

Livrable 3.4
Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Version	Rédaction	Vérification	Approbation
V2	Ugo De Filippis, El Ghaliya Lekbar, Thierry Guiot, Simon Ligier, Quentin Le Bris, Maxime Raynaud	C. Bouteloup	L. Bertrand

Version	Date	Historique
V1	15/12/2023	Création
V2	10/05/2024	Modifications mineures et publication

Livrable 3.4
 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Table des matières

Table des figures.....	3
Table des tableaux.....	5
1 Introduction	6
2 Présentation du Panel « Suivi au compteur ».....	7
2.1 Recrutement du panel.....	7
2.2 Description du jeu de données	9
2.2.1 Index journaliers et courbes de charge électrique	9
2.2.2 Variables descriptives des logements	9
2.2.3 Données météorologiques.....	9
2.2.4 Recette et consolidation des données.....	10
2.3 Caractéristiques et représentativité du panel	11
2.3.1 Répartition et type de logement	11
2.3.2 Taille et composition des logements.....	13
2.3.3 Equipements et abonnements électriques	15
2.3.4 Synthèse.....	19
3 Analyse des consommations électriques annuelles.....	20
3.1 Consommation par DROM et par typologies de logement	20
3.2 Corrélations et déterminants de la consommation électrique annuelle.....	22
3.3 Conclusions	31
4 Analyse des puissances électriques.....	32
4.1 Puissances appelées par DROM et par typologies de logement	32
4.2 Puissances et abonnements électriques	36
4.3 Conclusions	38
5 Analyse des courbes de charge horaire électrique.....	39
5.1 Courbes de charge par DROM et par typologies de logement et de contrat.....	39
5.2 Impact de la climatisation sur les dynamiques de consommation	42
5.3 Conclusions	47
6 Modélisation et prédiction.....	48
6.1 Analyse du panel par méthodes de clustering.....	48
6.2 Prédications par apprentissage automatique (machine learning)	54
6.2.1 Prédiction du niveau de consommation annuelle	54
6.2.2 Détection de la présence de climatisation.....	55
6.3 Conclusions	56
7 Conclusion générale	57
Bibliographie	59

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Table des figures

Figure 1 – Résultat du recrutement du panel : volumétrie, répartition par DROM, taux de transformation	8
Figure 2 – Répartition géographique du panel Ecco Dom « Suivi au compteur ».....	11
Figure 3 – Répartition du panel en fonction du type de logement (Appartement/Maison) et du statut du logement (Privé/Social).....	12
Figure 4 – Répartition du panel de logements en fonction du nombre de chambres, différencié par statut.....	13
Figure 5 – Répartition du panel de logements en fonction du nombre d'occupants, différencié par statut.....	14
Figure 6 – Comparaison de la taille des ménages par rapport au Recensement 2016.....	14
Figure 7 – Répartition du panel de logements en fonction de la présence de chauffe-eau électrique (CEE), différenciée par statut.....	15
Figure 8 – Répartition du panel de logements en fonction de la présence de climatisation, différenciée par statut.....	16
Figure 9 – Taux de présence de climatisation au sein du panel par commune dans les différents DROM.....	17
Figure 10 – Répartition du panel de logements en fonction du type de contrat d'électricité, différencié par statut.....	18
Figure 11 – Distribution des consommations annuelles électriques par DROM.....	20
Figure 12 – Distribution des consommations annuelles électriques par DROM et par type de logement.....	21
Figure 13 – Distribution des consommations annuelles électriques par DROM et par statut du logement.....	22
Figure 14 – Coefficients des modèles de régression linéaire multiple pour chaque DROM.....	23
Figure 15 – Résultat des tests ANOVA par DROM pour la comparaison des usages de la climatisation.....	24
Figure 16 – Coefficients des modèles de régression linéaire multiple par statut du parc du logement.....	25
Figure 17 – Distribution des consommations annuelles électriques dans chaque DROM et pour le panel total en fonction de la présence ou non de climatisation dans le logement.....	26
Figure 18 – Résultats de l'ACM avec mise en évidence des modalités de la variable relative à la présence de climatisation.....	27
Figure 19 – Distribution des consommations annuelles électriques en fonction du nombre d'occupants dans le logement.....	28
Figure 20 – Résultats de l'ACM avec mise en évidence du nombre d'occupants.....	28
Figure 21 – Distribution des consommations annuelles électriques dans chaque DROM et pour le panel total en fonction de la présence ou non d'eau chaude sanitaire (ECS) électrique.....	29
Figure 22 – Distribution des consommations annuelles électriques des logements sociaux dans chaque DROM et pour le panel total en fonction de la présence ou non d'eau chaude sanitaire (ECS) électrique.....	30
Figure 23 – Distributions des moyennes annuelles de Pmax_jour par DROM et par statut de logement.....	32
Figure 24 – Distributions des valeurs minimales annuelles de Pmax_jour par DROM et par statut de logement.....	33
Figure 25 – Distributions des valeurs maximales annuelles de Pmax_jour par DROM et par statut de logement.....	33
Figure 26 – Distributions des moyennes annuelles de Pmax_jour par DROM en fonction de la présence ou non de climatisation dans le logement.....	34
Figure 27 – Distributions des moyennes annuelles de Pmax_jour par DROM et par type de logement.....	34

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Figure 28 – Moyennes et écarts-types des moyennes annuelles de Pmax_jour des maisons du panel par DROM et par nombre de chambres.....	35
Figure 29 – Moyennes et écarts-types des moyennes annuelles de Pmax_jour des maisons du panel par DROM et par nombre d'occupants.....	35
Figure 30 – Distributions des moyennes annuelles de Pmax_jour par DROM et par puissance souscrite.....	36
Figure 31 – Répartition des changements d'abonnement possibles en fonction des puissances souscrites initiales.....	37
Figure 32 – Répartition des changements d'abonnement possibles par DROM.....	38
Figure 33 – Distributions des courbes de charge moyennes journalières par DROM (en heure locale).	39
Figure 34 – Distributions des courbes de charge moyennes journalières par DROM pour les jours de semaine et de week-end (en heure locale).....	40
Figure 35 – Distributions des courbes de charge moyennes journalières par DROM en fonction de la présence ou non d'eau chaude sanitaire électrique (ECSE –en heure locale).....	40
Figure 36 – Distributions des courbes de charge moyennes journalières par DROM en fonction du type d'abonnement (en heure locale).....	41
Figure 37 – Distributions des courbes de charge moyennes journalières par DROM et par statut de logement (en heure locale).....	42
Figure 38 – Distributions des courbes de charge moyennes journalières par DROM en fonction de la présence ou non de climatisation (en heure locale).....	43
Figure 39 – Distributions des courbes de charge moyennes journalières par DROM en fonction de l'usage exclusivement nocturne ou non de la climatisation (en heure locale).....	44
Figure 40 – Exemple de modélisation énergétique de logements équipés de climatisation en fonction de la température extérieure.....	45
Figure 41 – Courbes de charge annuelles et évolution des DJR et DJC par zone climatique.....	46
Figure 42 – Courbes de charge annuelles des logements équipés ou non de climatisation (resp. de chauffage électrique) et évolution des DJR (resp. DJC) par zone climatique.....	47
Figure 43 – Évolution de l'inertie inter-classe et du coefficient de silhouette en fonction du nombre de classes considéré.....	49
Figure 44 – Distributions des consommations électriques annuelles des logements de chaque classe.....	49
Figure 45 – Représentation des logements dans l'espace à 4 dimensions de l'UMAP en fonction de leur classe.....	50
Figure 46 – Distributions des rapports écart-type/moyenne des distributions des consommations des logements dans les classes en fonction du nombre total de classes considérées dans le partitionnement.....	51
Figure 47 – Illustration de la méthodologie de partitionnement sur deux espaces.....	52

Livrable 3.4
Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Table des tableaux

Tableau 1 - Répartition du parc social dans les DROM (RPLS, 2019).....	12
Tableau 2 - Répartitions par type de logement des logements recrutés et des parcs résidentiels des DROM (INSEE, 2006)	13
Tableau 3 - Répartitions par type de logement des logements sociaux recrutés et des parcs sociaux des DROM (RPLS, 2019)	13
Tableau 4 - Taux de présence d'un chauffe-eau électrique dans le panel suivi et taux de présence d'une production d'ECS non solaire dans les logements des DROM (Recensement, 2016)	16
Tableau 5 - Taux de présence de la climatisation dans le panel suivi et dans les logements des DROM (Recensement, 2016)	17
Tableau 6 - Répartition des climats en fonction des DROM	44
Tableau 7 - Valeurs majoritaires des variables explicatives dans chaque classe.....	52
Tableau 8 - Valeurs majoritaires des variables explicatives dans les sous-classes de la classe 10..	53
Tableau 9 - R ² des principaux modèles d'intelligence artificielle testés pour la prédiction de la consommation annuelle d'électricité.....	55
Tableau 10 - Résultats des principaux modèles d'intelligence artificielle testés pour la détection de climatisation.	56

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

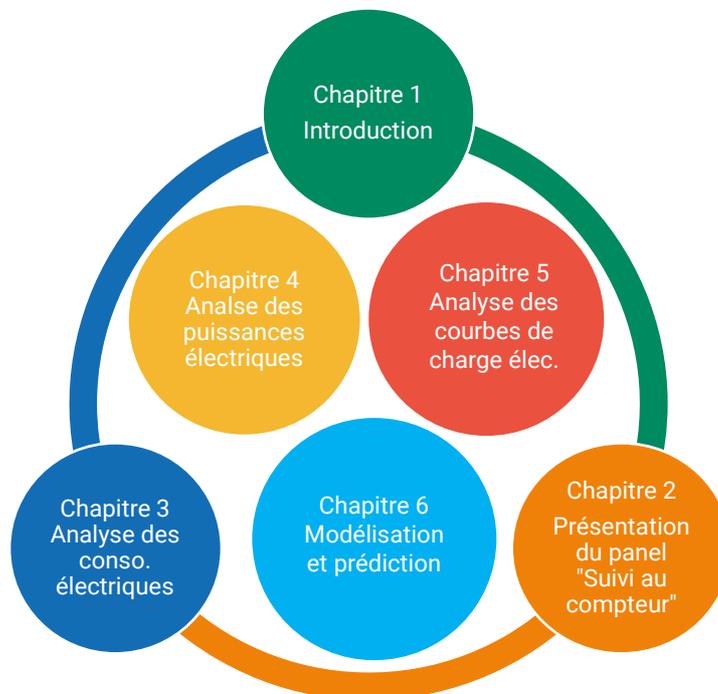
1 Introduction

Le programme ECCO DOM (Page "Programme" site internet ECCO DOM, 2021) se compose de deux phases, la phase 1 « Instrumentation » et la phase 2 « Sensibilisation et accompagnement ». La phase 1 « Instrumentation », pilotée par le CSTB, a pour objectif de constituer un observatoire et un laboratoire sur le parc résidentiel social des Départements et Régions d'Outre-Mer (DROM ; Guadeloupe, Martinique, Guyane, Mayotte et La Réunion) pour :

- d'une part, comprendre les usages de l'électricité¹ et les conditions de confort hygrothermique dans ces logements (la partie observatoire),
- et d'autre part, expérimenter et analyser la mise en œuvre d'écogestes dans ces logements (la partie laboratoire).

L'étude « Suivi au compteur » dont les résultats sont présentés dans ce rapport se caractérise par un panel suivi de grande taille avec des logements sociaux mais aussi des logements privés pour lesquels ont été récupérées des données issues de leur compteur électrique communicant et des données descriptives simplifiées. Elle vient compléter l'étude « Observatoire » d'Ecco Dom (CSTB, Livrable 3.2 - Synthèse des connaissances et analyse de l'observatoire ECCO DOM, 2022) basée sur l'instrumentation d'un panel plus restreint et uniquement de logements sociaux.

Les caractéristiques du panel sont d'abord décrites dans le chapitre 2 du document, puis des analyses sont effectuées sur les consommations électriques annuelles (chapitre 3), sur les données en puissance (chapitre 4) et sur les courbes de charge horaire électrique (chapitre 5). Des modèles prédictifs sont enfin étudiés dans le chapitre final.



Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

2 Présentation du Panel « Suivi au compteur »

2.1 Recrutement du panel

Le recrutement de ce panel est fondé sur la possibilité de remonter les index journaliers et les courbes de charge horaire par les compteurs électriques communicants. Les compteurs électriques communicants des DROM, à l'exception de Mayotte, sont intégrés dans un système d'information qui est sous la responsabilité complète d'EDF SEI. **EDF SEI a sous-traité les composantes techniques du recrutement à sa filiale DATANUMIA spécialisée en programme relationnel.** La définition et la mise en place du process de recrutement se sont donc faites à trois : CSTB, EDF-SEI et DATANUMIA.

Au moment de l'étude, le compteur électrique communicant n'était pas déployé à Mayotte, territoire par ailleurs où la production, la distribution et la commercialisation de l'électricité sont assurées par Electricité De Mayotte (EDM). **Mayotte n'est donc pas représentée dans ce panel.**

En plus des index journaliers et des courbes de charge horaire, le recrutement avait pour objectif de collecter d'une part, quelques métadonnées issues du fichier client d'EDF SEI et d'autre part, les réponses des recrutés à un questionnaire très simple conçu et diffusé spécifiquement pour ce recrutement. Ces métadonnées sont détaillées ci-après en §2.2.2.

Juridiquement, le recrutement a consisté pour EDF SEI à obtenir le consentement de leurs clients pour la mise à disposition des index journaliers, des courbes de charges horaires et des autres données au CSTB dans le respect du Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD). L'ensemble des données collectées et métadonnées ont été recueillies par le groupe EDF (EDF SEI et DATANUMIA). Elles ont été transmises sous une forme anonymisée au CSTB c'est à dire sans qu'il soit possible de retrouver ni l'adresse, ni les noms des clients d'EDF SEI qui ont été recrutés.

De ce fait, il nous est impossible de mettre en relation les deux panels du programme ECCO DOM à savoir ce panel « Suivi au compteur » et le panel instrumenté de l'« Observatoire ECCO DOM » (CSTB, Livrable 3.2 - Synthèse des connaissances et analyse de l'observatoire ECCO DOM, 2022).

Techniquement, le recrutement a été réalisé à travers un web-mailing signé par EDF-SEI auprès de ses clients. Le mailing a été mis en œuvre par DATANUMIA et coconçu par DATANUMIA, EDF-SEI et le CSTB.

La liste de diffusion du mailing a été élaborée à partir du fichier des clients résidentiels d'EDF SEI dans les DROM (hors Mayotte soit Guadeloupe, Martinique, Guyane, Mayotte et La Réunion). Ce fichier client initial a été filtré sur quelques critères :

- EDF SEI connaît le mail du client.
- Le compteur du client est communicant.
- Les fonctionnalités communicantes du compteur sont bien activées.
- **Le client est ou a été éligible au chèque énergie au cours des 3 dernières années.**

Le dernier critère cherchait à capter dans la liste de diffusion des mails un maximum de personnes vivant en logement social, segment du parc du programme ECCO DOM. En effet dans son fichier client EDF SEI ignore si un client donné relève ou pas du logement social.

La clarté et la concision du texte, le graphisme et l'ergonomie de la page web de recrutement ont fait l'objet d'un soin particulier qui relève d'un savoir-faire de EDF SEI et DATANUMIA. **Le succès du recrutement a certainement tenu en partie au couplage du recrutement à une loterie dotée de 5 vélos électriques financés par le projet ECCO DOM.** L'objet du mail annonçait immédiatement l'opportunité de gagner à cette loterie.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Ajoutons que sous l'initiative et la coordination du CSTB, **cette campagne de mailing a été renforcée en amont par une action de communication menée par les bailleurs sociaux participants au projet ECCO DOM auprès de leurs locataires.** Dans le détail, le renforcement amont a été le suivant :

- SIMKO (Guyane) : communication sur son compte Facebook.
- SHLMR (La Réunion) : 27 500 SMS.
- SIDR. (La Réunion) : communication sur la quittance de loyer, bulletin d'information.
- SEMAG (Guadeloupe) : 3 400 SMS.
- SMHLM (Martinique) : 9 500 SMS.

En termes de planning, la campagne de mailing a été étagée sur mai 2022 en exploitant judicieusement la spécificité des calendriers de chaque DROM. Les mails ont été émis en dehors de période de congé ou de pont et en évitant les lundi et vendredi.

Une première vague de 29 700 mails a été suivie 2 semaines plus tard par une seconde vague de 2700 mails dédiée à la consolidation du recrutement en Guyane et en Guadeloupe (envoi d'une relance uniquement aux non-ouvriers du premier mail). Il s'agissait de tenter de rééquilibrer le panel en cohérence avec le nombre de logements sociaux dans chaque DROM tel que repéré par l'enquête RPLS 2019.

In fine, le recrutement a abouti au recrutement d'environ 4100 logements dont presque la moitié est déclaré par les panelistes comme relevant du logement social. Ce panel a naturellement subi une érosion au cours de la collecte des données du compteur communicant qui a duré 1 an, du 1^{er} juin 2022 au 31 mai 2023.

Le taux de transformation est donc de 13% ce qui suivant EDF SEI est plutôt commun dans les DROM en raison de la bonne notoriété de EDF SEI.

4 143 volontaires sur un objectif de 1 000										
Territoire	Population 2019	Parc RPS 2019 social	E-mail 1 ^{ère} vague	Nombre de recrutés 1 ^{ère} vague	Taux de conversion	E-mail 2 ^{ème} vague*	Nombre de recrutés 2 ^{ème} vague	Taux de conversion	Total des recrutés	Nombre de déclarés en logement social
Mayotte	270 372	300								
Guadeloupe	382 704	37 000	3 476	386	11%	1 856	72	4%	458	219
Martinique	364 354	33 200	4 740	483	10%				483	231
Guyane	296 711	18 200	1 797	153	8%	846	21	2%	174	92
Réunion	865 506	75 700	19 699	3 028	15%				3 028	1 352
Total	2 179 647	164 400	29 712	4 050	13%	2 702	93	3%	4 143	1 894

Figure 1 – Résultat du recrutement du panel : volumétrie, répartition par DROM, taux de transformation

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

2.2 Description du jeu de données

Pour chaque logement participant à l'étude sont associées un ensemble de données électriques, des variables descriptives du logement et du ménage et des données météorologiques précisées ci-après.

2.2.1 Index journaliers et courbes de charge électrique

Les données issues du compteurs communicants sont pour chaque logement :

- L'index journalier qui représente la consommation d'énergie active électrique finale chaque jour en Wh.
- La puissance instantanée maximum journalière atteinte au compteur chaque jour en VA.
- La courbe de charge horaire c'est à dire la puissance moyenne horaire chaque heure en kW (puissance active) donnée dans le référentiel de l'heure locale.

2.2.2 Variables descriptives des logements

En plus de l'index journalier, de la puissance maximum journalière et de la courbe de charge horaire nous disposons pour chaque logement du panel, en provenance du fichier client de EDF SEI :

- Du DROM et de la commune (pas d'adresse ni de nom).
- De la puissance souscrite en kVA.
- Du type de contrat souscrit (base ou heure creuse heure pleine).

Ces deux dernières données sont susceptibles d'être actualisées par EDF SEI sur l'année de collecte des données électriques. Nous en sommes alors informés.

En provenance des panelistes eux-mêmes, qui ont dû répondre au questionnaire obligatoire intégré au mail de recrutement, nous connaissons pour chaque logement :

- S'il s'agit d'un appartement ou d'une maison.
- S'il s'agit d'un logement social ou pas.
- Le nombre d'habitants.
- Le nombre de chambres existantes.
- La présence d'un chauffe-eau électrique ou non.
- La présence d'au moins un climatiseur (fixe ou mobile) ou non.
- L'utilisation exclusivement nocturne ou non de la climatisation quand il y en a une.
- L'existence d'un chauffage électrique si le répondant est à La Réunion.

