il est possible de mettre en évidence le mode de commande du thermostat et les réglages chaudières réalisés.

Résultats obtenus

Pour le site d'**Orly**, selon les logements, le réglage de la température de départ chauffage varie de 58°C à 75°C.

Orly_01	Orly_02	Orly_04	Orly_05	Orly_06	Orly_07	Orly_08	Orly_09	Orly_09
Netatmo	Origine	Origine	Nest	Qivivo	Migo	Migo	Netatmo	Nest (*)
62°C	70°C	58°C	58°C	65°C	74°C	75°C	70°C	74°C (*)
Tout ou rien avec température départ d'eau constante								

(*) : Les informations correspondent au premier locataire. A la suite du changement d'occupant, le thermostat connecté et l'instrumentation ont été supprimés. Aucun thermostat n'a été remis.

Pour le site de **Longjumeau**, selon les logements, le réglage de la température de départ chauffage varie de 52°C à 80°C

Longj_01	Longj_02	Longj_03	Longj_04	Longj_05	Longj_06	Longj_07
Nest	Netatmo	ELM_Touch	Qivivo	Netatmo	Nest	ELM_Touch
64°C	52°	65°C max	63°C	80°C	74°C	72°C max
ToR const.	ToR const.	Modulant	ToR const.	ToR const.	ToR const.	Modulant

Pour le site de **Saint-Ouen**, selon les logements, le réglage de la température de départ chauffage varie de 55°C à 75°C.

Site :	Saint-Ouen_01	Saint-Ouen_02
Thermostat :	ChaffoLink	Netatmo
Réglage T° chauffage	60°C à 75°C max	55°C ou 60°C
Mode de régulation	Modulant à pente très faible	ToR départ constant

Pour le site de **Paris**, selon les logements, on constate un réglage de la température d'eau variant de 50°C à 70°C.

Paris_01	Paris_02	Paris_03	Paris_04	Paris_05	Paris_06	Paris_07	Paris_08	Paris_09	Paris_10
Nest	Netatmo	Origine	Qivivo	Origine	Qivivo	Netatmo	Origine	Nest	Origine
66°C	71°C	66°C	62°C	60°C	51°C	70°C	63°C	53°C	61°C
Tout ou rien avec température départ d'eau constante									

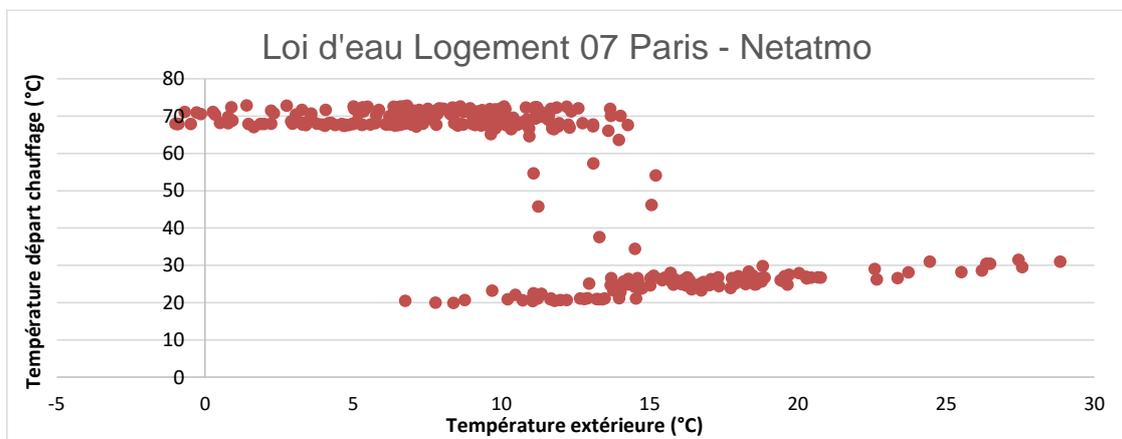


Figure 2 : Exemple de loi d'eau constante obtenue avec régulation tout ou rien

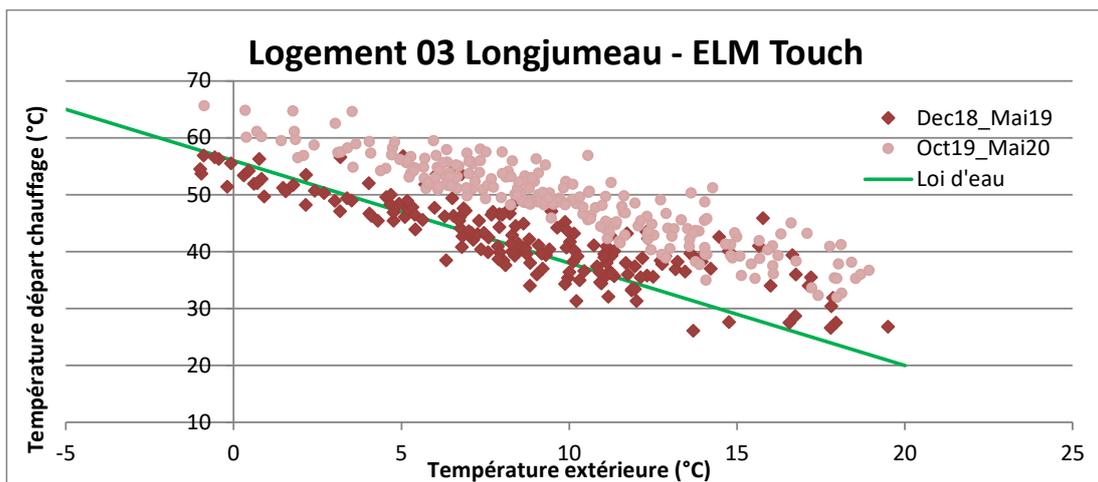


Figure 3 : Exemple de loi d'eau modulante observée

Remarque : Les rapports de site donnés en annexe de ce rapport présentent la loi d'eau obtenue pour chaque logement.

Analyse

Pour les technologies de chaudière les plus anciennes, la technologie des chaudières fait qu'elles sont pilotées en Tout ou Rien quelle que soit la nature du thermostat. Quand le thermostat autorise le fonctionnement de la chaudière, celle-ci fonctionne jusqu'à éventuellement atteindre une valeur haute réglée au niveau de l'aquastat. L'analyse de nos mesures montrent très bien cette valeur de réglage.

Pour les technologies de chaudières plus récentes, les thermostats connectés fabricants s'associent à la régulation de la chaudière et permettent la modulation du bruleur gaz. Les thermostats « Pure-Player » commandent en marche/arrêt la chaudière qui doit être réglée en température de chauffage et d'ECS par l'occupant ou l'entreprise de maintenance.

3.3 RESULTATS CONCERNANT LE CONFORT ET LE COMPORTEMENT

Rappel de la méthodologie

Pour chacun des appartements, les données obtenues ont été analysées selon le processus décrit ci-dessous.

- En s'appuyant sur l'analyse des évolutions de la température ambiante et de l'index de la consommation de gaz, il a été déterminé les périodes de demande de chauffage (appelées par la suite « périodes de confort ») et les périodes de ralenti.
- L'écart entre la température ambiante et la température extérieure a été intégré sur les périodes de confort, permettant ainsi de calculer des « degrés-heures » (désignés par la suite « dh »).

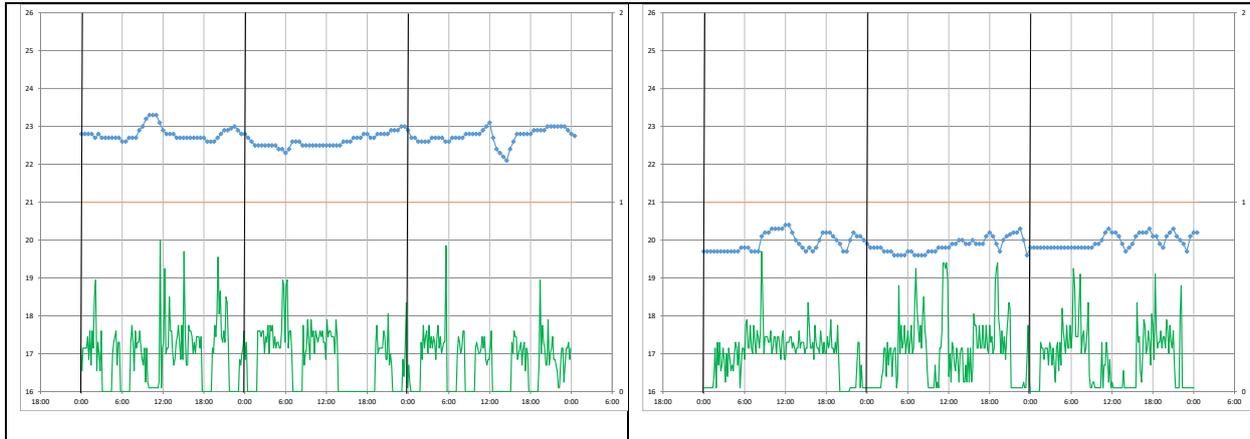
Une fois les périodes de confort déterminées, il a été possible, pour caractériser le niveau de confort et l'usage du logement, d'établir les indicateurs suivants :

- Le nombre cumulé de degrés-heures
- La durée cumulée des périodes de confort
- La température ambiante moyenne en période de confort

Résultats obtenus

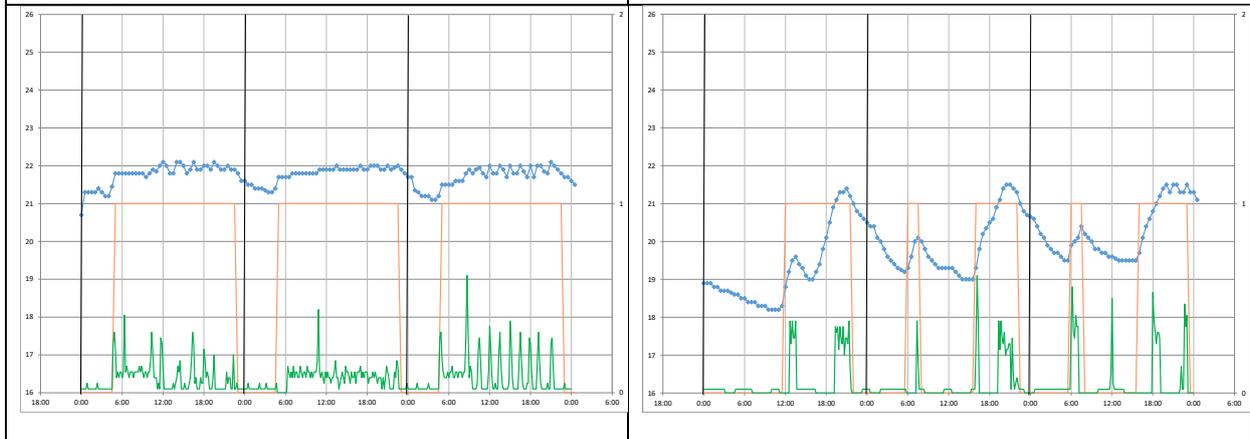
Sur l'ensemble du panel de logements suivis, des différences très nettes d'utilisation du chauffage ont pu être constatées. Quelques profils type peuvent être ressortis (voir page suivante).

Remarque : Les rapports de site donnés en annexe de ce rapport présentent ces mêmes graphiques pour chaque logement.



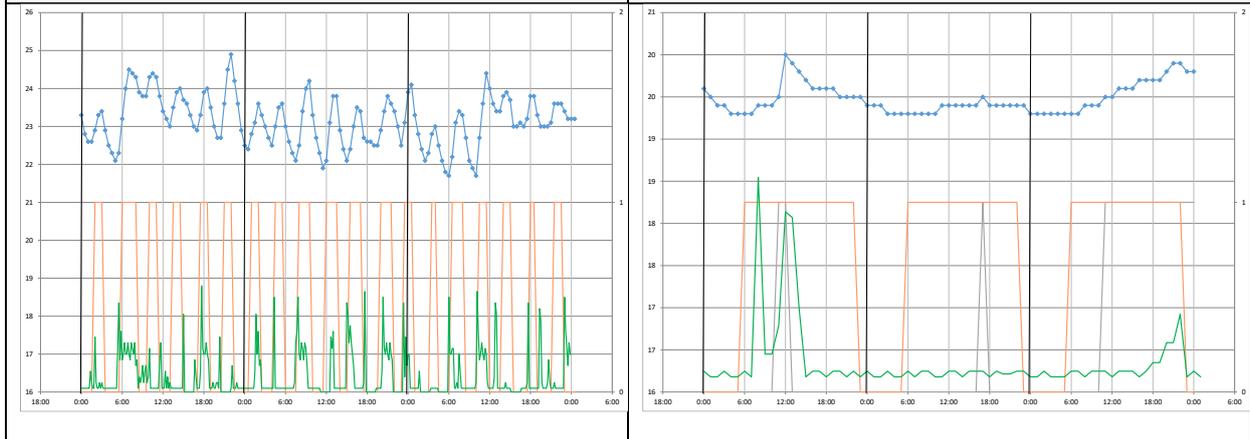
Consigne constante et plutôt élevée
Paris 10

Consigne constante et plutôt basse
Paris 8



Ralenti de nuit
Saint-Ouen 2

Ralenti de nuit et de jour
Paris 2



Comportement instable
Paris 1

Confort obtenu avec de faibles
consommations de gaz (autres apports)
Longjumeau 7

Par ailleurs, on donne, dans le tableau ci-dessous, les résultats obtenus sur la saison de chauffage (15 Octobre / 15 Mars) concernant le confort et le comportement, pour les différents logements suivis :