Ces données ont été captées une seule fois et uniquement au recrutement.

2.2.3 Données météorologiques

Des données détaillées de conditions météorologiques associées à différentes stations de mesure dans les DROM ont été récupérées grâce à un partenariat de recherche avec *Météo France*. Ces données ont été mobilisées afin de contextualiser les consommations électriques en fonction des conditions météorologiques.

Différents tests ont été réalisées afin d'étudier la corrélation entre les consommations d'électricité et les grandeurs physiques présentes dans les fichiers météo (températures, rayonnement solaire,

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

vent). Finalement seules les données de **température extérieure horaire moyenne** ont été intégrées et considérées. Celles-ci ont été récupérées sur l'ensemble de la période d'étude.

Ces données horaires permettent de calculer des indicateurs agglomérés caractérisant les conditions météorologiques sur des périodes plus grandes : journalières, mensuelles ou annuelles. Des températures moyennes peuvent être considérées tout comme des degrés-jours de rafraîchissement (DJR) ou de chauffage (DJU) utilisés dans la suite de l'étude et présentés en 5.2.

2.2.4 Recette et consolidation des données

Les réponses anonymisées aux questionnaires des ménages du panel initial de 4143 logements ont été intégrées à l'outil de gestion de données massives TSAR du CSTB.

Un identifiant unique permet de faire le lien avec les données issues des compteurs connectés, index, puissances maximales journalières et courbes de charge horaire, envoyées tous les deux mois par EDF SEI et elles aussi intégrées dans TSAR. Ces données sont accompagnées d'un tableau récapitulatif des statuts des abonnements électriques des ménages. Le panel s'est en effet naturellement érodé durant l'année d'étude du fait des déménagements, des changements d'abonnements ou des pertes de consentement par exemple. Au bout d'un an, **l'échantillon final traité est ainsi de 3878 logements.**

L'outil de traitements de données temporelles TSAR permet d'effectuer des opérations de vérification de la qualité et de nettoyage des données.

La source principale de non-fiabilité provient des questionnaires et de réponses incohérentes. Des filtres ont été appliqués afin de s'assurer de la fiabilité et représentativité du panel ainsi ont été écartés les cas avec :

- Une puissance souscrite supérieure à 12 kVA
- Un nombre de chambres supérieur à 8
- Un nombre de personnes supérieur à 12
- Un ratio occupants/chambres supérieur à 4

Les données d'index, utilisées par le fournisseur d'électricité pour la tarification sont des données fiables avec très peu de problèmes d'absences ou d'erreurs. Les données de puissances maximales journalières présentent elles aussi très peu de problèmes.

Il est plus fréquent d'avoir des périodes manquantes dans la remontée des consommations horaires (Courbe De Charge).

Les règles de qualité suivantes ont été retenues pour la sélection des données étudiées :

- Consommation annuelle comprise entre 300 kWh et 15 MWh
- Proportion de données valides supérieure à 80 %

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

2.3 Caractéristiques et représentativité du panel

Cette partie a pour but de présenter les caractéristiques principales des logements suivis à partir des informations collectées dans le questionnaire. La généralisation des résultats de cette étude dépend de la représentativité du panel de logements étudiés. Plusieurs biais peuvent venir limiter cette représentativité. Tout d'abord le **recrutement décrit dans la partie précédente a été fait uniquement parmi les clients d'EDF SEI éligibles au chèque énergie sur les 3 dernières années** afin de viser le public cible du programme Ecco Dom et ainsi suivre le plus grand nombre de logements sociaux possibles.

La proportion de ménages ayant reçu un chèque énergie en 2021 parmi l'ensemble des ménages des DROM est de 35,3 %, avec un maximum à La Réunion (44,3 %) (DRESS, 2022). Ce choix limite donc la généralisation des résultats obtenus dans cette étude.

Les autres spécificités du recrutement, tel que le medium de l'email, la proposition d'un gain de loterie, la communication faite par certains bailleurs introduisent aussi des biais par rapport à un échantillonnage purement aléatoire.

2.3.1 Répartition et type de logement

Le panel « Suivi au compteur » étudié est composé de 3878 logements qui ont pu être suivis pendant un an, du 1^{er} juin 2022 au 31 mai 2023. Il est important de noter qu'en fonction des données issues des compteurs qui seront étudiées (Index, Pmax_jour, données horaires) ces effectifs pourront varier en fonction des filtres de qualité appliqués.

Une sur-représentation de La Réunion (72,9%) pami ces logements est à noter alors que dans le parc résidentiel des DROM, les logements réunionnais représentent qu'environ 40 % (INSEE, 2019). Ensuite viennent les logements en Martinique (11,8 %), en Guadeloupe (11,1 %) et en Guyane (4,2 %), alors que la Martinique et de la Guadeloupe représentent environ 22 % chacun du parc résidentiel des DROM et la Guyane 9 % (INSEE, 2019). Le Tableau 1 présente le nombre de logements sociaux au sein des quatre DROM. On observe là aussi une sur-représentation de La Réunion (46%) qui est cependant moindre que celle du panel suivi. L'équilibre entre les autres DROM est toutefois relativement respecté.

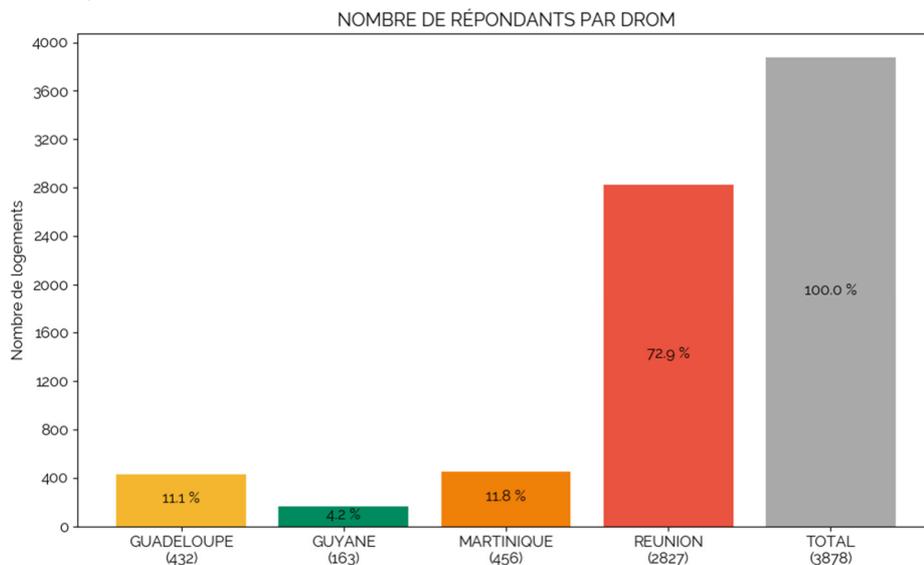


Figure 2 – Répartition géographique du panel Ecco Dom « Suivi au compteur »

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Tableau 1 - Répartition du parc social dans les DROM (RPLS, 2019)

DROM	Logements du parc social	Proportion parmi le parc social des DROM
Guadeloupe	37 000	23 %
Guyane	18 200	11 %
Martinique	33 200	20 %
La Réunion	757 00	46 %

La Figure 3 montre la répartition des logements du panel en fonction de leur type, appartement ou maison, et de leur statut, logement privé ou social. Globalement, le panel étudié est légèrement dominé par le logement privé (54 %) alors que ce dernier représente environ 80 % du parc résidentiel des DROM (CSTB, Livrable 1.2 – Partie 1 - Etudes bibliographiques et état de l'art, 2021) dénotant ainsi **une sur-représentation du logement social au sein du panel**, comme recherché au travers le recrutement effectué. **80 % des logements privés y sont des maisons et 80 % des logements sociaux y sont des appartements.**

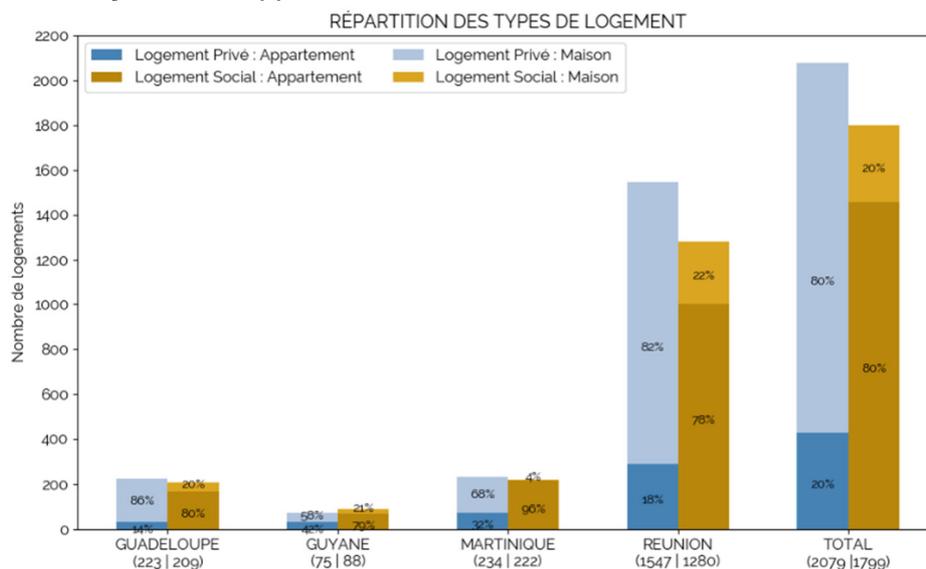


Figure 3 – Répartition du panel en fonction du type de logement (Appartement/Maison) et du statut du logement (Privé/Social)

Le Tableau 2 et le Tableau 3 contextualisent cette répartition obtenue sur le panel en comparant avec respectivement les chiffres des types de logement pour l'ensemble du parc résidentiel de chaque DROM et uniquement pour les logements sociaux de chaque DROM.

Sur l'ensemble du panel, on observe **une sur-représentation des appartements par rapport aux parcs résidentiels des DROM**, ceci s'explique par le public visé et le plus grand pourcentage de logements sociaux dans le panel. **Si on restreint l'analyse aux logements sociaux, la représentativité du panel social de l'étude est très satisfaisante avec des valeurs similaires aux chiffres des différents territoires.**

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Tableau 2 - Répartitions par type de logement des logements recrutés et des parcs résidentiels des DROM (INSEE, 2006)

DROM	Appartements		Maisons	
	Ensemble du parc du DROM	Panel ECCO DOM « Suivi au compteur » du DROM	Ensemble du parc du DROM	Panel ECCO DOM « Suivi au compteur » du DROM
Guadeloupe	23 %	46 %	75 %	54 %
Guyane	28 %	62 %	67 %	38 %
Martinique	34 %	63 %	65 %	37 %
La Réunion	28 %	45 %	71 %	55 %

Tableau 3 - Répartitions par type de logement des logements sociaux recrutés et des parcs sociaux des DROM (RPLS, 2019)

DROM	Appartements		Maisons	
	Ensemble du parc social du DROM	Panel social ECCO DOM « Suivi au compteur » du DROM	Ensemble du parc social du DROM	Panel social ECCO DOM « Suivi au compteur » du DROM
Guadeloupe	78 %	80 %	22 %	20 %
Guyane	79 %	79 %	21 %	21 %
Martinique	~100 %	96 %	~0 %	4 %
La Réunion	86 %	78 %	14 %	22 %
Total	86 %	91 %	14 %	9 %

2.3.2 Taille et composition des logements

On s'intéresse ici à la taille des logements et à la composition des ménages. La répartition des nombres de chambres, information collectée dans les questionnaires, est présentée sur la Figure 4. On observe globalement des logements plus grands dans le parc privé à part en Guyane où 50 % du panel social est composé de logements de 3 chambres.

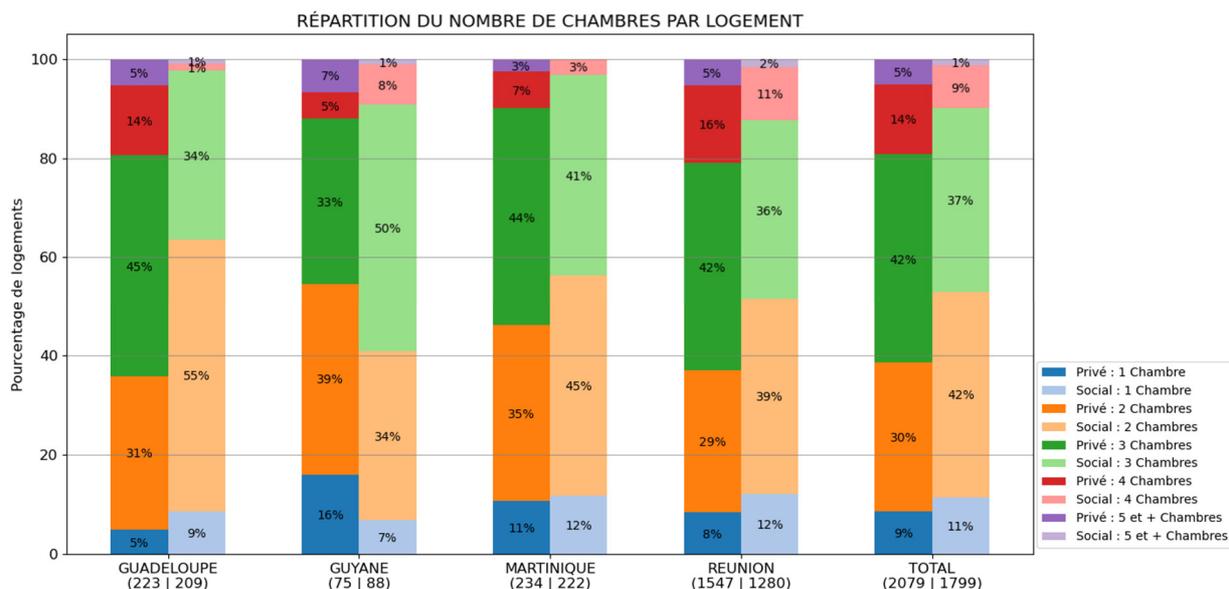


Figure 4 – Répartition du panel de logements en fonction du nombre de chambres, différencié par statut

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

En ce qui concerne la taille des ménages (Figure 5), la situation entre parcs social et privé est très similaire, notamment à La Réunion et sur le panel global. La Guyane se distingue avec des logements sociaux composés de familles plus nombreuses, ce qui est cohérent avec le plus grand nombre de chambres observé. En croisant taille des logements et effectif des ménages, on déduit une densité d'occupation supérieure dans le social, ce qui avait été observé et commenté dans (CSTB, Livrable 3.2 - Synthèse des connaissances et analyse de l'observatoire ECCO DOM, 2022).

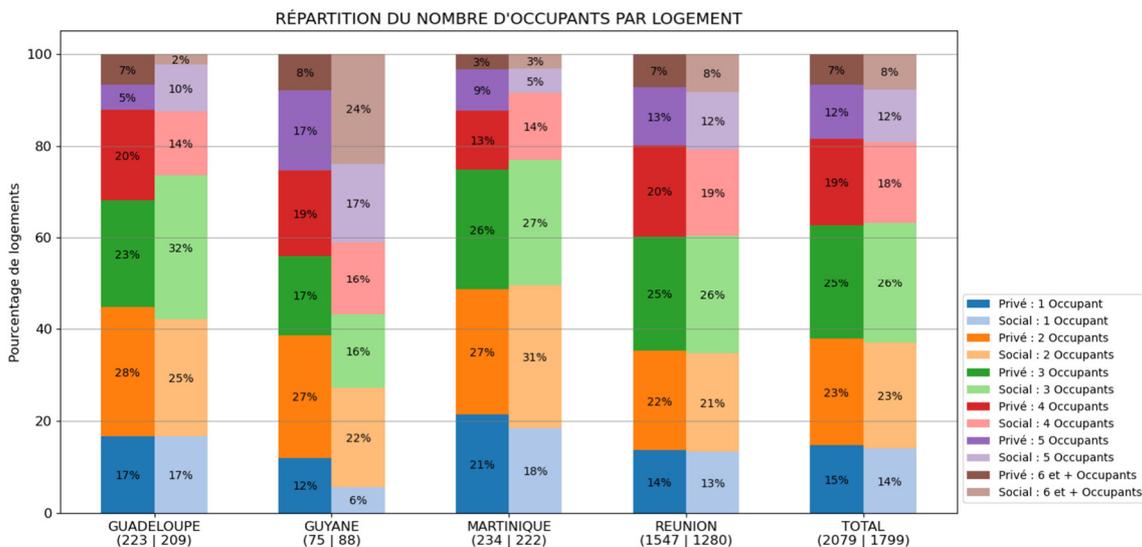


Figure 5 – Répartition du panel de logements en fonction du nombre d'occupants, différencié par statut

La Figure 6 présente une comparaison de la taille des ménages dans le panel avec les chiffres du recensement de la population de 2016. On observe **des nombres d'occupant par logement supérieurs dans le panel** par rapport à cette source, avec en particulier **beaucoup moins de logements avec une seule personne**.

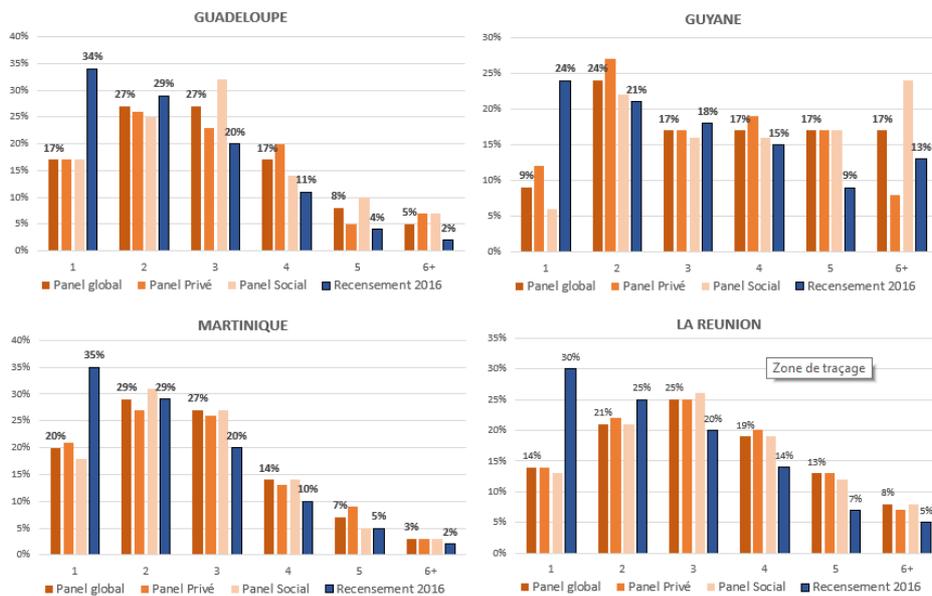


Figure 6 – Comparaison de la taille des ménages par rapport au Recensement 2016

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

2.3.3 Equipements et abonnements électriques

La richesse de l'étude est enfin liée à la connaissance des équipements électriques particulièrement consommateurs d'énergie dans les logements : les chauffe-eaux électriques et les climatiseurs.

La Figure 7 montre les taux d'équipement en **chauffe-eau électrique** parmi les logements suivis. On peut constater que globalement, **2/3 des logements sociaux en possèdent un alors qu'un peu moins de la moitié des logements privés en sont équipés**. Toutefois, il est à noter que la situation varie entre les DROM, là où les chiffres à La Réunion sont proches des chiffres globaux, les taux de présence entre logement social et logement privé sont plus homogènes sur les trois autres DROM (avec des taux de présence d'un peu moins de 50 %).