Site	N° appart	Type de thermostat	Nombre de dh	Temps confort h	T°_amb confort °C	Jours de présence
Orly	6	Qivivo	10 579	826	20.7	213
	7	Migo	27 952	4 703	20.8	213
	9	Netatmo	11 452	1 119	20.7	213
	10	rien	34 173	4 090	24.1	213
Longjumeau	4	Qivivo	42 088	3 981	19.1	210
	5	Netatmo	19 471	1 735	19.9	144
	1	Nest	31 817	2 728	21.0	205
	6	Nest	30 557	2 530	20.7	190
	3	ELM	50 737	4 224	21.1	175
St-Ouen	1	Chaffolink	48 099	3 242	23.1	215
	2	Netatmo	43 977	3 590	21.7	215
Paris	7	Netatmo	26 321	2 071	20.9	155
	9	Nest	46 832	4 205	19.1	137
	6	Qivivo	16 330	1 424	20.6	210
	2	Netatmo	22 107	1 846	20.8	198
	1	Nest	34 271	2 227	24.4	209
	8	Origine	50 182	4 291	19.9	206
	4	Qivivo	31 877	2 820	20.4	208
	10	Origine	57 058	4 175	22.7	210

Analyse

Comme l'ont montré de manière qualitative les graphiques d'évolution de température ambiante présentés plus haut, la plage de valeurs très large dans laquelle se situent les dh des différents appartements suivis illustre, de manière quantitative cette fois, la **variété de situations en termes d'usage du chauffage**.

Le graphique ci-après représente pour tous les logements du site de Paris la température ambiante moyenne et la durée de confort. L'aire obtenue est donc une représentation des dh. Comme le montre ce graphique, il est intéressant de noter que le dh est **une grandeur à deux dimensions**. En effet, le nombre de dh est impacté par **l'intensité de la demande** (le niveau de consigne) et par **la durée de cette demande**. La variation du nombre de dh d'un appartement à l'autre s'explique elle-même par la variation des grandeurs qui l'impactent : le niveau de consigne, la pratique plus ou moins nombreuse et plus ou moins longue de ralentis, le nombre de jours de présence. Ce graphique montre que, même à confort équivalent, le nombre de dh peut varier dans une plage importante, ce qui montre que la réalisation d'économies d'énergie ne se fait pas nécessairement au prix d'une dégradation du confort.

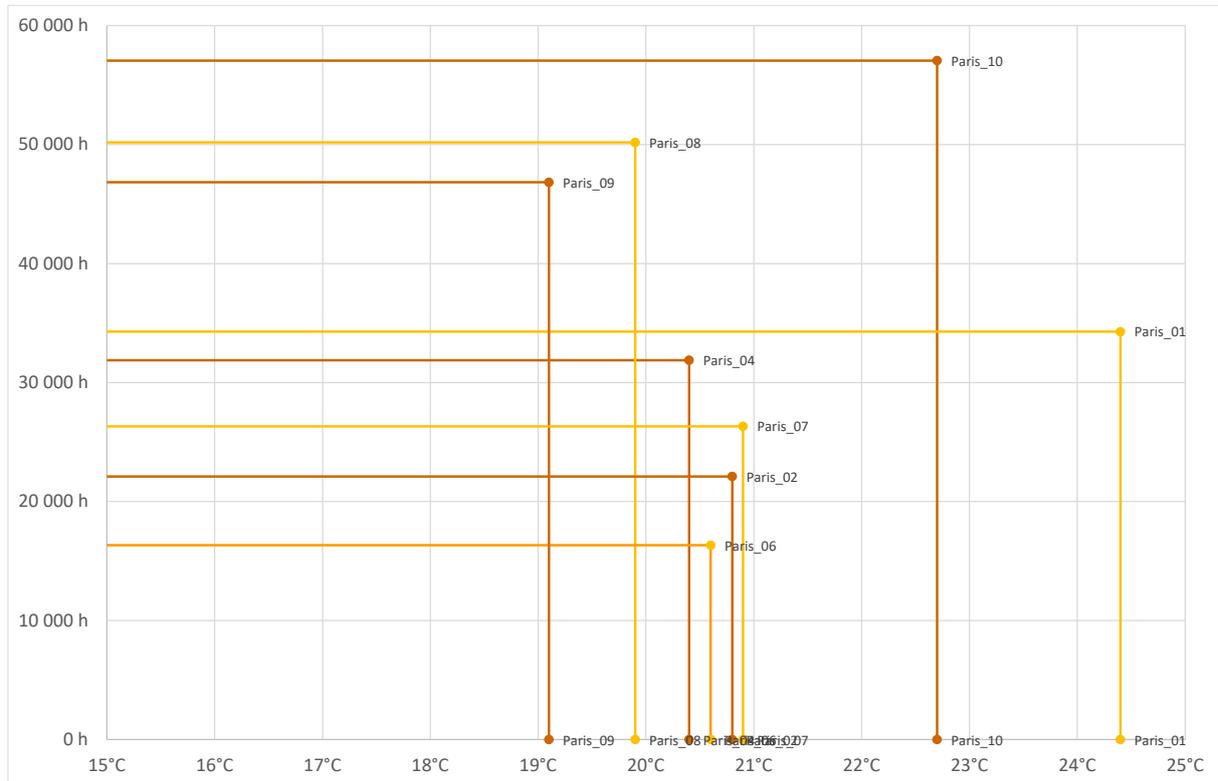


Figure 4 : Structuration des dh

Il est à retenir également qu'il n'est pas toujours simple de distinguer les périodes de demande de confort des ralentis. Par exemple, quand la chaudière s'éteint, s'agit-il du début d'un ralenti ou de la conséquence d'une température de consigne atteinte ? Ou encore, quand la température augmente, est-ce un apport du chauffage ou l'effet d'un apport gratuit ? Les logements présentant les consommations de gaz les plus faibles ont été les plus difficiles à interpréter (et même, pour un certain nombre, ont finalement été exclus de l'analyse), une interprétation possible étant que la consigne du thermostat ait été réglée très bas et que le confort constaté soit principalement la conséquence d'apports gratuits (apports internes, ensoleillement, mais également, logements adjacents).

3.4 RESULTATS CONCERNANT LE CHAUFFAGE

Rappel de la méthodologie

Il a été défini arbitrairement les dates d'une saison de chauffe de référence : du 15 Octobre au 15 Mai (les bornes étant incluses dans la période de chauffage). La consommation de gaz due au chauffage pendant la saison de chauffage, a été déterminée à l'aide des dh hebdomadaires et de la signature.

Résultats obtenus

Pour chaque logement analysé, la corrélation entre les consommations de gaz et le nombre de dh a été établie à un pas hebdomadaire, pour la période du 15 Octobre au 15 Mai. Les régressions linéaires ainsi obtenues (la « signature ») présentent des résultats statistiques satisfaisants.

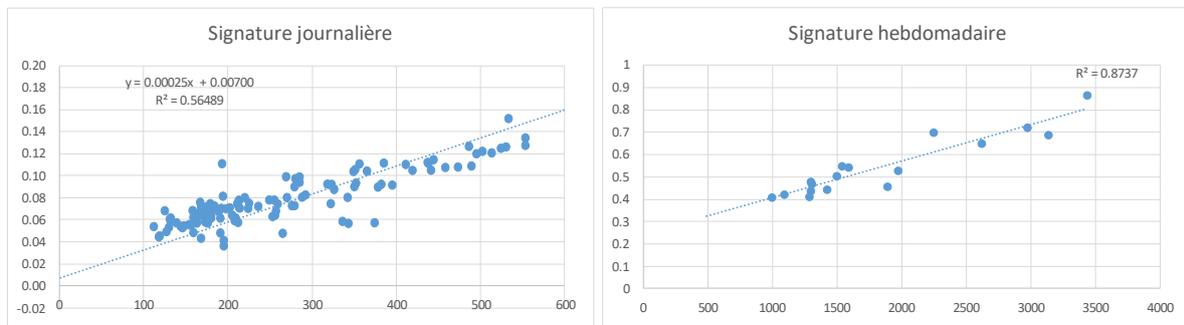


Figure 5 : Exemple de signature journalière et hebdomadaire obtenus.

Remarque : Les rapports de site donnés en annexe de ce rapport présentent les signatures obtenues pour chaque logement.

Ainsi, on donne dans le tableau ci-dessous la valeur moyenne des coefficients de détermination obtenue selon les sites.

Site	Nombre de logements analysés	R ² moyen
Orly	4	0.893
Longjumeau	5	0.894
Saint-Ouen	2	0.895
Paris	8	0.936

On donne, dans le tableau ci-dessous, les résultats obtenus à partir du décompte des dh et de la signature, concernant les consommations de chauffage, du 15 octobre au 15 Mai, pour les différents sites suivis :

Site	Nombre de logements	Ratio (kWh/m ²)		
		Min	Moyenne	Max
Orly	4	41.7	110.2	185.5
Longjumeau	5	71.1	106.4	179.7
Saint-Ouen	2	58.9	66.7	74.4
Paris	8	68.9	108.2	165.7

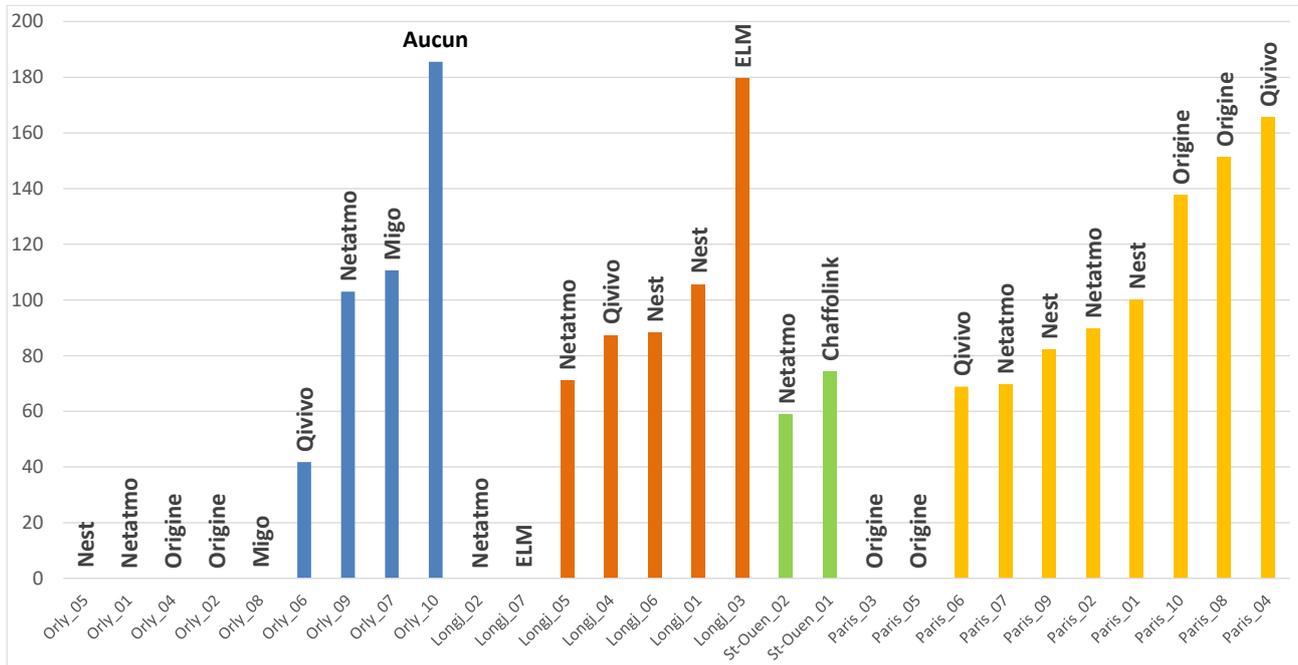


Figure 6 : Consommation de chauffage (en kWh_{PCS}/m².an)

Remarque : Les rapports de site donnés en annexe de ce rapport présentent les résultats détaillés de la décomposition de la consommation gaz (consommation de chauffage, consommation d'ECS en période de chauffage, consommation hors période de chauffage) pour chaque logement.

Analyse

Les résultats obtenus valident l'hypothèse qu'une part (importante) des consommations de gaz est directement corrélée à l'usage qui est fait de l'installation de chauffage. Plus que cela même : du fait de cette signature « conso = f(dh) », le nombre de dh permet non seulement d'objectiver le comportement et mais aussi de quantifier l'impact de ce comportement sur la consommation de chauffage.

Sur l'ensemble des sites, la consommation de chauffage ainsi estimée s'étend **de 41.7 à 185.5 kWh_{PCS}/m².an.**

On observe que la position dans le palmarès a changé pour quelques sites. Ces sites sont ceux qui présentent des consommations gaz dues à l'ECS plus élevées.

La dispersion des consommations de chauffage est la traduction directe de la variation des comportements décrite plus haut.

4. EVALUATION DES ECONOMIES D'ENERGIE APPORTEES PAR LES THERMOSTATS CONNECTES

4.1 APPROCHE 1 : COMPARAISON AVANT / APRES

Méthode

Pour évaluer l'économie d'énergie pouvant être apportée par les thermostats connectés, la première approche envisagée consistait simplement à constater les consommations de gaz avant l'installation du thermostat (à travers les factures) et après l'installation (à travers les consommations mesurées).