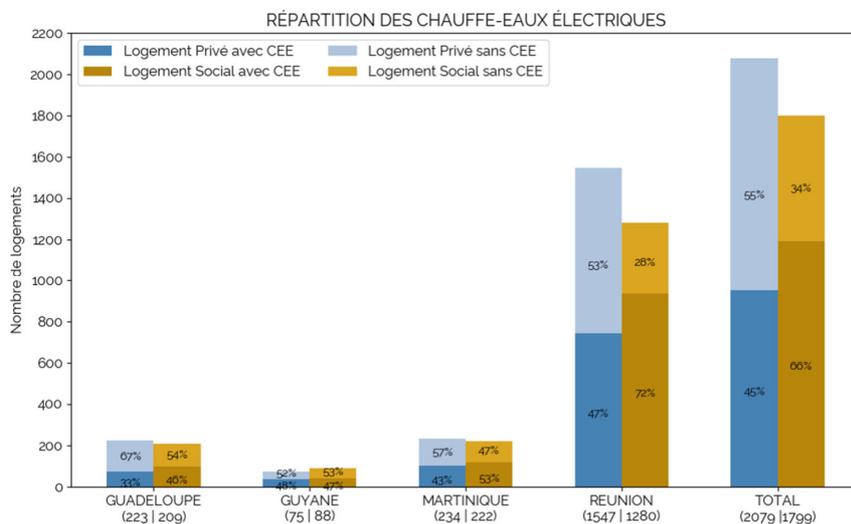


Figure 7 – Répartition du panel de logements en fonction de la présence de chauffe-eau électrique (CEE), différenciée par statut

Par ailleurs, il a remarqué que **les niveaux de présence en chauffe-eau électrique observés dans le panel de La Réunion et notamment sur les logements sociaux de celui-ci, sont significativement supérieurs aux chiffres de référence trouvés pour l'année 2016 pour les parcs résidentiel et social du territoire** (Tableau 4). Sur les trois autres DROM, les chiffres de référence et les chiffres sur le panel présentent globalement des écarts plus réduits.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Tableau 4 – Taux de présence d'un chauffe-eau électrique dans le panel suivi et taux de présence d'une production d'ECS non solaire dans les logements des DROM (Recensement, 2016)

DROM	Logements avec un chauffe-eau électrique sur le panel total ECCO DOM « Suivi au compteur »	Logements avec une production d'eau chaude non solaire parmi l'ensemble du parc résidentiel	Logements avec un chauffe-eau électrique sur le panel social ECCO DOM « Suivi au compteur »	Logements avec une production d'eau chaude non solaire parmi l'ensemble du parc social
Guadeloupe	39 %	45 %	46 %	43 %
Guyane	47 %	38 %	47%	44 %
Martinique	48 %	48 %	53 %	37 %
La Réunion	58 %	42 %	72 %	46 %

Concernant la présence de **climatisation** (Figure 8), le taux d'équipement est cette fois-ci globalement **deux fois plus élevé dans les logements privés (41 %) que dans les logements sociaux (22 %)**. Les logements sociaux sont partout moins équipés que les logements privés, notamment à La Réunion.

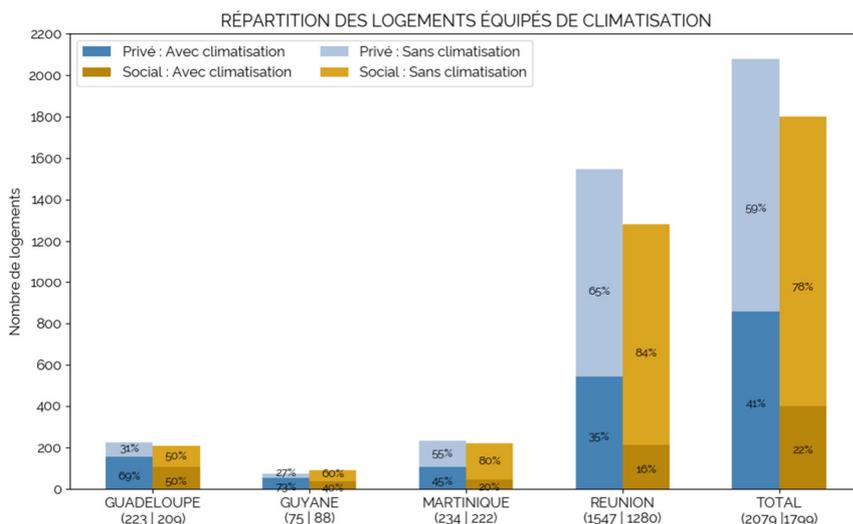


Figure 8 – Répartition du panel de logements en fonction de la présence de climatisation, différenciée par statut

Cependant, on peut remarquer que **les niveaux de présence de climatisation observés dans le panel global, et même uniquement pour les logements sociaux de celui-ci, sont supérieurs aux chiffres de référence trouvés pour l'année 2016 pour les parcs résidentiels et sociaux des différents DROM** (Tableau 5), potentiellement en partie dû à l'augmentation de la pénétration de la climatisation au sein des logements entre 2016 et 2022 (année du recrutement du panel).

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Tableau 5 – Taux de présence de la climatisation dans le panel suivi et dans les logements des DROM (Recensement, 2016)

DROM	Panel total ECCO DOM « Suivi au compteur »	Ensemble du parc résidentiel	Panel social ECCO DOM « Suivi au compteur »	Ensemble du parc social
Guadeloupe	61 %	47 %	50 %	34 %
Guyane	56 %	38 %	40 %	37 %
Martinique	34 %	26 %	20 %	10 %
La Réunion	27 %	25 %	16 %	7 %

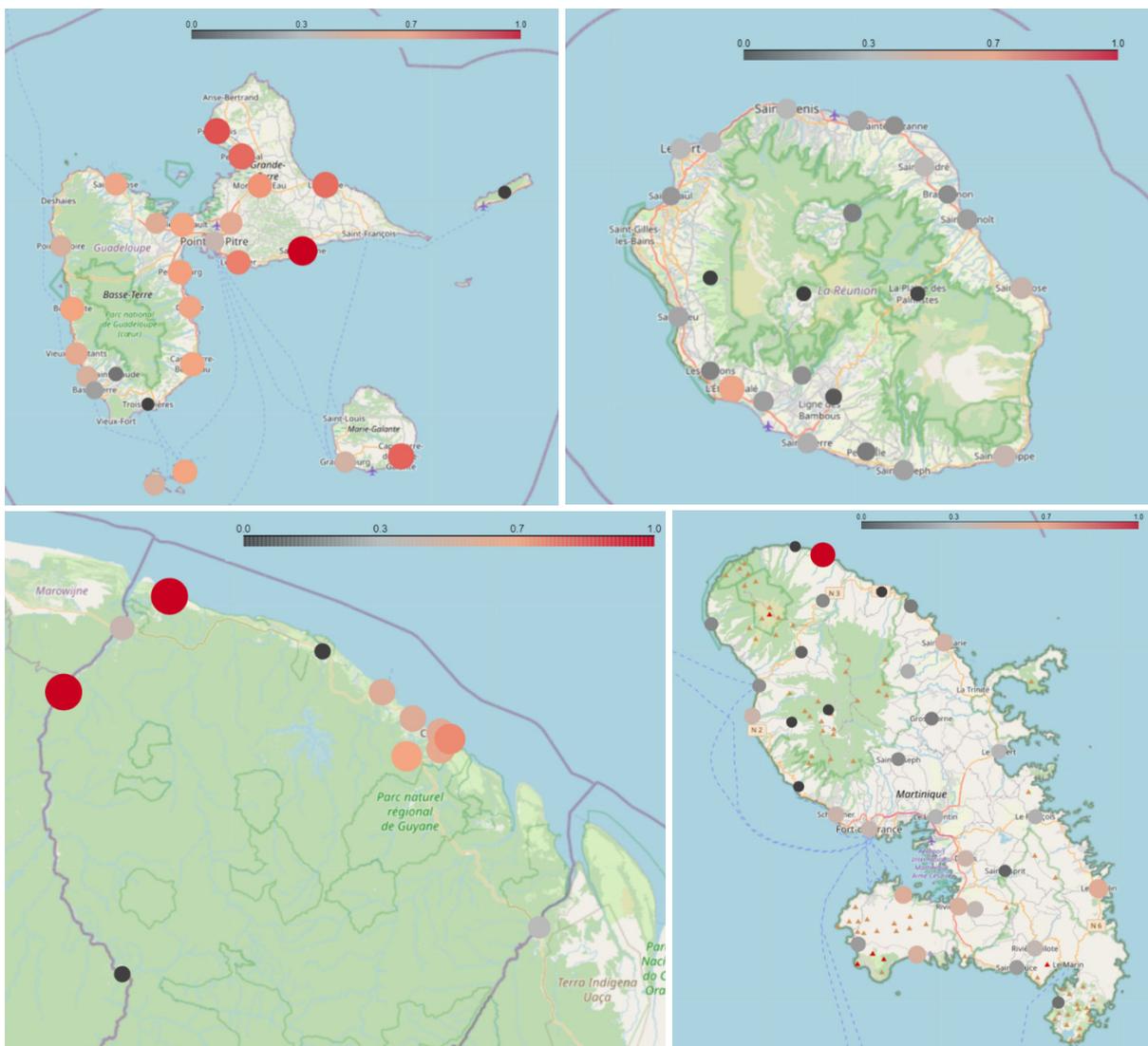


Figure 9 – Taux de présence de climatisation au sein du panel par commune dans les différents DROM, de haut en bas et droite à gauche en Guadeloupe, à La Réunion, en Guyane et en Martinique

Sur la Figure 9 ci-dessus sont détaillés les taux de présence de climatisation au sein du panel par commune dans les différents DROM. Les territoires les plus équipés sont la Guyane et la

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Guadeloupe. On constate notamment qu'en Guadeloupe les communes de Grande-Terre ont plus d'équipements qu'à Basse-Terre.

Enfin, les métadonnées récupérées auprès d'EDF permettent de connaître le **type de contrat** de fourniture d'électricité des logements étudiés et en particulier la **présence de la tarification en heures pleines/heures creuses**. Celle-ci concerne globalement entre 20 % (social) et 25 % (privé) du panel. En Guadeloupe, ce type d'abonnement est plus répandu avec 49 % du parc privé et 31 % du parc social qui y souscrit alors que c'est à la Guyane qu'il y est le moins présent notamment dans le parc social (6 %).

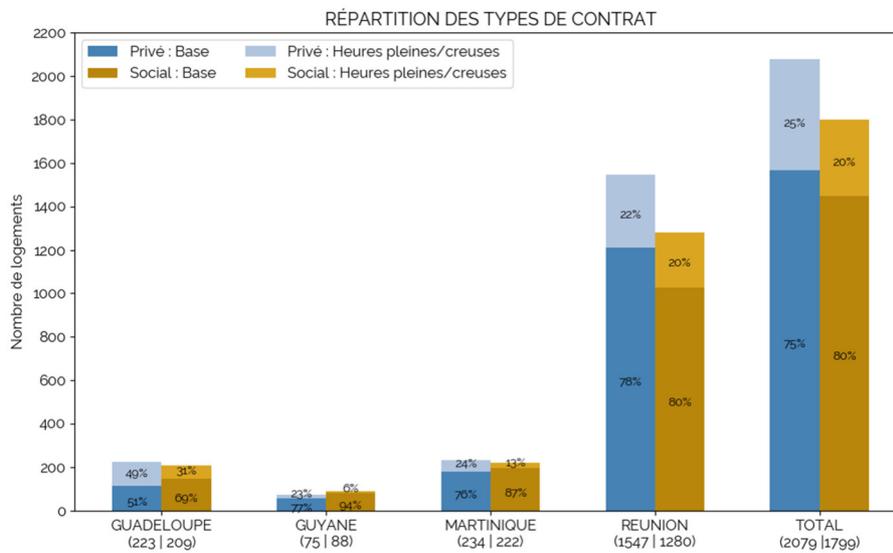


Figure 10 – Répartition du panel de logements en fonction du type de contrat d'électricité, différencié par statut

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

2.3.4 Synthèse

L'étude du panel de 3878 logements doit se faire au regard de ses spécificités. Par rapport au parc global des DROM, il se caractérise par **une sur-représentation des logements sociaux** inhérente à la méthode de recrutement au sein uniquement des éligibles au chèque énergie, qui sont la cible du projet ECCO DOM. Les **logements à La Réunion sont aussi sur-représentés**.

Dans la suite de cette étude, il sera important de différencier les analyses entre **les logements sociaux et privés très contrasté en termes de répartition entre appartements (80 % des logements sociaux) et maisons (80 % des logements privés)**. Les logements sociaux du panel sont cependant plutôt représentatifs des parcs sociaux des DROM avec une très large majorité d'appartements.

On peut noter que le nombre d'occupants par logement est en moyenne assez élevé. Le recrutement a probablement échoué à capter des logements avec un unique occupant.

Les taux d'équipement en chauffe-eau électrique et en climatisation sont globalement supérieurs aux données recensées sur les parcs des DROM.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

3 Analyse des consommations électriques annuelles

3.1 Consommation par DROM et par typologies de logement

La Figure 11 ci-dessous présente les distributions² des consommations électriques annuelles (de début juin 2022 à fin mai 2023) de l'ensemble des logements du panel et différenciés selon les DROM. Au regard des caractéristiques du panel, **les consommations moyennes observées dans chaque DROM sont similaires en termes d'ordre de grandeur aux valeurs de la littérature** : pour une résidence principale, 4 100 kWh par an en Guadeloupe, 4 700 kWh en Guyane, 3 600 kWh en Martinique et 3 800 kWh à La Réunion (CSTB, Livrable 1.2 – Partie 1 - Etudes bibliographiques et état de l'art, 2021) ou encore 4100 kWh mesurés en moyenne pour un logement à la Guyane (ALTER ENERTECH, 2021) et 3 800 kWh pour un logement à la Martinique (WATT SMART ENERTECH EQUINOXE, 2023). **Les consommations annuelles sont statistiquement similaires entre DROM à l'exception de la Guyane**, où les logements étudiés présentent une consommation annuelle significativement plus élevée. Il est également intéressant de noter qu'à l'exception de la Guadeloupe, les consommations de ce panel sont sensiblement supérieures à celles observées sur le panel 200 (uniquement des logements sociaux) de l'étude « Observatoire ECCO DOM » (CSTB, Livrable 3.2 - Synthèse des connaissances et analyse de l'observatoire ECCO DOM, 2022) (Guyane : +37 % - Martinique : +17 % - Réunion : +14 %). Cette différence s'explique par la présence de logements privés et de maisons individuelles dans le panel étudié ici.

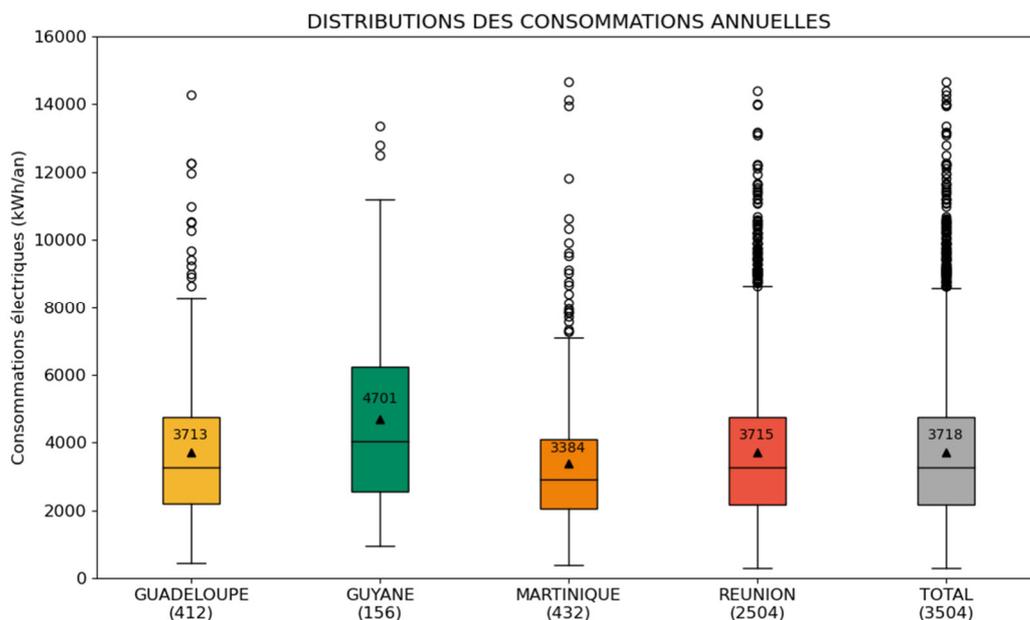


Figure 11 – Distribution des consommations annuelles électriques par DROM.

² Sous forme de boîte à moustaches : le rectangle est délimité par le 1^{er} quartile (25 % de l'échantillon) et le 3^{ème} quartile (75 % de l'échantillon) et est coupé par la médiane (50% de l'échantillon), le triangle représente la moyenne et les deux traits horizontaux représentent les valeurs extrêmes minimum et maximum selon une hypothèse de distribution donnée.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

En effet, l'influence sur la consommation annuelle du type de logement (appartement/maison) et du statut du logement (privé/social), deux variables particulièrement corrélées (voir 2.3.1), est mise en évidence par l'analyse statistique grâce au test de Student. Les maisons présentent une consommation significativement supérieure aux appartements dans tous les DROM sauf en Martinique (Figure 12) alors que les logements privés présentent globalement une consommation significativement supérieure aux logements sociaux à l'exception de la Martinique et la Guyane (Figure 13).