Résultats et analyse

Les résultats obtenus pour les appartements sur lesquels il a été possible d'appliquer cette approche sont donnés ci-dessous :

Site	N° appart.	Thermostat	DJU	Economies brutes (kWh _{pcs})	Economies relatives (%)	Eco relatives corrigées en DJU
Longjumeau	2	Netatmo	2339	-1 938	-70.6%	-67.8%
	3	ELM Touch	2339	2 519	23.2%	34.7%
	4	Qivivo	2105	-2 033	-22.4%	-12.8%
	5	Netatmo	2377	-10 983	-59.0%	-54.4%
	6	Nest	2336	-1 161	-9.7%	-1.4%
	7	ELM Touch	2333	-8 950	-55.6%	-51.6%
Saint-Ouen	1	ChaffoLink	2339	-1 809	-20.5%	-13.7%
	2	Netatmo	2284	-1 754	-23.0%	-18.4%
Paris 13 ^e	1	Nest	2136	65	1.0%	5.6%
	2	Netatmo	2136	-740	-9.0%	-4.9%
	3	Origine	2136	-1829	-54.0%	-51.9%
	4	Qivivo	2149	1931	13.0%	18.8%
	5	Origine	2096	157	4.6%	7.3%
	7	Netatmo	2100	-3819	-35.6%	-33.8%
	9	Nest	2136	1236	23.0%	28.6%
Orly	1	Netatmo	2321	-1 588	-15.9%	-13.6%
	2	Origine	721	-1 657	-32.4%	-7.1%
	4	Origine	2403	1 242	10.0%	23.6%
	5	Nest	2165	-3 671	-38.3%	-37.5%
	7	MiGo	2408	-3 926	-21.3%	-11.4%
	9	Netatmo	2395	-4 407	-39.6%	-32.3%
	10	Aucun	2395	7 387	65.4%	85.2%
Moyenne thermostats connectés :				-2 414	-21.19%	-15.63%
Moyenne thermostats origines :				-522	-17.95%	-7.04%

Le graphique suivant présente les économies par comparaison brute des consommations d'énergie gaz entre les factures avant thermostat connecté et la période de suivi d'avril 2019 à mars 2020 avec thermostat connecté.

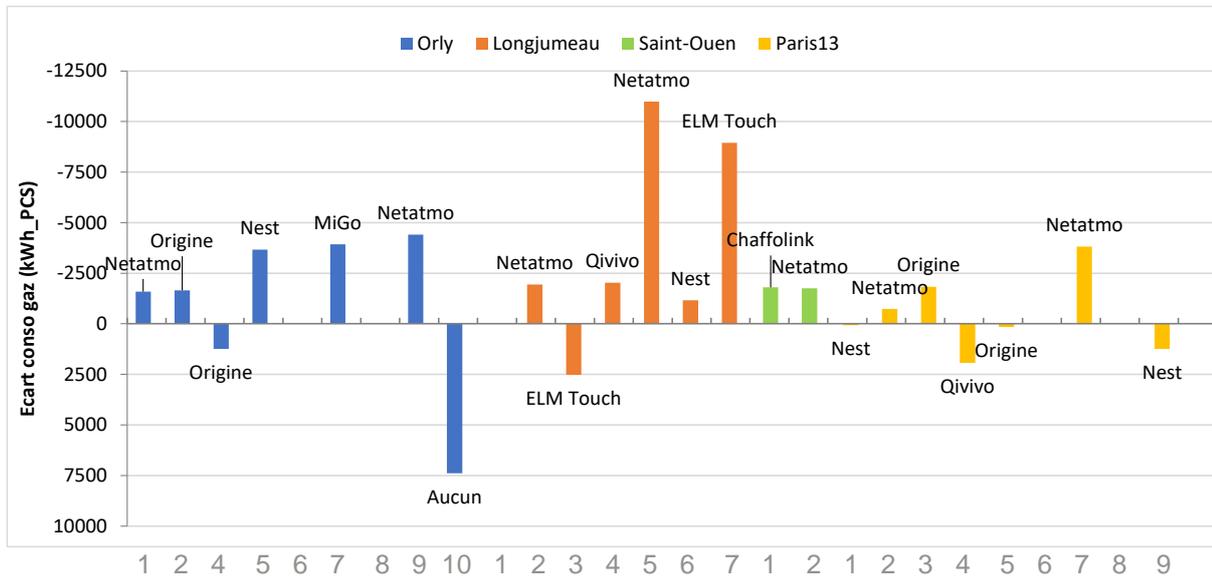


Figure 7 : Economie brute annuelle avant / après du panel

Les économies brutes obtenues sur le panel sont comprises entre -740 kWh_PCS et -10980 kWh_PCS. La valeur moyenne d'économie s'élève à -1620 kWh_PCS. Ce sont les logements 5 et 7 à Longjumeau qui obtiennent les plus importantes diminutions de consommations gaz.

Le second graphique présente le pourcentage d'économie relatif aux factures de gaz avant l'installation des thermostats connectés. Une correction des variations climatiques est aussi appliquée en pondérant les consommations gaz par DJU du site sur la période analysée.

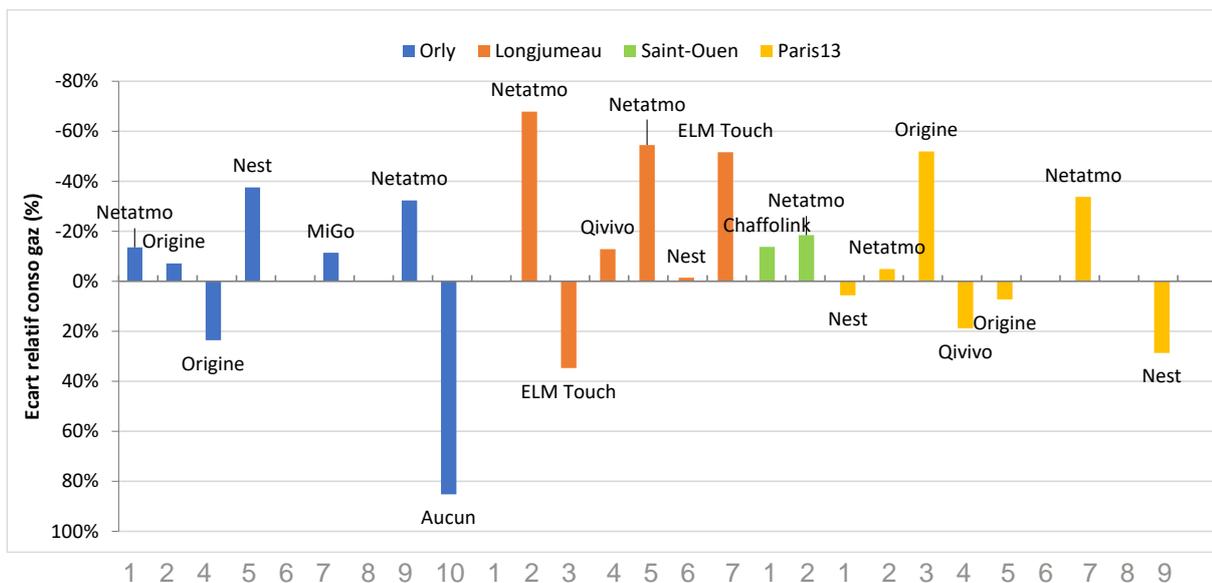


Figure 8 : Economie annuelle relative avant/après et corrigé en DJU

En valeur relative, la répartition des gains économiques évolue légèrement mais est moins représentative du potentiel d'économie. Le niveau de consommation du foyer a alors une forte influence sur cet indicateur, comme par exemple pour le logement 2 à Longjumeau.