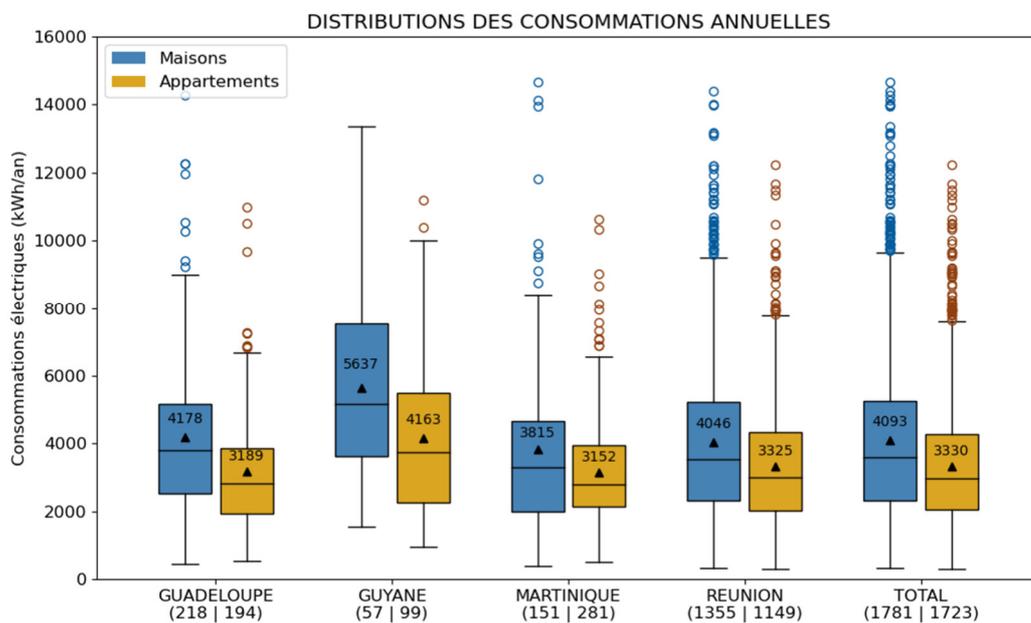


Figure 12 – Distribution des consommations annuelles électriques par DROM et par type de logement.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

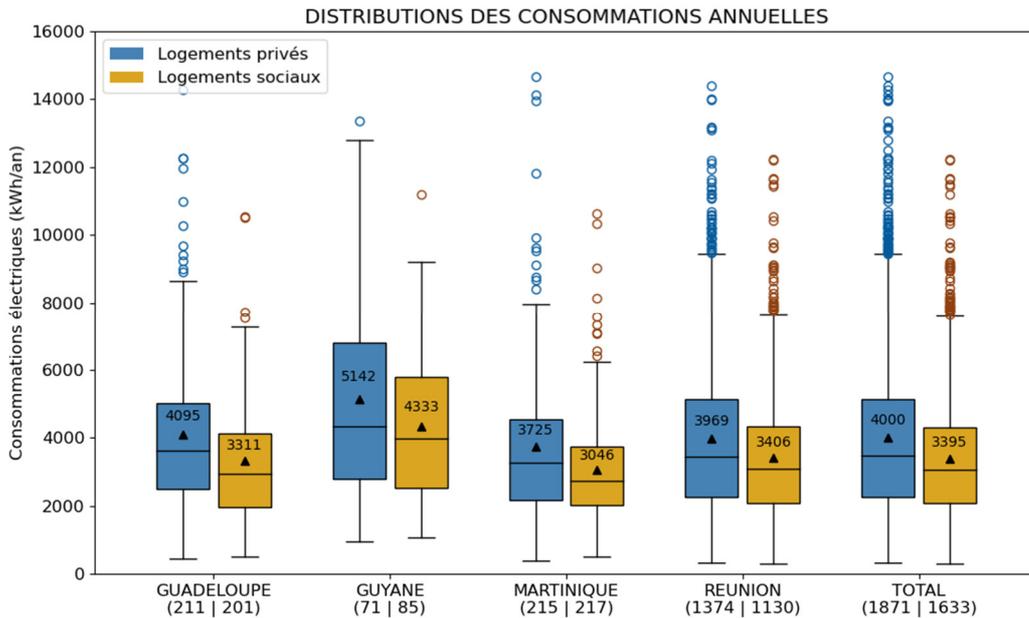


Figure 13 – Distribution des consommations annuelles électriques par DROM et par statut du logement.

La suite du rapport présentera des éléments de réponse permettant d'objectiver pourquoi les consommations sont supérieures dans ces logements.

3.2 Corrélations et déterminants de la consommation électrique annuelle

La première approche menée pour établir les déterminants principaux de la consommation électrique annuelle d'un logement dans les DROM a été de construire des modèles de régression linéaire multiple pour chaque DROM avec sélection des variables significatives par un test de Fisher III et une validation de la significativité des coefficients linéaires par un test de Student. **La part de variance expliquée par ce type de modèle (R²) est en moyenne de 40 %**, cependant les principaux résultats obtenus sont confirmés par d'autres types d'analyses statistiques comme l'ANOVA (ANalysis Of Variance - analyse de variance) ou l'ACM (Analyse des Correspondances Multiples). Les résultats obtenus pour chaque modèle construit sur les données de chaque DROM sont représentés sur la Figure 14.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

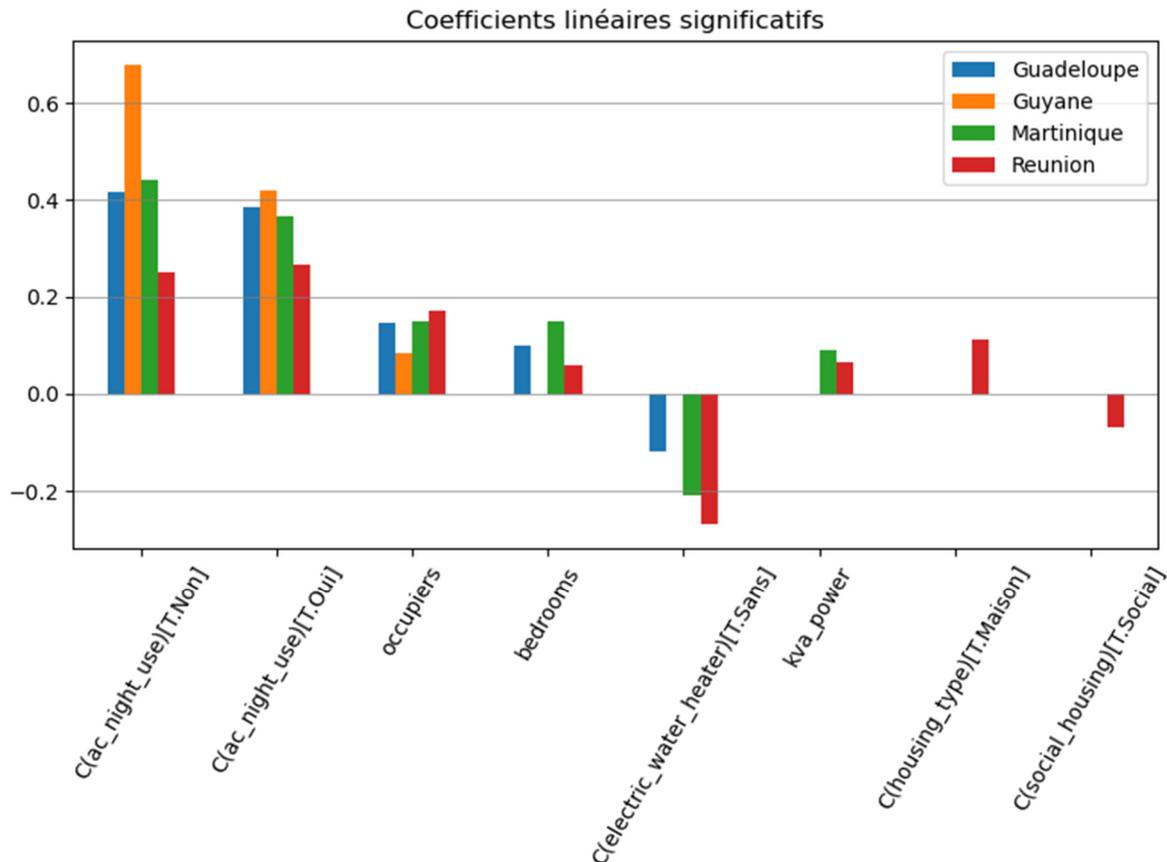


Figure 14 – Coefficients des modèles de régression linéaire multiple pour chaque DROM. Les coefficients représentent le rapport entre les consommations des logements qui possèdent la modalité indiquée en abscisse et ceux qui ne l'ont pas (ex : les logements de Guadeloupe qui n'utilisent pas la climatisation que la nuit ((ac_night_use)[T.Non]) ont une consommation 41 % plus élevée que ceux qui ne sont pas équipés de climatisation (ac_night_use = NC - modalité de référence non représentée sur le graphique).

L'information principale qui peut être déduite de cette analyse est que **la variable la plus déterminante dans la consommation des ménages est la présence de climatisation**. Ce constat est particulièrement vrai en Guyane, où l'usage nocturne de la climatisation est également prépondérant puisque les logements qui déclarent n'utiliser la climatisation que la nuit ont une consommation 41 % supérieure à ceux qui ne sont pas équipés de climatisation, alors que ceux qui utilisent la climatisation de manière indéterminée entre le jour et la nuit présentent une consommation, en moyenne, 65 % supérieure aux ménages non équipés. La présence de climatisation est toutefois nettement moins impactante à La Réunion. Enfin l'usage exclusivement nocturne ou non de la climatisation n'a pas d'impact significatif sur les consommations en dehors de la Guyane. Ce résultat a été confirmé par une analyse ANOVA pour l'ensemble des DROM (Figure 15), cependant, même dans le cas de la Guyane, bien que la moyenne des consommations soient effectivement supérieures pour les logements qui n'utilisent pas la climatisation que la nuit, la distribution des consommations de ces logements n'est pas significativement différente de celle des logements qui ont un usage exclusivement nocturne de la climatisation d'après le test statistique de Tukey.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

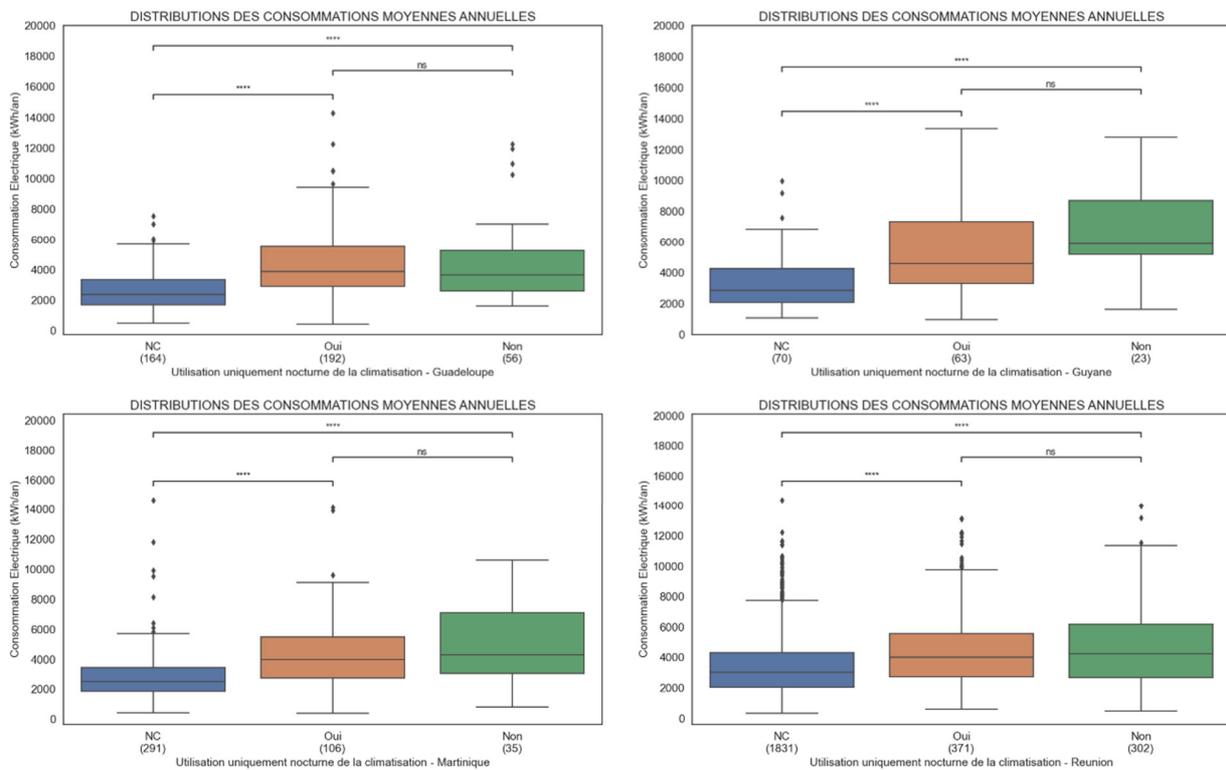


Figure 15 – Résultat des tests ANOVA par DROM pour la comparaison des usages de la climatisation (*** : différence significative, ns : différence non significative). NC signifie « Non Concerné » et est attribué aux logements non équipés de climatisation.

Le second paramètre déterminant de la consommation électrique annuelle est la taille du logement, que ce soit en considérant le nombre d'occupants ou le nombre de chambres, ces deux variables étant fortement corrélées. Ce dernier constat est à nuancer dans le cas de la Guyane. Néanmoins dans tous les DROM la consommation est significativement corrélée au nombre d'occupants.

Enfin, les logements qui ne sont pas équipés de chauffe-eau électrique (*electric_water_heater = Sans*) présentent une consommation entre 15 et 25 % inférieure aux logements équipés, en particulier à La Réunion.

Puisque ECCO DOM s'intéresse plus spécifiquement au parc social, des modèles similaires (régression linéaire multiple) ont également été construits afin de comparer les logements sociaux et les logements du parc privé (Figure 16). Les résultats sont cohérents avec ceux des modèles construits en distinguant les logements par DROM. En effet, on retrouve que les paramètres les plus déterminants de la consommation sont la présence de climatisation et la taille du logement (nombre d'occupants et de chambres).

De même, l'usage uniquement nocturne de la climatisation n'a pas d'incidence significative sur la consommation puisque les surconsommations sont équivalentes dans les deux cas par rapport à des logements non équipés. Ces surconsommations dues à la climatisation sont de l'ordre de 30%. Il est néanmoins pertinent de souligner que l'ensemble des résultats présentés sur la Figure 16 peuvent être biaisés par la sur-représentation des logements de La Réunion qui est un défaut connu du panel (2.3.1). Enfin, ce modèle permet de mettre en avant que le DROM n'est pas un

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

paramètre significatif statistiquement sur les consommations en dehors des logements privés de la Guyane qui ont une consommation 14 % supérieure à celles des logements privés des autres DROM.

Globalement, ces résultats permettent de constater que l'impact de la présence de climatisation sur les consommations est plus marqué dans les logements du parc social alors que l'impact de la taille du logement est d'avantage accentué pour les logements du parc privé.

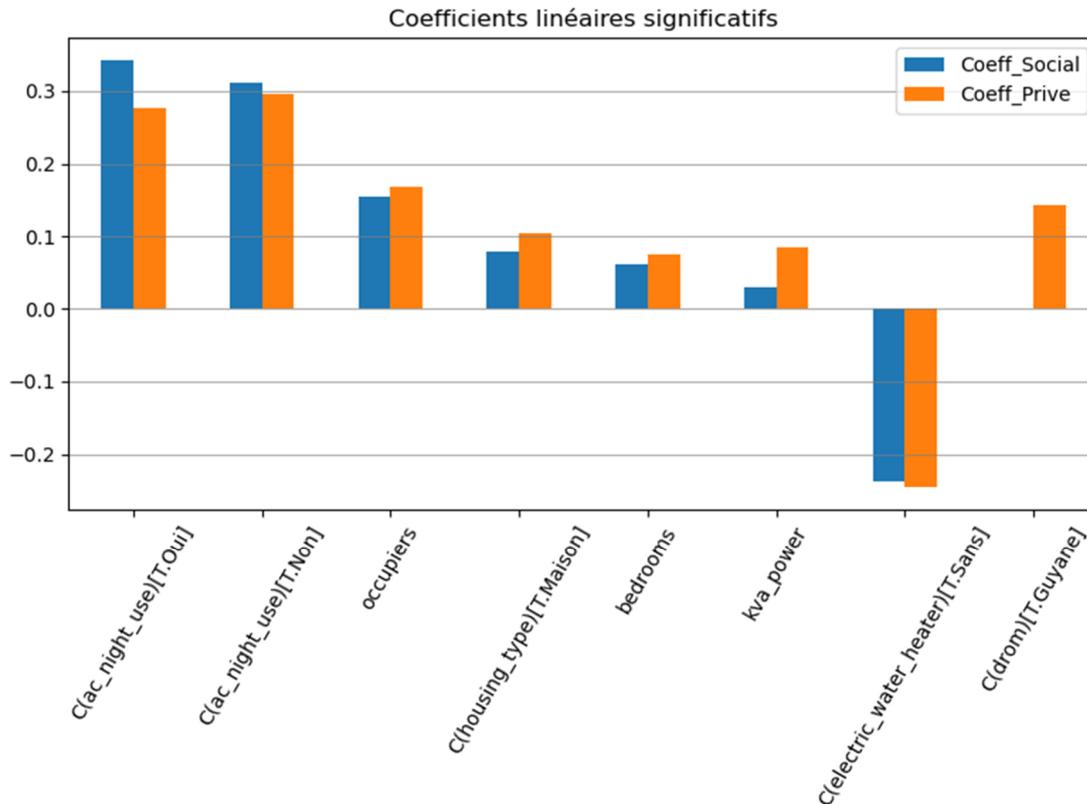


Figure 16 – Coefficients des modèles de régression linéaire multiple par statut du parc du logement. Les coefficients représentent le rapport entre les consommations des logements qui possèdent la modalité indiquée en abscisse et ceux qui ne l'ont pas (ex : les logements sociaux qui n'utilisent la climatisation que la nuit (ac_night_use = Oui) ont une consommation 35 % plus élevée que ceux qui ne sont pas équipés de climatisation (ac_night_use = NC).

En complément des modèles de régression linéaire multiple, la corrélation entre présence de climatisation et consommation électrique annuelle a également été confirmée par le test de Student appliqué aux logements avec ou sans climatisation dans chaque DROM (Figure 17) et par ACM (Figure 18). **La différence de consommation annuelle moyenne entre logements équipés ou non de climatisation est, au global, de 1 333 kWh et peut monter jusqu'à 2 361 kWh pour la Guyane. Ces chiffres sont supérieurs au niveau de consommation mesurée pour le poste climatisation qu'on peut trouver dans la littérature pour des logements en Guyane (environ 1300 kWh par an) (ALTER ENERTECH, 2021) et à la Martinique (environ 1100 kWh par an) (WATT SMART ENERTECH EQUINOXE, 2023).** Il faut avoir en tête que la différence de consommation totale d'électricité évaluée sur notre panel peut incorporer aussi pour partie une différence de consommation sur les autres postes (sur la base d'une hypothèse que les ménages avec la climatisation ont des revenus plus élevés que ceux sans la climatisation, on peut imaginer aussi des différences de niveau d'équipement électroménager/multimédia entre ces ménages).

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Concernant l'ACM, d'une part, dans le plan des composantes principales une nette distinction des logements en fonction de la présence ou non de climatisation est observée (Figure 18.a), et d'autre part, la consommation (ln_conso) est sensiblement corrélée à la présence de climatisation (covariance de 23 % entre le logarithme népérien de la consommation et la présence de climatisation) (Figure 18.b).

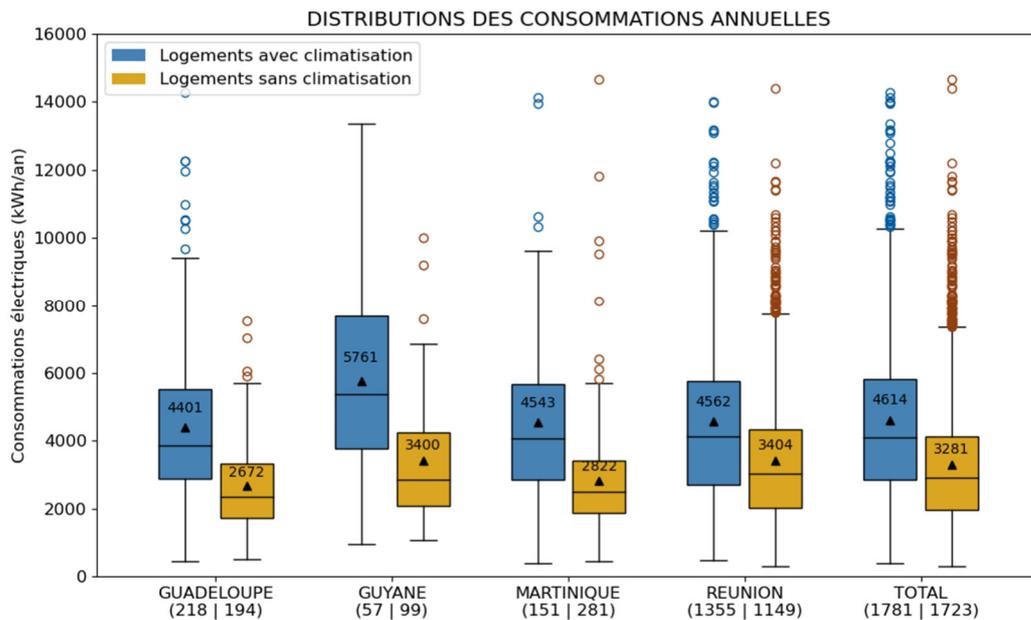


Figure 17 – Distribution des consommations annuelles électriques dans chaque DROM et pour le panel total en fonction de la présence ou non de climatisation dans le logement.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

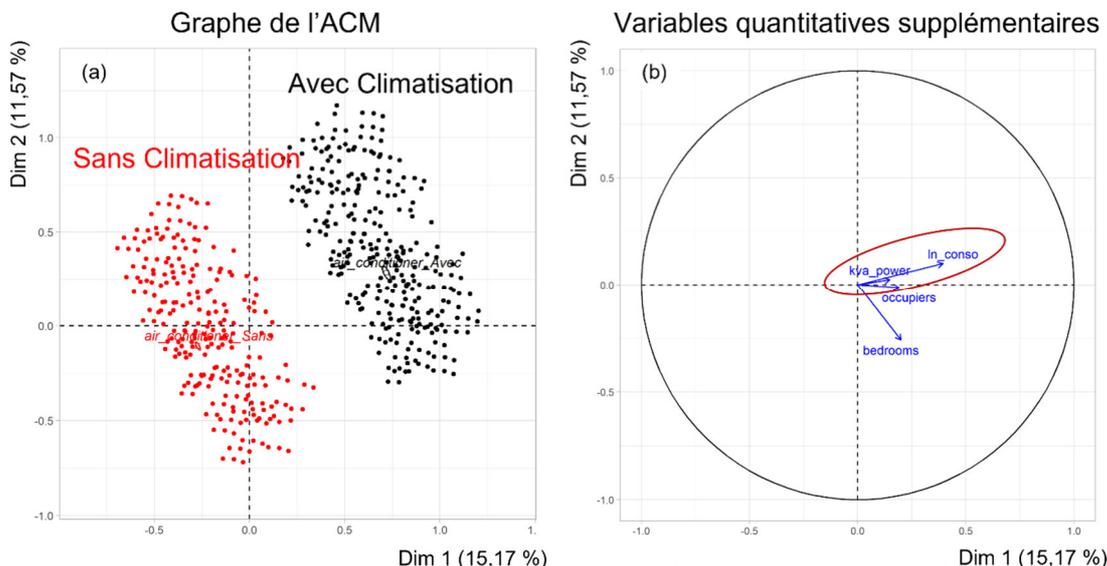


Figure 18 – Résultats de l'ACM avec mise en évidence des modalités de la variable relative à la présence de climatisation. (a) Représentation des logements dans le plan principal de l'ACM avec coloration en fonction de la présence de climatisation et (b) projection des variables quantitatives supplémentaires dans le plan principal.

De même, en complément des modèles de régression linéaire multiple, la corrélation entre le nombre d'occupants et la consommation se vérifie grâce à l'ANOVA puisque les consommations sont significativement supérieures lorsque le nombre d'occupants augmente (Figure 19). Cette relation se vérifie jusqu'à 6 occupants, le faible nombre de logements considérés au-delà ne permet pas de conclure de manière statistiquement significative. L'ACM a également confirmée ce résultat en montrant une corrélation significative entre nombre d'occupants (*occupiers*) et consommation (*ln_conso*) dans le plan de dimensions 1-3 (Figure 20). Ce plan permet en effet de séparer efficacement les logements en fonction du nombre d'occupants parmi trois grandes catégories : 1 et 2 occupants (couple ou personne célibataire), 3 et 4 occupants (petite famille), 5 occupants et plus (grande famille).

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

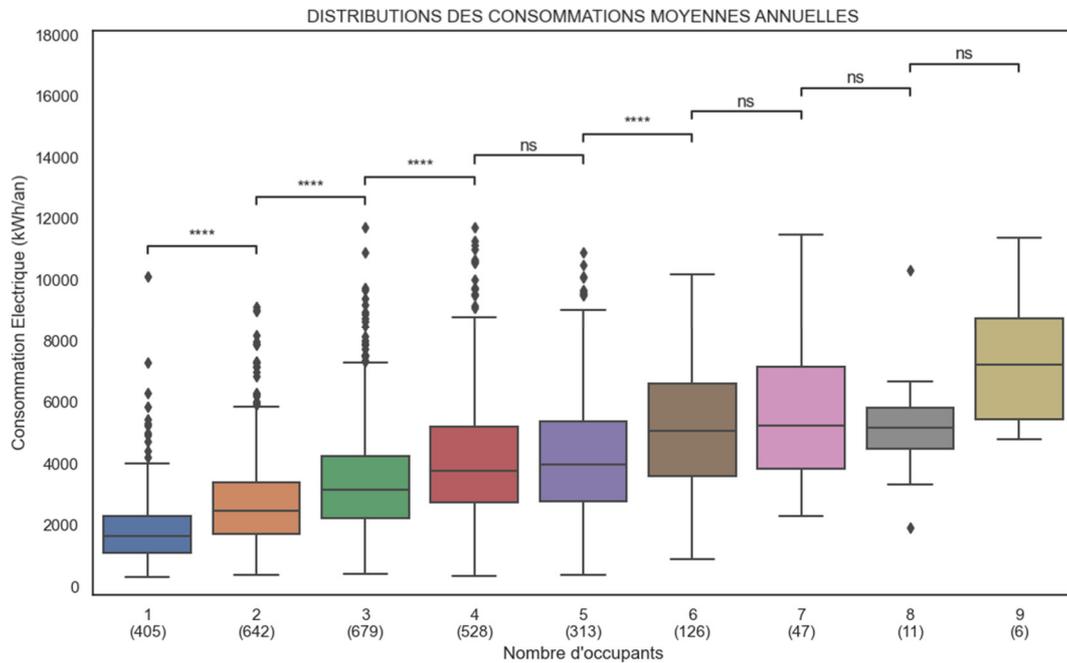


Figure 19 – Distribution des consommations annuelles électriques en fonction du nombre d'occupants dans le logement.

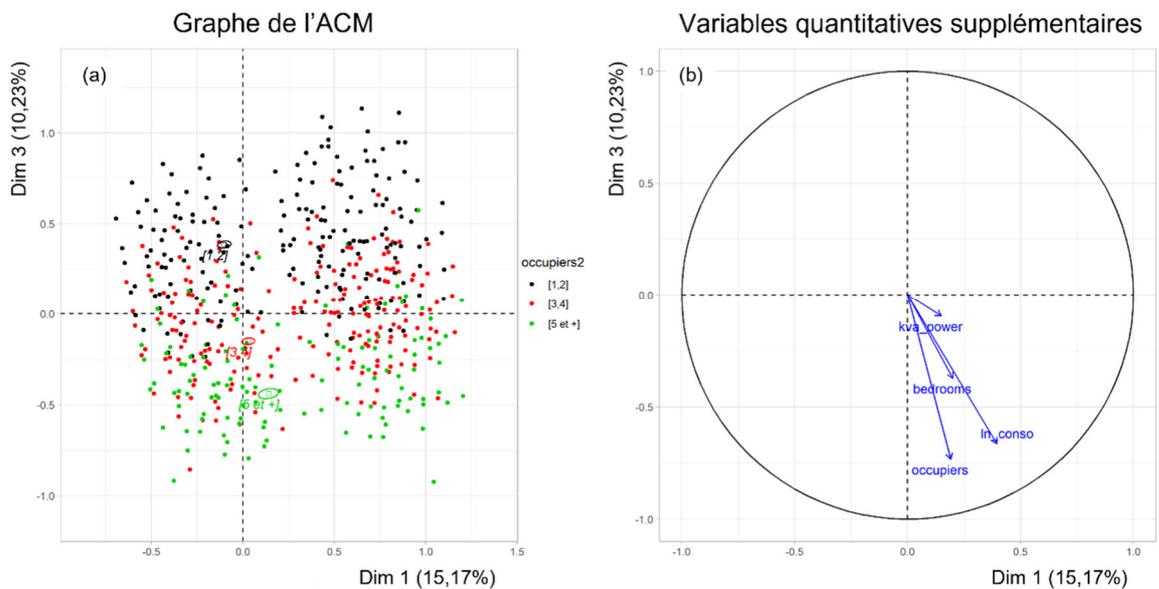


Figure 20 – Résultats de l'ACM avec mise en évidence du nombre d'occupants. (a) Représentation des logements dans le plan des dimensions 1 et 3 de l'ACM avec coloration en fonction du nombre d'occupants et (b) projection des variables quantitatives supplémentaires dans le plan des dimensions 1 et 3 de l'ACM.

Enfin, une différence significative de consommation entre les logements équipés ou non de chauffe-eau électrique n'a été mise en évidence par un test de Welch qu'en Martinique et à La

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Réunion (Figure 21). En revanche, si on restreint l'analyse uniquement aux logements sociaux, les logements équipés de chauffe-eau électrique ont une consommation significativement supérieure dans tous les DROM d'après les résultats du même test statistique (Figure 22). **Au global, la surconsommation annuelle moyenne des logements équipés de chauffe-eaux est de 538 kWh (+14 %, logements privé et social confondus), et de 690 kWh (+23 %) en logement social.** Ces valeurs sont assez faibles au regard de la littérature et des valeurs relevées dans l'étude Observatoire sur quelques chauffe-eaux électriques à La Réunion (environ 1500 kWh par an) (CSTB, Livrable 3.2 - Synthèse des connaissances et analyse de l'observatoire ECCO DOM, 2022) **mais dans l'ordre de grandeur de mesures réalisées à la Guyane (environ 550 kWh par an) (ALTER ENERTECH, 2021) et à la Martinique (environ 770 kWh par an) (WATT SMART ENERTECH EQUINOXE, 2023).** Ceci peut s'expliquer peut-être pour partie par la formulation du questionnaire demandé de renseigné par les ménages qui ne distingue pas clairement une production d'ECS 100% électrique d'une production d'ECS solaire thermique avec appoint électrique (système potentiellement présent à La Réunion) ou encore de la difficulté de certains ménages notamment réunionnais (qui représentent une très grande part des recrutés) à savoir faire la distinction entre un chauffe-eau électrique et un ballon solaire thermique.

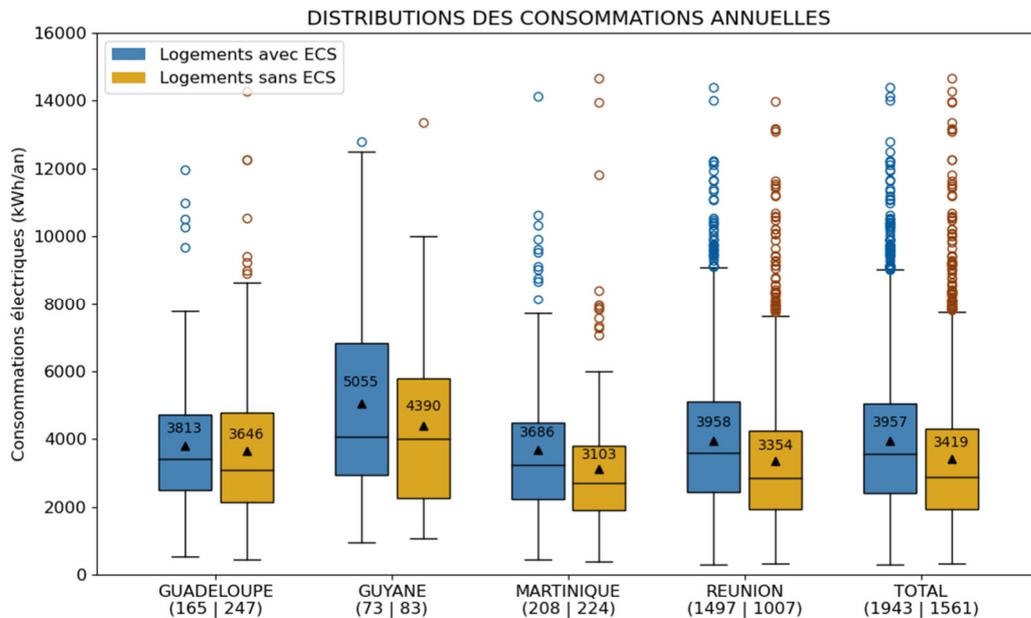


Figure 21 – Distribution des consommations annuelles électriques dans chaque DROM et pour le panel total en fonction de la présence ou non d'eau chaude sanitaire (ECS) électrique.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

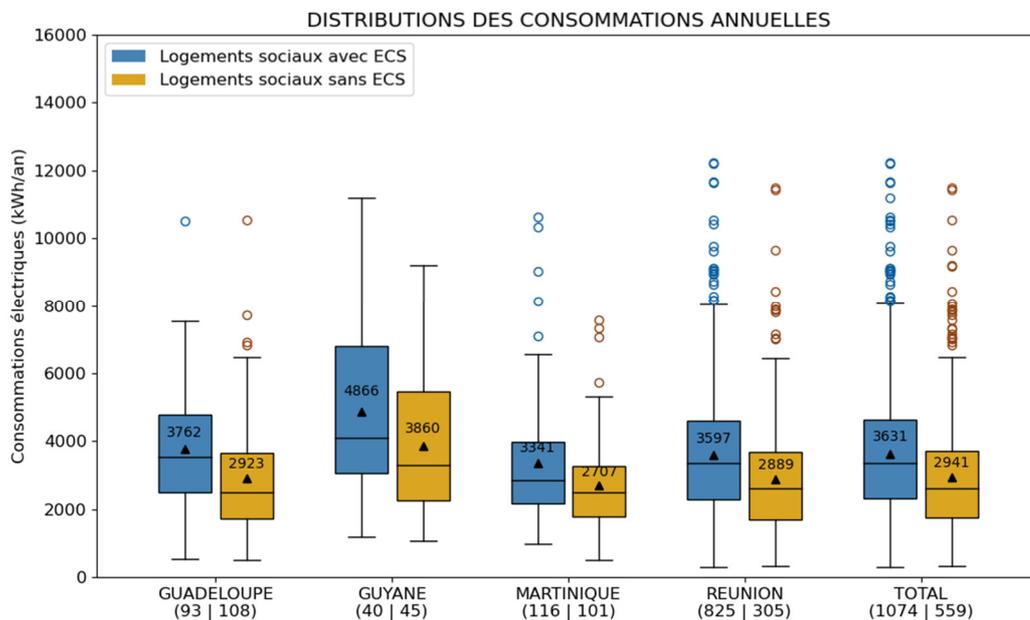


Figure 22 – Distribution des consommations annuelles électriques des logements sociaux dans chaque DROM et pour le panel total en fonction de la présence ou non d'eau chaude sanitaire (ECS) électrique.

Livrable 3.4

Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

3.3 Conclusions

L'étude des consommations annuelles d'électricité du panel a permis de mettre en évidence une surconsommation significative d'une part, des logements privés par rapport aux logements sociaux (+605 kWh/an, soit +18 % en moyenne), et d'autre part, des maisons individuelles par rapport aux logements collectifs (+763 kWh/an, soit +23 % en moyenne). Ce résultat est cependant nettement moins marqué selon les tests statistiques en Martinique que dans les autres DROM.

Les différences de consommation observées entre maisons individuelles privées et logements collectifs sociaux sont principalement dues à une proportion plus élevée parmi les premières de logements équipés de climatisation, ce paramètre ayant été identifié comme le facteur le plus influent du niveau de consommation totale d'électricité d'un logement³. En effet, les logements équipés de climatisation ont en moyenne une consommation 40 % supérieure aux logements non équipés. Cette différence est plus ou moins marquée selon les DROM : +69 % en Guyane (+2 361 kWh/an), +65 % en Guadeloupe (+1 729 kWh/an), +61 % en Martinique (+1 721 kWh/an), mais seulement +34 % à la Réunion (+1 158 kWh/an), en partie dû aux différences de climat entre ces territoires.

De plus, les maisons individuelles présentent un nombre d'occupants plus élevé, second facteur explicatif du niveau de consommation d'électricité d'un logement.

La présence d'ECS électrique semble être plus impactante sur la consommation dans le cas des logements sociaux, où il représente un poste de consommation plus important, que dans le cas des logements privés.

Ces analyses permettent d'expliquer pour partie les différents niveaux de consommation observés dans chaque DROM et en particulier le fait que la consommation électrique des ménages de Guyane soit significativement supérieure à celles des autres DROM (les consommations des autres DROM étant trouvées du point de vue statistique similaires). Effectivement, en Guyane l'usage de la climatisation, notamment en journée, est plus répandu, et il y a, en particulier parmi les logements sociaux, un nombre plus élevé d'occupants dans les logements que dans les autres DROM.

Ces résultats doivent cependant être interprétés en considérant que les informations recueillies via le questionnaire ne semblent expliquées que 40 % de la variance observée parmi les consommations des logements du panel. D'autres facteurs explicatifs, non pris en compte dans ces analyses seraient donc également à considérer pour expliquer les différences de consommation entre les logements.

³ A noter que la corrélation entre la consommation d'électricité et les conditions climatiques de chaque DROM, par le biais de l'usage de la climatisation, est détaillé dans la partie 5.2.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

4 Analyse des puissances électriques

4.1 Puissances appelées par DROM et par typologies de logement

L'analyse des données relatives à la puissance électrique maximale journalière appelée sur le réseau offre une perspective complémentaire aux tendances décrites dans la partie 3 concernant la consommation annuelle électrique des logements.

La Figure 23 présente les distributions des moyennes sur l'année observée (de début juin 2022 à fin mai 2023) des **puissances maximales journalières** (Pmax_jour dans la suite) des logements du panel par DROM, en distinguant les logements sociaux et privés. **Les moyennes de puissances maximales journalières sont pour l'ensemble des logements confondus en moyenne de l'ordre de 2 500 VA.** A La Réunion, la moyenne des moyennes de Pmax_jour est plus élevée d'environ 200 VA pour les logements privés que pour les logements sociaux. En revanche, pour les autres DROM, la différence entre logements privées et sociaux est moins marquée.