Ces résultats dépendent beaucoup de la situation de référence avant évaluation comme l'occupation, les horaires de présence, le comportement, voire le climat. De plus, Les factures gaz intègrent les consommations d'eau chaude sanitaire sur lesquelles les thermostats ne peuvent agir.

Des économies sont constatées aussi avec des thermostats d'origine du fait d'une vérification du branchement des thermostats par le Costic en début de suivi et d'une remise à niveau de leur programmation (heure, planning, activation du réduit).

Ainsi, **le potentiel d'économie d'un thermostat connecté dépend principalement de la situation antérieure** à sa mise en place.

Pour information :

- Le thermostat d'origine du logement 4 à Orly n'était pas correctement raccordé à la chaudière. Par souci d'économie, les occupants éteignaient la chaudière en partant pour ne la rallumer qu'à leur retour. En début de suivi, le Costic a rebranché le thermostat et les occupants ont laissé la régulation de la chaudière travailler. Cela explique l'augmentation des consommations gaz mais elle s'est accompagnée d'une nette amélioration du confort intérieur.
- Les occupants du logement 10 à Orly ont changé dès la première année de l'évaluation. La comparaison avant / après n'est donc pas représentative. De plus, le thermostat connecté ayant été retiré par la société de maintenance, la fin du suivi pour ce logement s'est déroulée sans thermostat. La surconsommation observée s'explique par l'absence de thermostat et donc de régulation.

4.2 APPROCHE 2 : ECONOMIES PAR RAPPORT A DES SCENARIOS DE REFERENCE

Méthode

La consommation de gaz pour le chauffage d'un logement est la conséquence des déperditions thermiques de l'immeuble, de la performance de la chaudière, de la demande de chauffage et du climat.

Comme cela a été démontré précédemment, la signature énergétique est proche pour tous les appartements d'un même immeuble et englobe à la fois les déperditions thermiques de l'immeuble et la performance de la chaudière. Le nombre de dh, quant à lui, prend en compte la demande de chauffage et le climat.

En utilisant les signatures énergétiques issues des mesures, il est possible d'estimer ce qu'aurait été la consommation de gaz pour le chauffage pour un climat donné et un comportement donné.

L'impact attendu du thermostat connecté sur les consommations de chauffage est d'ajuster au mieux la demande thermique à l'utilisation du logement. Dans notre approche, cet impact est quantifiable à travers le nombre de dh mesuré.

Le nombre de dh obtenu peut être assimilé à une notion de résultats ou de performance du thermostat. Dès lors, ce résultat peut être comparé à des résultats de référence et ainsi déterminer une notion d'économie.

Pour chaque immeuble, nous avons déterminé, à partir de la signature énergétique, les consommations de chauffage pour différents scénarios de référence :

- Scénario 1 : Demande constante à 22°C
- Scénario 2 : Demande constante à 21°C
- Scénario 3 : Demande constante à 20°C
- Scénario 4 : Demande à 21°C avec un ralenti de nuit (de 22h à 6h)
- Scénario 5 : Demande à 21°C avec un ralenti de nuit (de 22h à 6h) et, en semaine, un ralenti de jour (de 8 h à 16h)

Les scénarios avec ralenti proposés considèrent l'hypothèse qu'il n'y a aucune consommation de chauffage dans les périodes de ralenti. Cette hypothèse est cohérente avec les observations obtenues lors de ce suivi. En effet, sous réserve d'une consigne de ralenti suffisamment inférieure à la consigne de confort et d'une température extérieure qui ne soit pas trop basse, l'inertie du bâtiment fait que la consigne de ralenti n'est jamais atteinte. Dès lors, la consigne de ralenti n'est plus un paramètre d'entrée du modèle.

Notons qu'un réduit de 3 K a généralement été paramétré lors de l'installation des thermostats, ce qui a suffi à satisfaire la condition d'écart suffisant entre les deux consignes pour qu'il n'y ait pas de sollicitation du système de chauffage sur les phases de ralentis.

Par ailleurs, pour l'ensemble des scénarios, la saison de chauffage est considérée comme allant du 15 Octobre au 15 Mai.

Résultats

On donne ci-dessous les résultats en termes de nombre de dh et de consommation obtenue avec les paramètres du site de Paris (signature, météo).

Scénario	Description	Nb de dh	Conso chauffage (kWh/m ²)	Ecart
1	Demande constante à 22°C	67 083	202.3	+8%
2	Demande constante à 21°C	62 013	187.0	Ref
3	Demande constante à 20°C	56 954	171.7	-8%
4	Demande à 21°C + ralenti de nuit (de 22h à 6h)	42 354	127.7	-32%
5	Demande à 21°C +ralenti de nuit (de 22h à 6h) +ralenti de jour en semaine (de 8 h à 16h)	32 456	97.9	-48%

Remarque : Les rapports de site donnés en annexe de ce rapport présentent les résultats des différents scénarios de référence pour chaque site. Mais les écarts entre scénarios sont très similaires quels que soient les sites.

Il est ensuite possible de positionner les résultats obtenus pour chacun des logements par rapport à ces différents scénarios. Les résultats ont été adimensionnés par rapport au nombre de jours pour neutraliser l'impact des absences.

Le tableau suivant regroupe les résultats pour les sites de Longjumeau, Saint-Ouen et Paris en termes de nombre de dh, température et durée en période de confort. Il permet de comparer les paramètres des scénarios avec ceux des résultats réels obtenus au chapitre 3.3 page 28.

Site	Scénario	Nombre de dh -	Temps de confort h	T°_amb de confort °C	Jours de présence j
Longjumeau	1	65 201	5112	22	213
	2	60 198	5112	21	
	3	55 233	5112	20	
	4	40 653	3408	21	
	5	31 396	2232	21	
Saint-Ouen	1	65 939	5112	22	
	2	60 915	5112	21	
	3	55 907	5112	20	
	4	41 125	3408	21	
	5	31 823	2232	21	
Paris	1	67 083	5112	22	
	2	62 013	5112	21	
	3	56 954	5112	20	
	4	42 354	3408	21	
	5	32 456	2232	21	