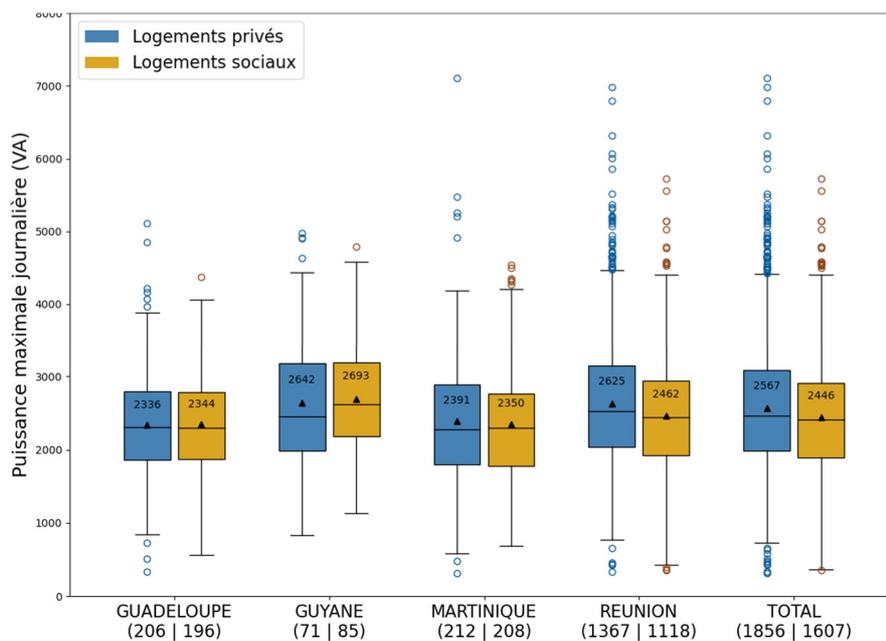


Figure 23 – Distributions des moyennes annuelles de Pmax_jour par DROM et par statut de logement

Les Figure 24 et Figure 25 mettent en avant les distributions des valeurs minimales et maximales sur l'année observée des Pmax_jour (puissance maximale journalière) dans les logements. **En moyenne, les valeurs minimales et maximales annuelles sont respectivement de l'ordre de 1 000 VA à 5 000 VA**, montrant ainsi des habitudes de consommation qui peuvent varier fortement en fonction des jours au cours de l'année. On n'observe pas de différences significatives entre logements privés et sociaux même si globalement les niveaux maximaux de puissances maximales journalières appelées sont légèrement supérieurs dans les logements privés, ce qui peut s'expliquer par des taux de présence de climatisation supérieurs sur ce sous-panel comme il l'a été décrit dans les parties précédentes.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

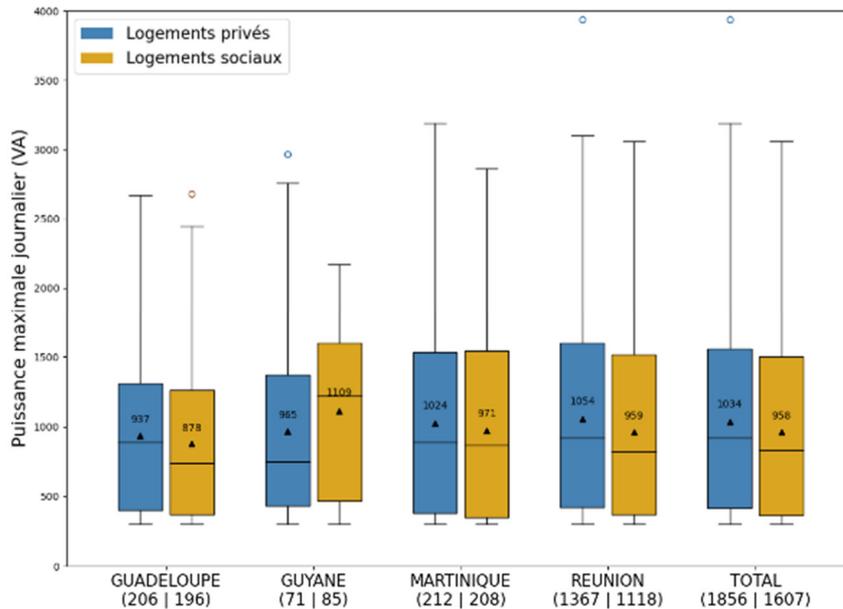


Figure 24 – Distributions des valeurs minimales annuelles de Pmax_jour par DROM et par statut de logement

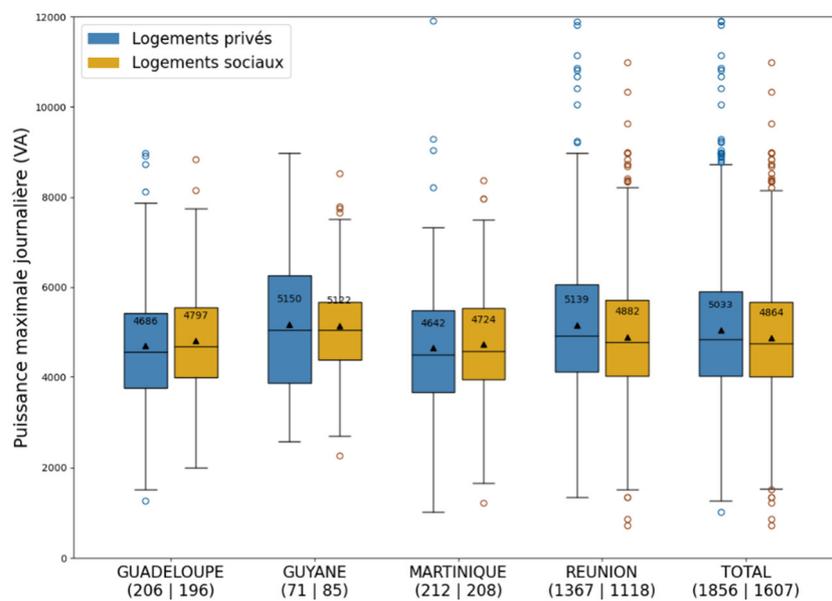


Figure 25 – Distributions des valeurs maximales annuelles de Pmax_jour par DROM et par statut de logement

La Figure 26 illustre la répartition des moyennes annuelles des Pmax_jour en différenciant les logements équipés de climatisation de ceux qui en sont dépourvus. Cette figure met effectivement en évidence une forte corrélation entre la présence de la climatisation et la moyenne annuelle des Pmax_jour, en particulier en Guyane. **Tout DROM confondu, la présence de climatisation engendre en moyenne 400 VA en plus sur la moyenne annuelle des Pmax_jour.**

La Figure 27 illustre la distribution des moyennes de Pmax_jour par DROM, en séparant les types de logements entre maisons et appartements. **Pour presque tous les DROM, les maisons**

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

présentent une moyenne des moyennes annuelles de Pmax_jour plus élevée que pour les appartements, sauf pour la Martinique.

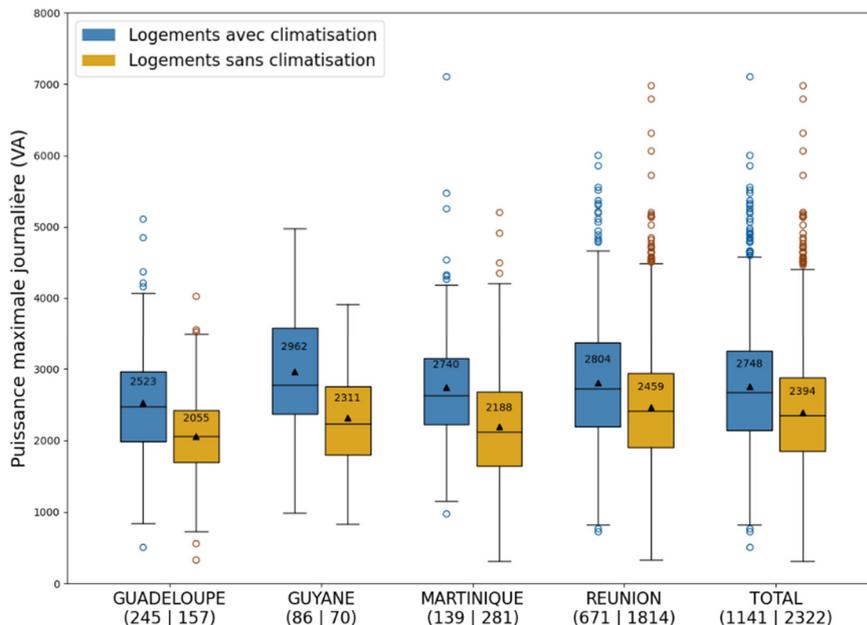


Figure 26 – Distributions des moyennes annuelles de Pmax_jour par DROM en fonction de la présence ou non de climatisation dans le logement

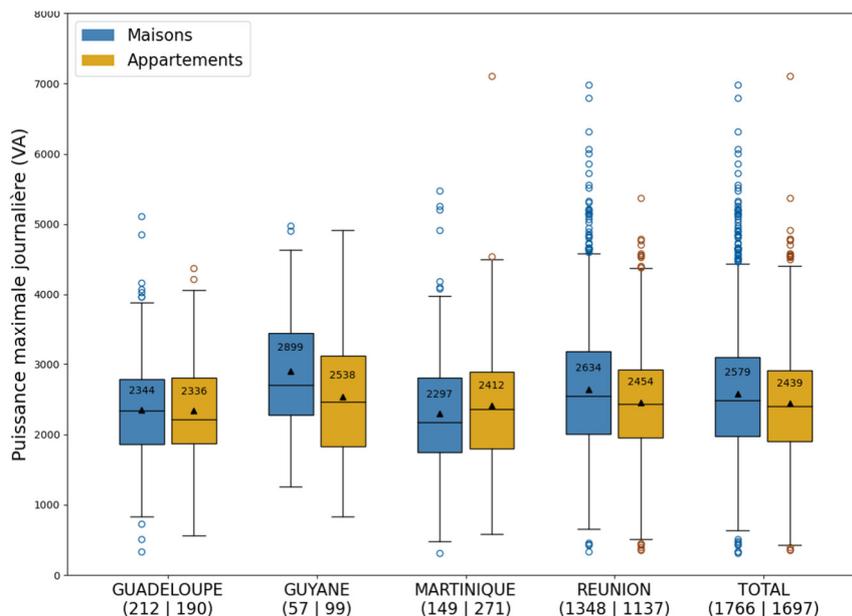


Figure 27 – Distributions des moyennes annuelles de Pmax_jour par DROM et par type de logement

Les Figure 28 et Figure 29 représentent les moyennes des moyennes annuelles des Pmax_jour en fonction du nombre de chambres et d'occupants dans les maisons suivies. On constate une

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

corrélation forte entre les niveaux de puissance atteints et la taille des logements et des ménages. Cette dépendance est plus marquée pour des faibles nombres de chambres ou de personnes. En effet, l'augmentation des puissances atteint un plateau pour de plus grands logements et ménages du fait de la mutualisation des équipements et du foisonnement de l'utilisation. Ce constat est similaire à celui effectué pour les consommations annuelles d'électricité.

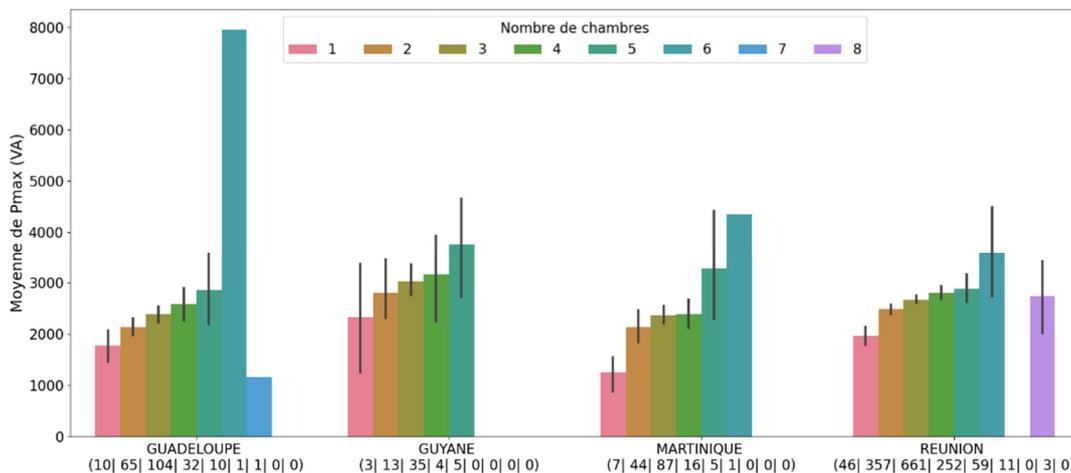


Figure 28 – Moyennes et écarts-types des moyennes annuelles de Pmax_jour des maisons du panel par DROM et par nombre de chambres

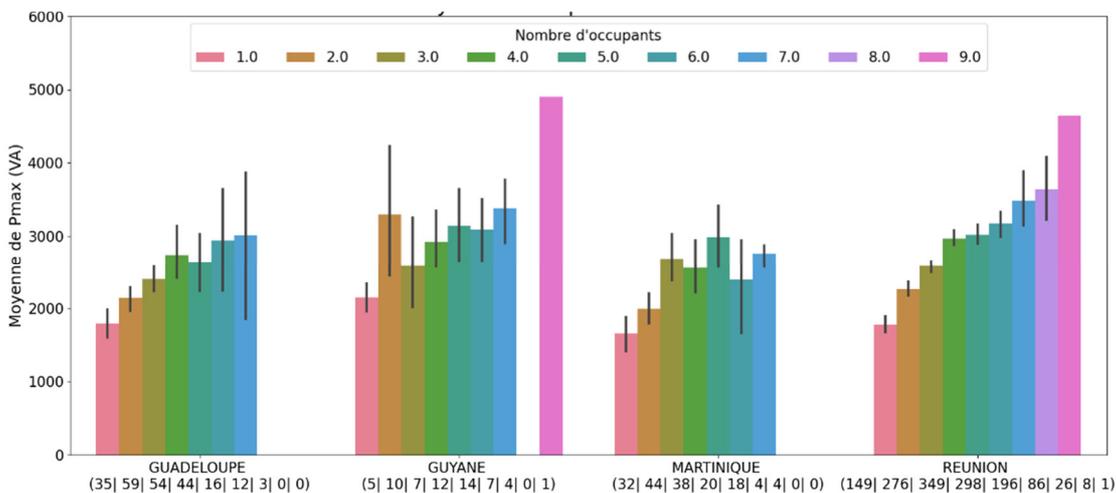


Figure 29 – Moyennes et écarts-types des moyennes annuelles de Pmax_jour des maisons du panel par DROM et par nombre d'occupants

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

4.2 Puissances et abonnements électriques

Afin d'approfondir les analyses relatives à la consommation énergétique, l'attention a été ici focalisée sur les abonnements souscrits par les logements suivis dans chaque DROM. La Figure 30 illustre les distributions des moyennes annuelles de Pmax_jour des logements du panel par DROM et par puissance souscrite.

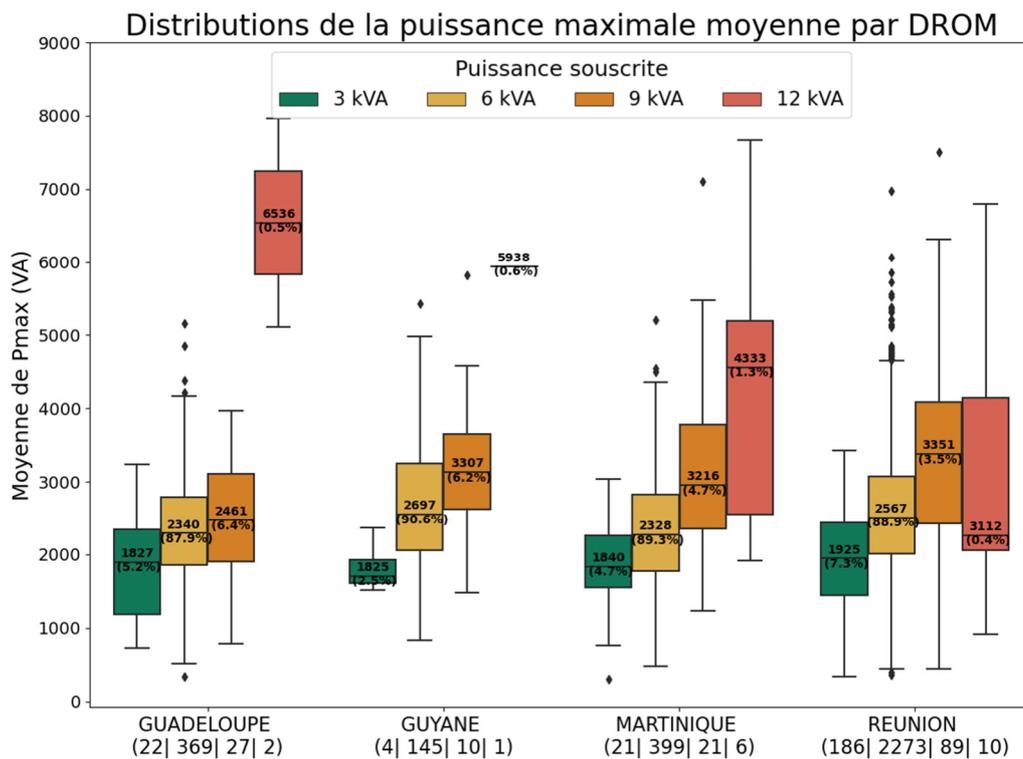


Figure 30 – Distributions des moyennes annuelles de Pmax_jour par DROM et par puissance souscrite

On constate globalement une corrélation entre les moyennes annuelles de Pmax_jour et les niveaux de puissance souscrite. Toutefois le panel est constitué en grande partie de logements avec un abonnement de 6 kVA quel que soit le DROM et pour ces logements, les moyennes par DROM des moyennes annuelles de Pmax_jour gravitent « seulement » entre 2 300 et 2 700 VA. Des écarts importants sont aussi observés sur les puissances souscrites 9 kVA et 12 kVA entre les moyennes des moyennes annuelles de Pmax_jour relevées et les niveaux d'abonnement souscrit. Ainsi même s'il s'agit de moyennes de moyennes annuelles, on peut s'interroger sur la possibilité qu'aurait eu ces logements sur l'année observée de réduire leur abonnement à une puissance inférieure.

L'objectif de la section suivante est d'identifier plus précisément les logements avec des abonnements qui auraient pu être différents sur l'année observée. Il est ainsi nécessaire d'étudier les valeurs maximales des Pmax_jour toutefois plutôt que de se concentrer sur les valeurs extrêmes, l'étude a adopté une approche statistique en examinant le 95e percentile des valeurs de puissance maximale journalière pour chaque logement (Pmax_jour). C'est cette valeur qui est considérée comme dimensionnante pour le choix de l'abonnement ici. Cette méthode permet

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

d'éliminer les anomalies et les pics très occasionnels de puissance, fournissant une mesure plus robuste et représentative de la puissance électrique appelée sur le réseau. Une marge de tolérance de 10 % entre la puissance maximale atteinte dimensionnante et le niveau de puissance souscrite a en plus été prise en compte avant de considérer qu'un changement d'abonnement était possible.

La Figure 31 présente ainsi la répartition des différentes modifications de puissance souscrite qui auraient pu avoir lieu sur l'année observée en fonction de la puissance souscrite initiale des logements.

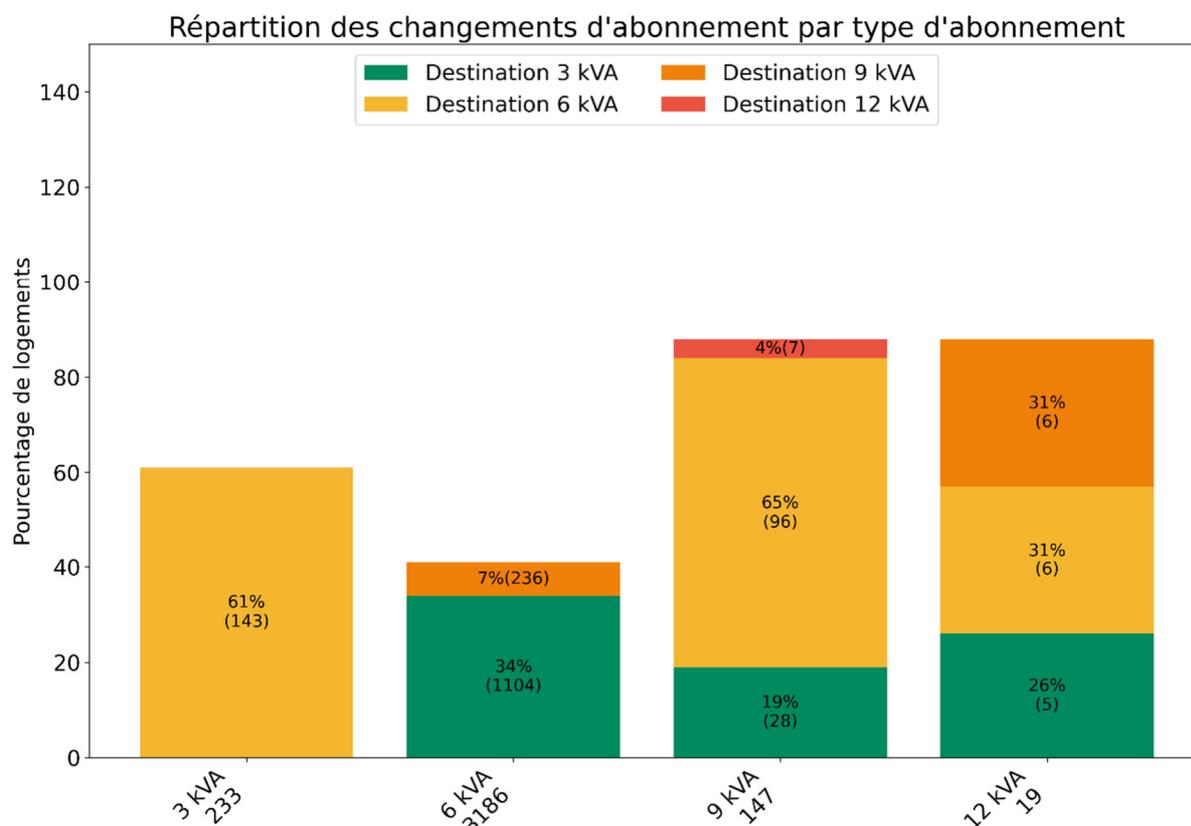


Figure 31 – Répartition des changements d'abonnement possibles en fonction des puissances souscrites initiales

Les résultats révèlent les informations suivantes sur l'année observée :

- 61 % des logements abonnés à 3 kVA aurait pu passer à 6 kVA.
- 34 % des logements à 6 kVA aurait pu passer à 3 kVA.
- 65 % des logements souscrits à 9 kVA aurait pu passer à 6 kVA.

Pour les abonnements de 12 kVA, bien que constituant un très faible nombre de cas (19), la majorité d'entre eux pourraient bénéficier d'une souscription inférieure. La Figure 32 détaille ces variations de types d'abonnement par DROM. En Guadeloupe, 42 % des logements avec 6 kVA de souscrit auraient pu envisager une diminution de leur puissance souscrite à 3 kVA. Des situations similaires se retrouvent en Martinique (45 %), Guyane (30 %) et à la Réunion (31 %).

Ces résultats confirment qu'au global, environ 45 % des logements du panel auraient pu sur l'année observée changer de puissance souscrite.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

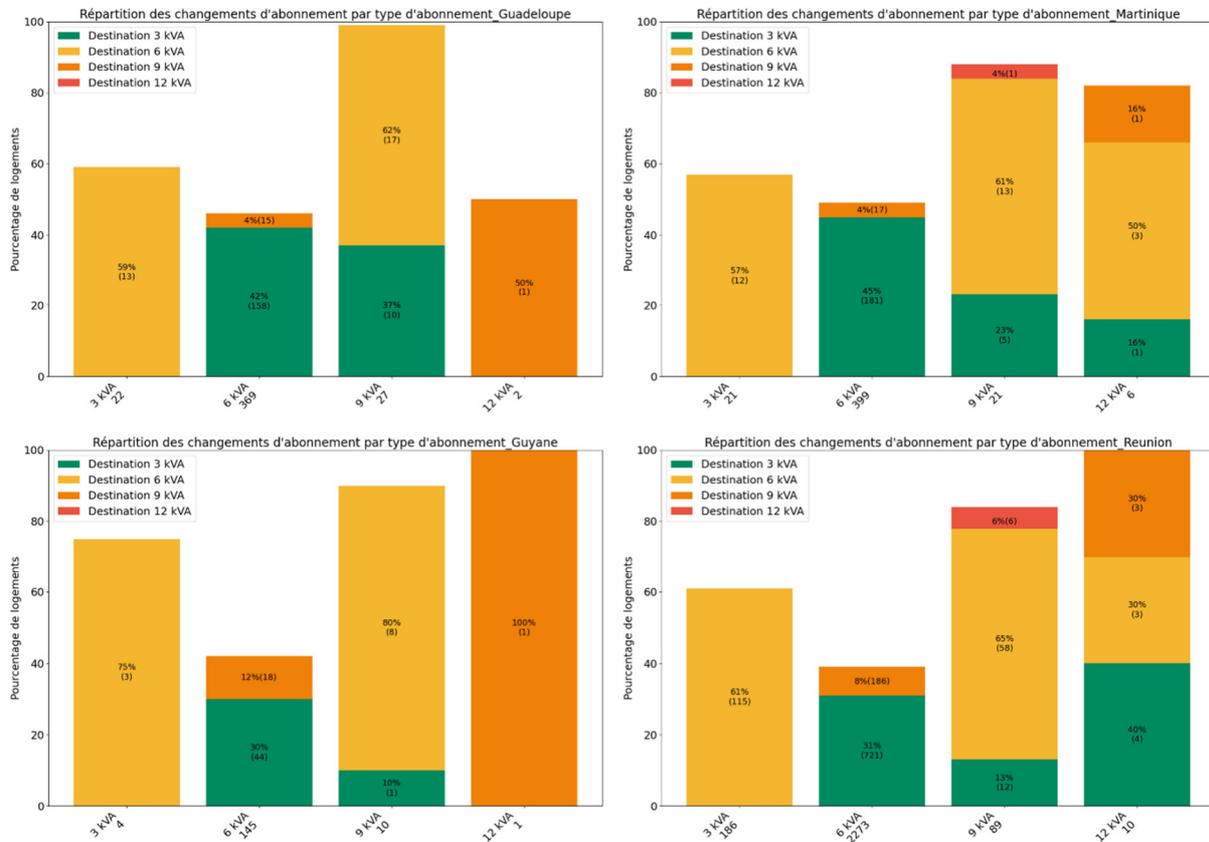


Figure 32 – Répartition des changements d'abonnement possibles par DROM

4.3 Conclusions

L'étude des puissances maximales journalières appelées sur le réseau par les logements du panel permet de poser plusieurs constats. Les liens observés pour les consommations annuelles d'électricité avec la présence de climatisation d'une part et d'autre part, la taille des ménages se retrouvent logiquement pour les puissances maximales journalières appelées.

L'étude dédiée à la vérification de l'adéquation sur l'année observée entre puissances souscrites et puissances maximales appelées permet de tirer des enseignements intéressants. Parmi les abonnements de faible puissance (3 kVA), des dépassements réguliers sont observés pour près de 60 % du panel. Parmi les abonnements de plus forte puissance (6-9-12 kVA), une part non négligeable des ménages (36 %) aurait pu réduire leur niveau de puissance souscrite.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

5 Analyse des courbes de charge horaire électrique

5.1 Courbes de charge par DROM et par typologies de logement et de contrat

Les courbes de charge moyennes journalières sur l'année suivie (de début juin 2022 à fin mai 2023) des logements du panel (logements privé et social) sont présentées par DROM sur la Figure 33. Les courbes de charge moyennes à la Martinique, la Guadeloupe et la Guyane présentent un aspect général semblable, avec un pic principal de consommation observable le soir entre 20h et minuit, et deux pics secondaires entre 07h et 09h puis entre 13h et 15h. Le niveau de consommation plus élevé des logements en Guyane, mis en avant par l'étude des index (cf. 3.1), est également visible ici avec des niveaux de puissance appelée plus élevée. La Martinique se distingue par des courbes de charge moyennes présentant la dynamique journalière la moins contrastée. Quant à La Réunion, si les courbes de charge moyennes disposent de pics similaires aux autres DROM, elles présentent la particularité d'une diminution des consommations durant la nuit, entre 01h et 05h du matin, plus marquée que pour les autres DROM.

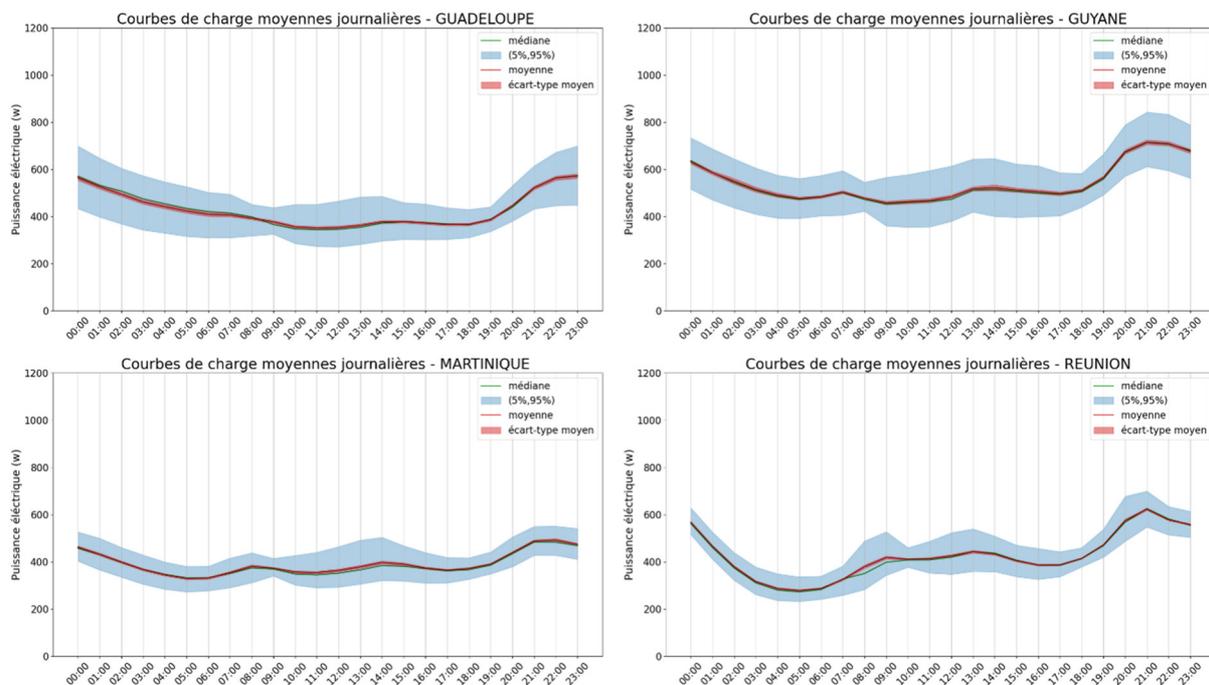


Figure 33 – Distributions des courbes de charge moyennes journalières par DROM (en heure locale).

Comme attendu, les principales différences observées sur les jours de week-end par rapport aux jours ouvrés de semaine concernent l'absence de pic de consommation aux alentours de 8h du matin et une consommation plus élevée au cours de la journée (Figure 34). Ce constat est généralisable à l'ensemble des DROM.

Quel que soit le jour de la semaine, les pics de puissance du soir et du matin à La Réunion semble pouvoir être associés notamment à la production d'eau chaude sanitaire électrique (ECSE) comme le montre l'analyse portant séparément sur les logements qui sont équipés d'ECSE de ceux qui ne le sont pas (Figure 35). Dans les autres DROM, la présence d'ECSE impacte les puissances appelées de manière homogène entre 6h-7h et minuit, sauf à la Martinique où l'impact reste similaire la nuit.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

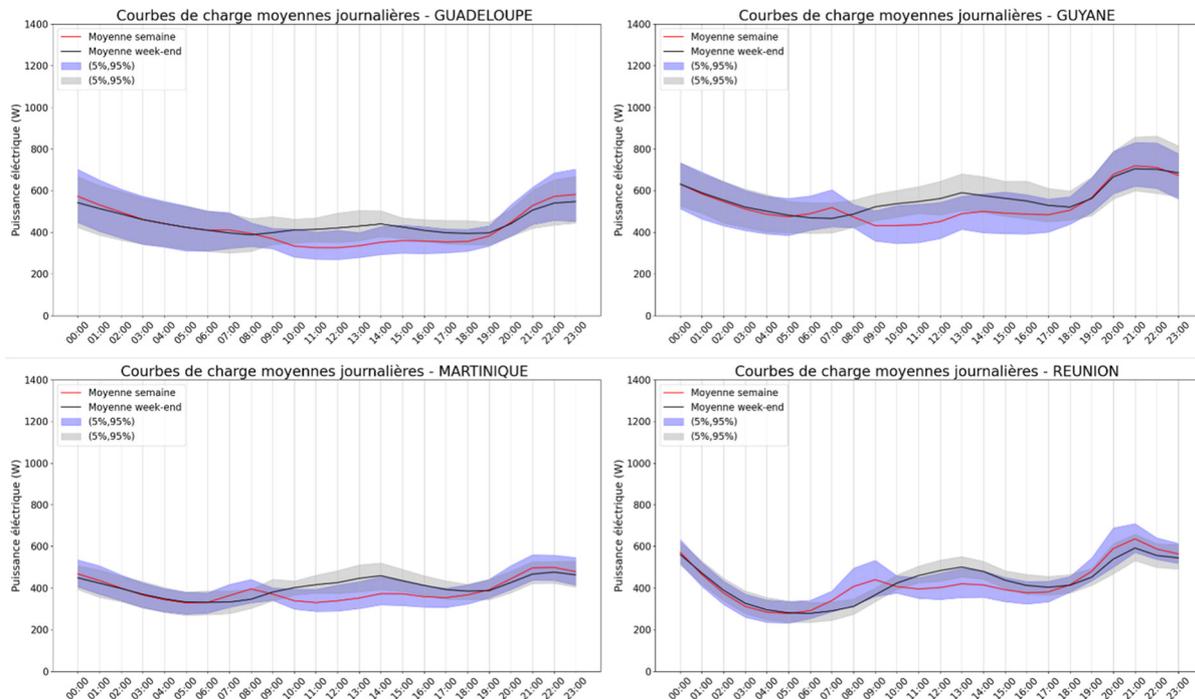


Figure 34 – Distributions des courbes de charge moyennes journalières par DROM pour les jours de semaine et de week-end (en heure locale).

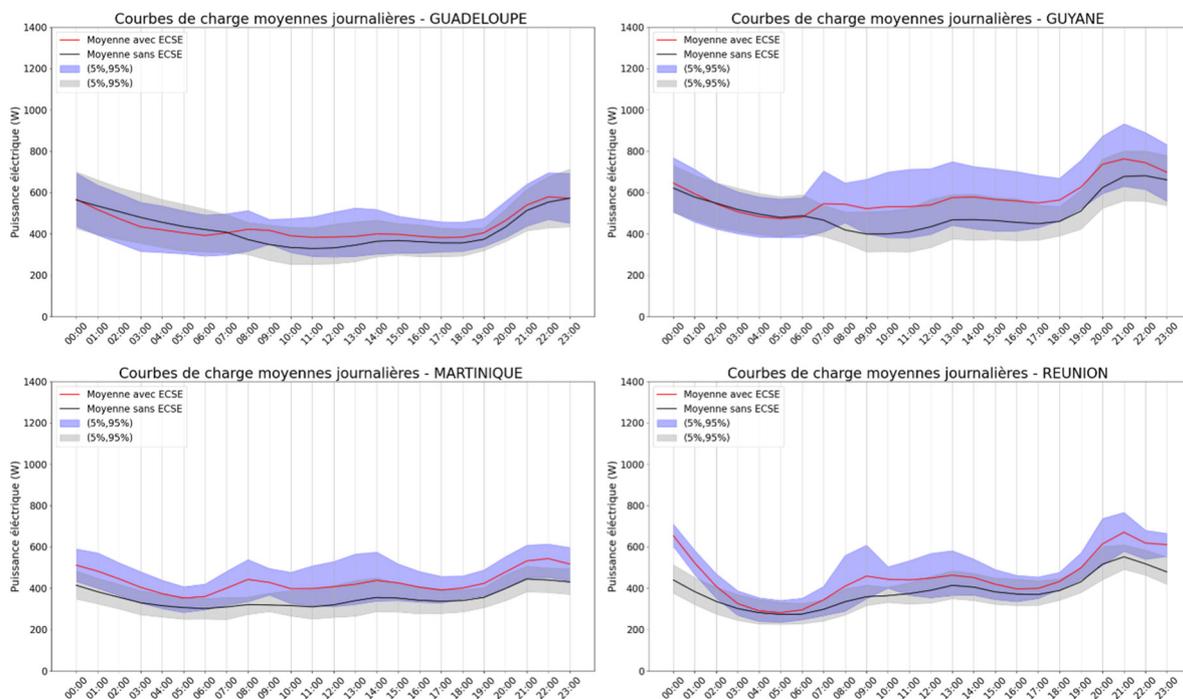


Figure 35 – Distributions des courbes de charge moyennes journalières par DROM en fonction de la présence ou non d'eau chaude sanitaire électrique (ECSE – en heure locale).

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Les dynamiques de consommation journalière sont également considérées en fonction du type d'abonnement souscrit par l'occupant (Figure 36). Les observations faites dépendent une nouvelle fois du DROM considéré. En effet, alors qu'en **Guyane et en Martinique, les logements disposant d'un abonnement heures pleines / heures creuses (HP_HC – HC entre 22h et 6h à une nuance près à La Réunion) ont des puissances appelées moyennes plus élevées de manière relativement homogène tout au long de la journée par rapport à ceux avec un abonnement de base, à La Réunion, les différences de puissances appelées entre les logements des deux types d'abonnement sont concentrées sur les heures creuses soit en soirée et la nuit aux moments de fonctionnement de l'ECSE soulignés juste avant. A la Guadeloupe, il existe une surpuissance appelée moyenne tout au long de la journée des logements avec des abonnements HP_HC et si celle-ci s'accroît sur les heures creuses, c'est toutefois à un degré moindre que pour La Réunion. La déformation de la courbe de charge journalière recherchée par un abonnement HP_HC apparaît ainsi n'être obtenue sur notre panel qu'à La Réunion et de manière moins marquée à la Guadeloupe.**

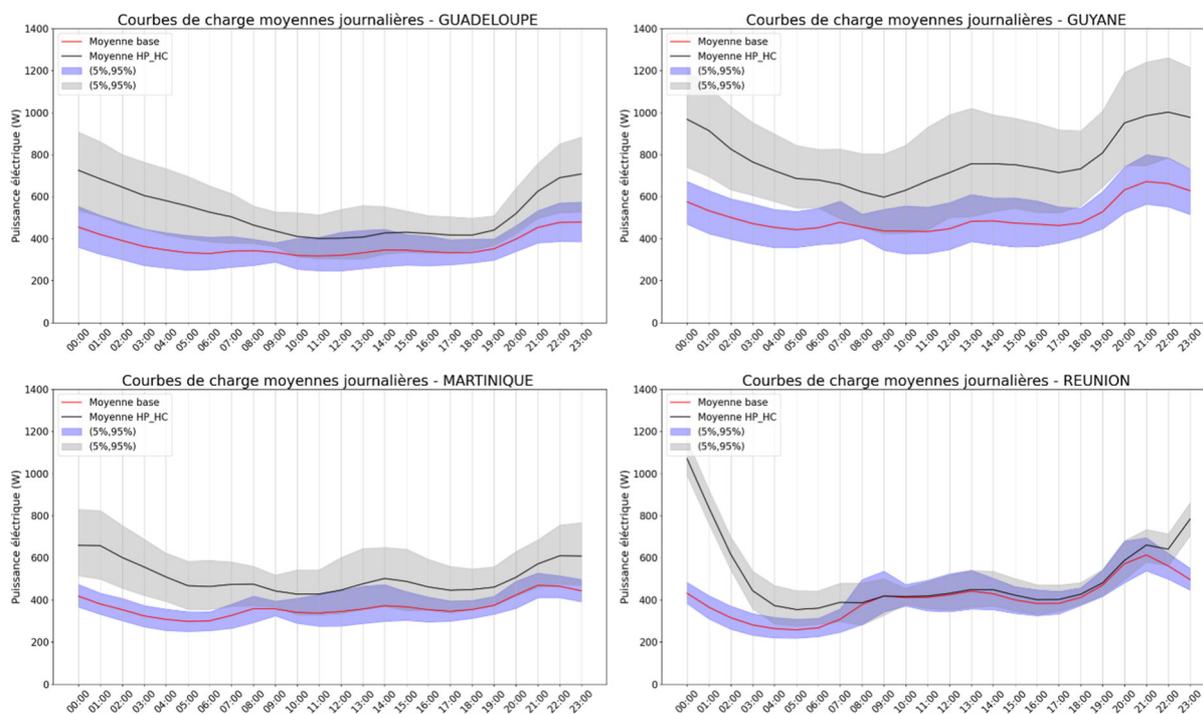


Figure 36 – Distributions des courbes de charge moyennes journalières par DROM en fonction du type d'abonnement (en heure locale).