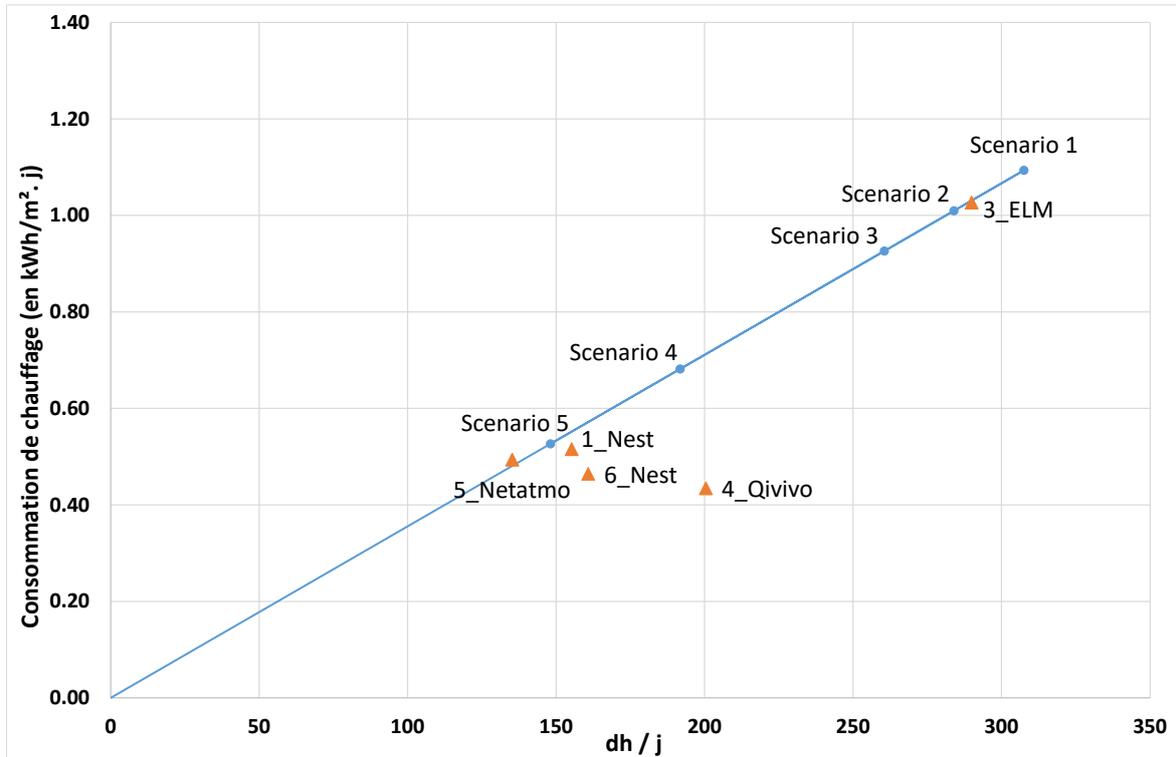


Figure 9 : Résultat des logements par rapport aux scénarios de référence (site de Longjumeau)

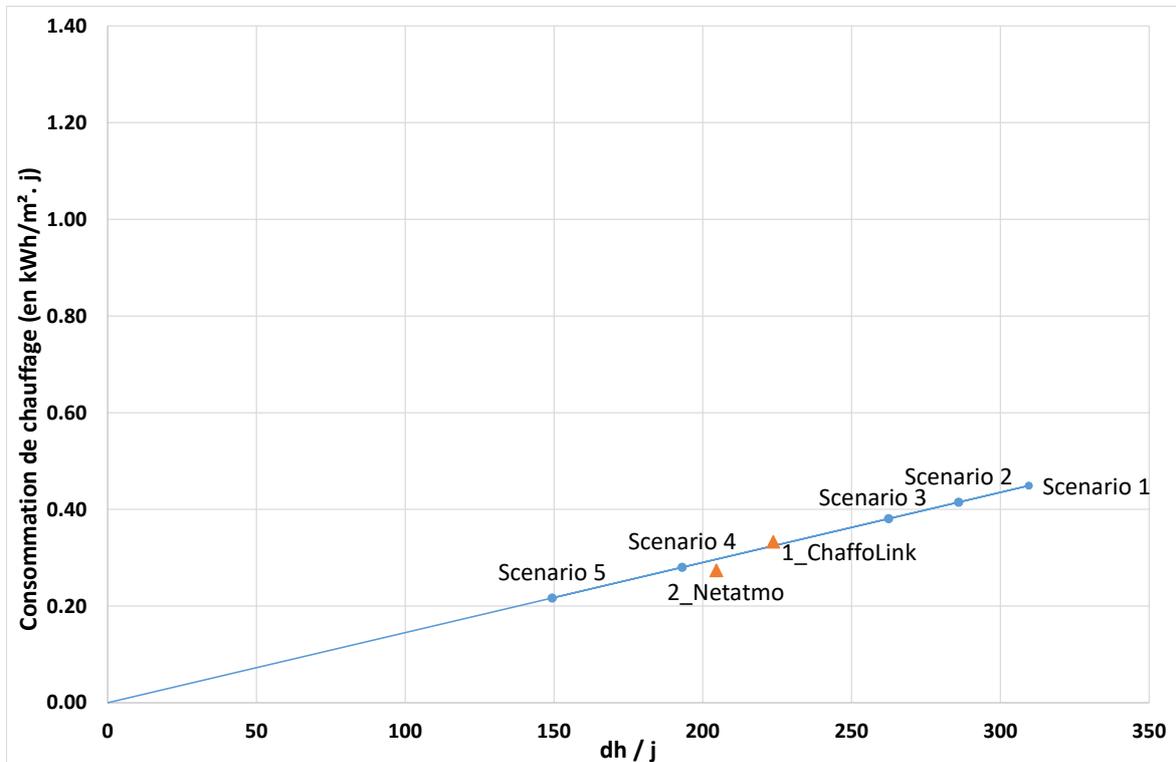


Figure 10 : Résultat des logements par rapport aux scénarios de référence (site de Saint-Ouen)

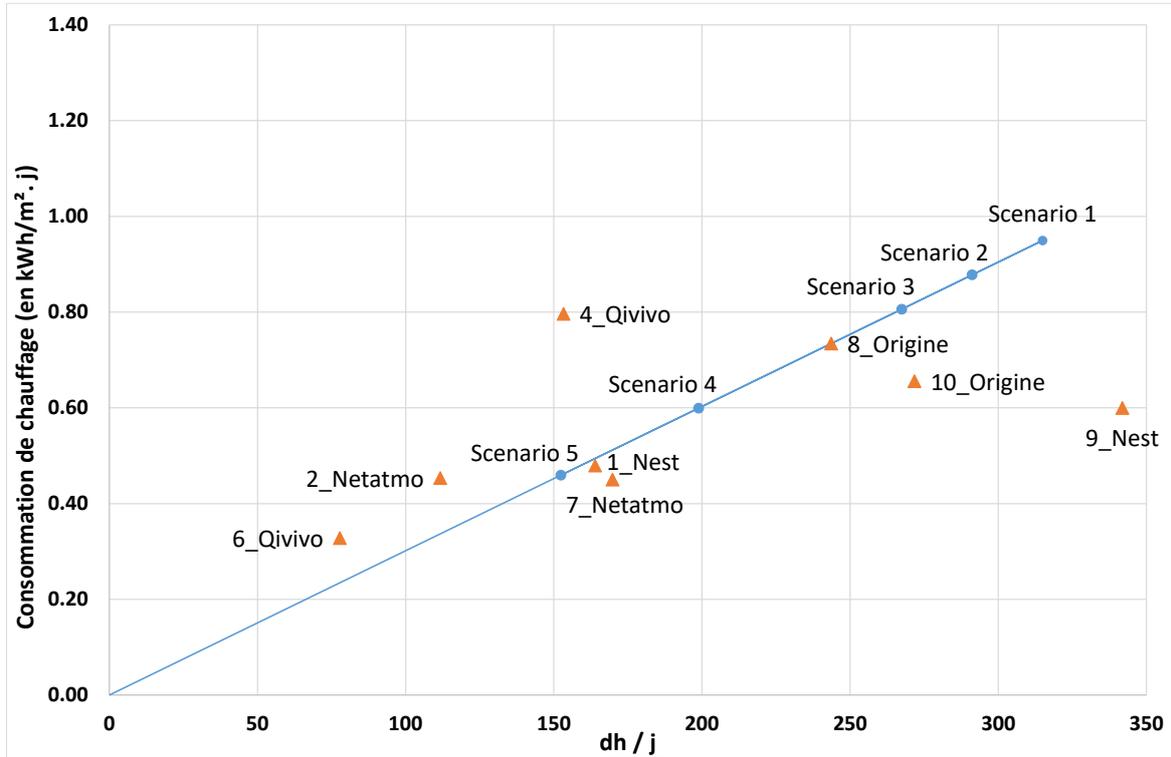


Figure 11 : Résultat des logements par rapport aux scénarios de référence (site de Paris)

Par rapport aux scénarios de référence, l'écart de dh est donné dans le tableau ci-dessous :

Site	N° appart	Type de thermostat	Ecart dh / scénario 1	Ecart dh / scénario 2	Ecart dh / scénario 3	Ecart dh / scénario 4	Ecart dh / scénario 5
Longjumeau	4	Qivivo	-35%	-29%	-23%	5%	35%
	6	Nest	-48%	-43%	-38%	-16%	9%
	5	Netatmo	-56%	-52%	-48%	-29%	-9%
	1	Nest	-50%	-45%	-40%	-19%	5%
	3	ELM	-6%	2%	11%	51%	96%
St-Ouen	1	ChaffoLink	-27.7%	-21.8%	-14.8%	15.9%	49.7%
	2	Netatmo	-33.9%	-28.5%	-22.1%	5.9%	36.9%
Paris	7	Netatmo	-46.1%	-41.7%	-36.5%	-14.6%	11.4%
	9	Nest	8.5%	17.4%	27.8%	71.9%	124.3%
	6	Qivivo	-75.3%	-73.3%	-70.9%	-60.9%	-49.0%
	2	Netatmo	-64.5%	-61.7%	-58.2%	-43.8%	-26.7%
	1	Nest	-47.9%	-43.7%	-38.7%	-17.5%	7.6%
	8	Origine	-22.7%	-16.3%	-8.9%	22.5%	59.9%
	4	Qivivo	-51.3%	-47.4%	-42.7%	-22.9%	0.6%
10	Origine	-13.7%	-6.7%	1.6%	36.6%	78.3%	

Il est également possible de situer une économie d'énergie par rapport à ces scénarios de référence :

Site	N° appartement	Type de thermostat	Economie / scénario 1	Economie / scénario 2	Economie / scénario 3	Economie / scénario 4	Economie / scénario 5
Longjumeau	4	Qivivo	-60.3%	-57.0%	-53.1%	-36.3%	-17.5%
	6	Nest	-57.5%	-54.0%	-49.8%	-31.9%	-11.8%
	5	Netatmo	-54.8%	-51.1%	-46.7%	-27.6%	-6.2%
	1	Nest	-52.8%	-48.9%	-44.3%	-24.4%	-2.1%
	3	ELM	-6.1%	1.7%	10.8%	50.6%	95.0%
St-Ouen	1	ChaffoLink	-25.9%	-19.8%	-12.6%	18.8%	53.6%
	2	Netatmo	-39.0%	-34.0%	-28.1%	-2.2%	26.4%
Paris	7	Netatmo	-52.6%	-48.7%	-44.2%	-24.9%	-2.0%
	9	Nest	-36.8%	-31.7%	-25.6%	0.0%	30.5%
	6	Qivivo	-65.5%	-62.6%	-59.3%	-45.3%	-28.6%
	2	Netatmo	-52.3%	-48.4%	-43.8%	-24.4%	-1.3%
	1	Nest	-49.5%	-45.4%	-40.5%	-20.1%	4.3%
	8	Origine	-22.7%	-16.3%	-8.9%	22.5%	59.9%
	4	Qivivo	-16.1%	-9.3%	-1.2%	32.9%	73.4%
	10	Origine	-30.9%	-25.3%	-18.6%	9.4%	42.8%

Analyse

Remarque : Les rapports de site donnés en annexe de ce rapport donnent des explications concernant les logements qui s'écartent nettement de la droite moyenne.

Concernant les résultats des scénarios de référence, les points à retenir sont les suivants :

- La diminution d'un degré de la température de consigne (scénario 1 vs scénario 2 et scénario 2 vs scénario 3) amène pour les sites étudiés une économie des consommations de chauffage de l'ordre de 8%. Ce chiffre est du même ordre de grandeur que le résultat très souvent entendu dans la profession « 1°C = 7% ».
- Mais la mise en place de ralenti (scénarios 4 et 5) apporte des économies bien supérieures. Pour les sites étudiés ici, elles seraient de l'ordre de 30% (ralenti de nuit) et 50% (ralenti de jour et de nuit).

Concernant les résultats des sites suivis par rapports à ces scénarios de référence, les points à retenir sont les suivants :

- Tous les logements présentent une économie par rapport au scénario 2 (chauffage constant à 21°C) sauf le logement 3 de Longjumeau. Cette économie varie de **-9 % à -63%** selon les sites.
- Par rapport au scénario 5 (chauffage constant à 21°C, ralenti de nuit et de jour) et en écartant les logements dont on sait qu'ils présentent une anomalie, les sites équipés d'un thermostat connecté présentent un écart de consommations allant de **-17% et +95%**.

L'ensemble de ces résultats amènent aux conclusions suivantes :

- L'usage de l'installation de chauffage est un paramètre qui peut faire varier les consommations de chauffage dans une proportion très importante.
- Plus encore que le niveau de consigne, la durée de la demande de chauffage est le paramètre qui impacte le plus cette consommation.
- La mise en place de ralentis, mesure possible dès qu'un thermostat programmable est présent quelle que soit la technologie de ce thermostat, est donc une action très simple à mettre en œuvre et qui génère d'importantes économies d'énergie.
- La mise en place d'un thermostat connecté a, dans la majorité des cas, permis d'obtenir une économie d'énergie par rapport à la situation antérieure.
- Mais cette économie est du même ordre de grandeur que celle apportée par un thermostat bien réglé. D'ailleurs, une fois le thermostat bien réglé, le potentiel d'économie d'énergie encore accessible sans mener de travaux devient assez faible.
- La valeur ajoutée du thermostat connecté réside donc plus dans la facilité d'accès à ces réglages optimum (ralentis, gestion de l'absence), par l'interface et/ou par l'intelligence qu'il embarque, que par ces réglages eux-mêmes.



Le futur en construction

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, exerce quatre activités clés : la recherche et expertise, l'évaluation, la certification et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition énergétique dans le monde de la construction. Son champ de compétence couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

Avec plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – www.cstb.fr