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

L'analyse des courbes de charge en fonction du statut du logement confirme la présence en moyenne de puissances appelées plus élevées dans les logements privés que dans les logements sociaux (Figure 37). Les dynamiques de consommation sur la journée sont en revanche très similaires entre logements sociaux et privés au sein des échantillons des différents DROM.

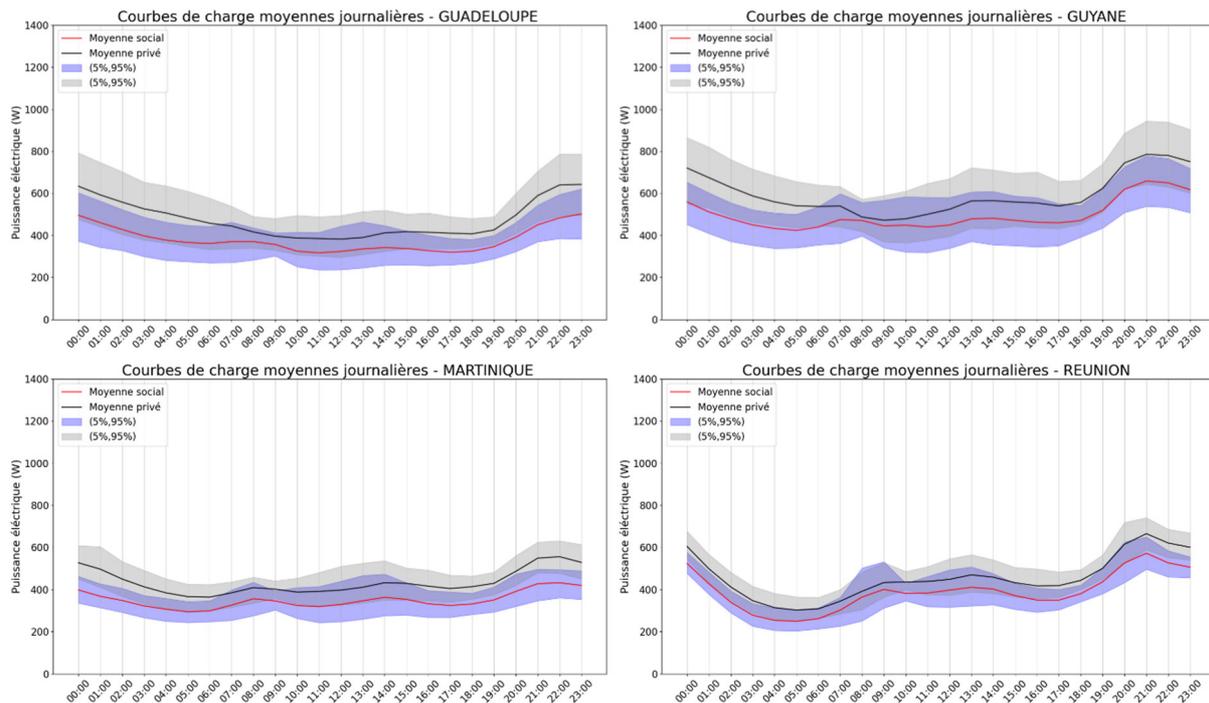


Figure 37 – Distributions des courbes de charge moyennes journalières par DROM et par statut de logement (en heure locale).

5.2 Impact de la climatisation sur les dynamiques de consommation

Les pics de puissance observés en soirée et la nuit sur les courbes de charge moyennes journalières obtenues (cf. Figure 33) peut s'expliquer aussi en grande partie par l'usage de la climatisation. En effet, les résultats de la partie 3.2 ont montré que la présence de la climatisation était le principal déterminant de la consommation annuelle électrique d'un logement. La différence de **courbe de charge journalière entre les logements équipés ou non de climatisation** est présentée en Figure 38. On y observe que **les logements équipés présentent des puissances appelées plus élevées tout au long de la journée avec une amplification des différences de puissance appelée en soirée et la nuit**. Ce constat d'amplification en soirée et la nuit des différences de puissance est néanmoins à **nuancer dans le cas de La Réunion** où l'importance de la climatisation dans les consommations est moins marquée que dans les autres DROM (Figure 14 et Figure 17) et où l'impact de l'ECSE la nuit est plus marqué (Figure 35).

Ces résultats avec **des puissances appelées pour les logements équipés de climatisation en Guyane supérieures à celles des logements équipés des autres DROM** sont également cohérents avec le fait que les consommations annuelles sont plus élevées sur l'échantillon de logements en Guyane (voir 3.2), un des DROM les plus équipés en climatisation sur le panel (voir 2.3.3).

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

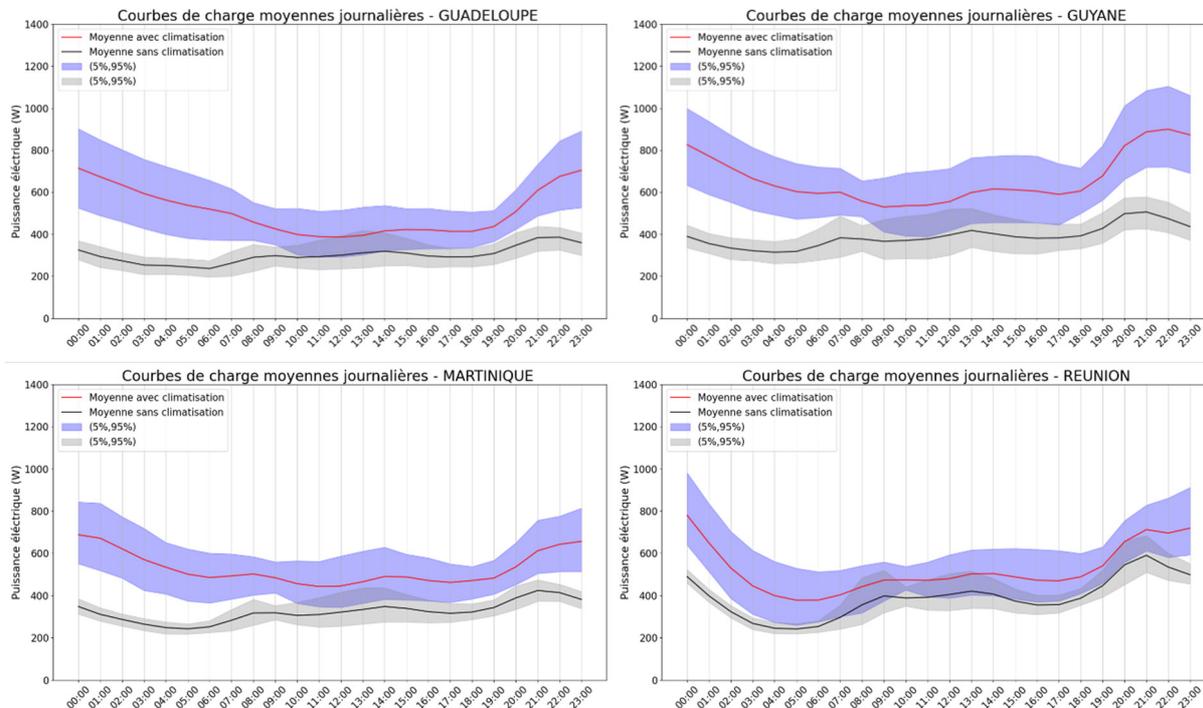


Figure 38 – Distributions des courbes de charge moyennes journalières par DROM en fonction de la présence ou non de climatisation (en heure locale).

Concernant une comparaison de la dynamique journalière de consommation entre les logements qui déclarent n'utiliser la climatisation que la nuit et ceux déclarant l'utiliser de manière indifférenciée le jour et la nuit (Figure 39), une différence significative de puissance appelée sur les heures diurnes apparaît principalement en Guyane et de manière un peu moindre dans les 3 autres DROM. Ce résultat confirme les analyses de la partie 3.2 (Figure 15) et notamment le fait que l'impact de l'usage exclusivement nocturne de la climatisation, sans être significatif, est néanmoins plus marqué à la Guyane que dans les autres DROM.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

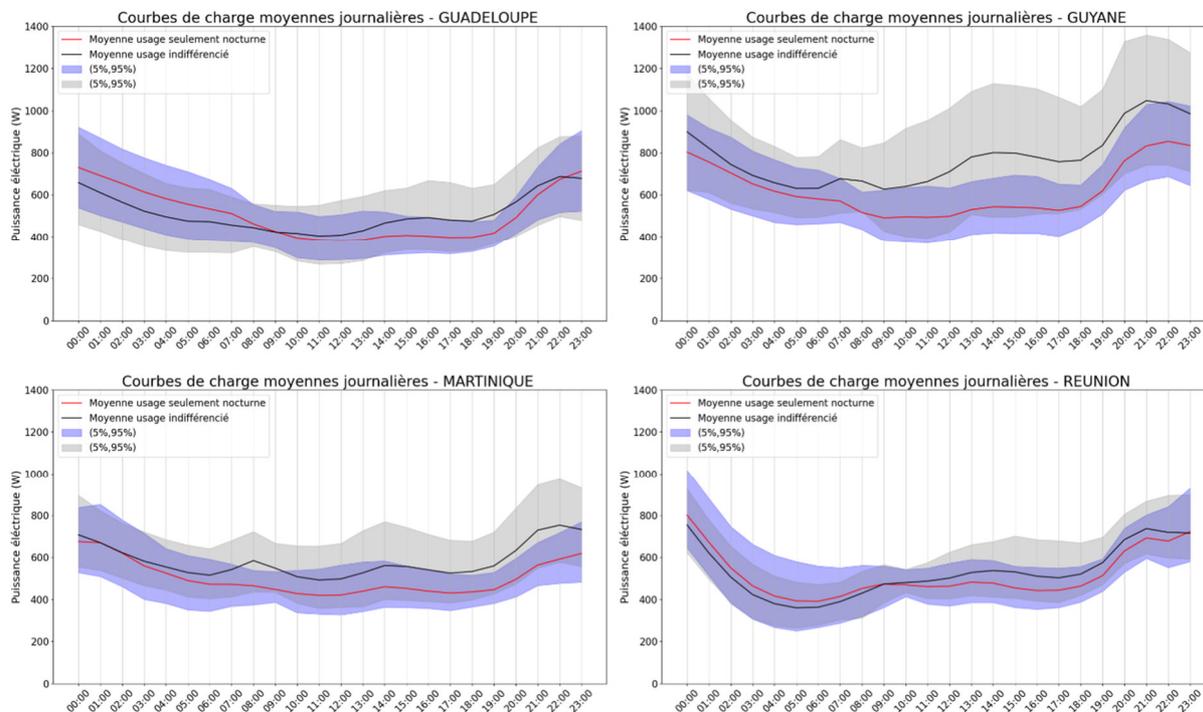


Figure 39 – Distributions des courbes de charge moyennes journalières par DROM en fonction de l'usage exclusivement nocturne ou non de la climatisation (en heure locale).

La dynamique saisonnière des consommations d'électricité au cours de l'année est également fortement dépendante du DROM au travers du climat de celui-ci. 4 zones géographiques associées à 4 climats principaux ont été distinguées ici (Tableau 6).

Tableau 6 – Répartition des climats en fonction des DROM

DROM	Climat
Guyane	Guyane
Guadeloupe	Antilles
Martinique	
Réunion	Côtes au vent et sous le vent
	Hauts

Afin de caractériser les conditions météorologiques de chaque climat, des DJU (Degré Jour Unifié) ont été calculés en distinguant les DJR (Degré Jour de Rafraîchissement) pour la Guyane, les Antilles et les côtes de La Réunion, et les DJC (Degré Jour de Chauffage) pour la région des Hauts de La Réunion. Les DJ calculés correspondent à la différence, par période de 24 heures, entre la température extérieure et une température seuil de référence fixée à 18 °C pour les DJC et 24 °C pour les DJR. Le seuil de 24 °C pour les DJR a été déterminé par la modélisation énergétique des logements équipés de climatisation. Ces modèles permettent notamment d'étudier l'évolution des consommations journalières en fonction de la température extérieure (Figure 40.). La température de seuil correspond au point d'inflexion au-delà duquel les consommations augmentent sensiblement avec la hausse de la température (Meng & Mourshed, 2017). Cependant, bien que le point d'inflexion des consommations puissent être relativement bien détectées en fonction des cas, il est important de noter que les corrélations entre consommations électriques et température extérieure peuvent être très faible au-delà de la température seuil. Ce constat indique que pour de nombreux cas la prise en compte de la température extérieure ne suffit pas à expliquer la variabilité

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

des consommations du logement. D'autres indicateurs météorologiques tels que l'humidité, les apports solaires, la vitesse et l'orientation du vent ainsi que des paramètres d'usage (jours de semaine / week-end) devraient être pris en compte au sein de modèles plus complexes.

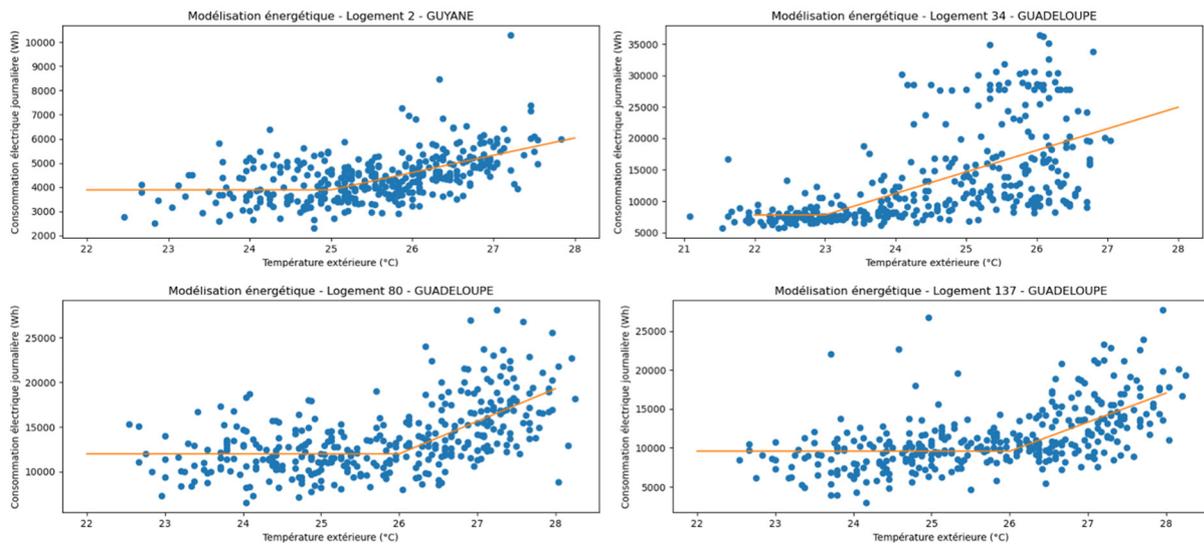


Figure 40 – Exemple de modélisation énergétique de logements équipés de climatisation en fonction de la température extérieure. Les points bleus représentent les données brutes et la courbe orange le modèle de consommation en fonction de la température extérieure.

Finalement, les DJ de chaque DROM représentent la moyenne des DJ calculés pour chaque logement à partir des données de la station météo la plus proche. Les DJR sont calculés pour les jours où la température extérieure minimale est supérieure au seuil de 24 °C, les DJC sont calculés pour les jours où la température extérieure maximale est inférieure au seuil de 18°C.

L'évolution saisonnière des consommations s'avère en moyenne être corrélée à l'évolution des températures extérieures aux Antilles et à la Guyane et dans une moindre mesure à La Réunion (Figure 41). En particulier, les consommations d'électricité sont corrélées aux DJR dans les Antilles, à la Guyane et sur les zones côtières de La Réunion mais elles sont corrélées aux DJC dans la zone des Hauts de la Réunion.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

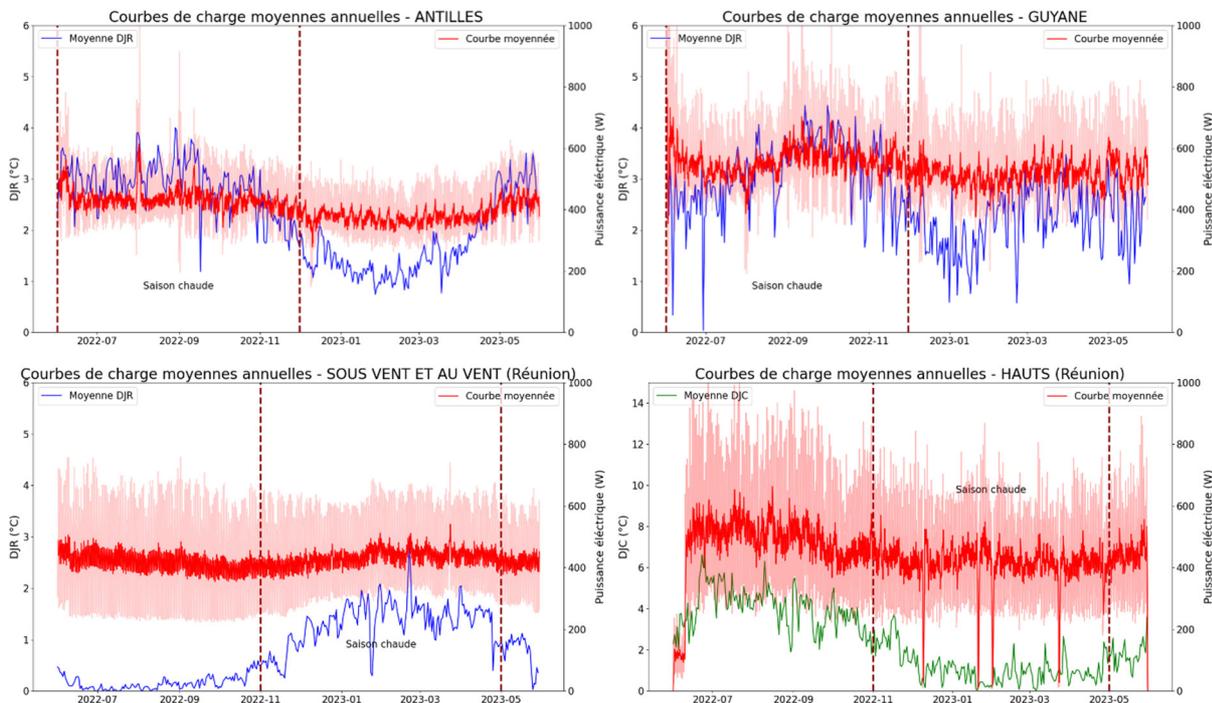


Figure 41 – Courbes de charge annuelles et évolution des DJR et DJC par zone climatique.

Comme attendu, la corrélation entre consommation électrique et DJR se vérifie presque exclusivement pour les logements équipés de climatisation (Figure 42). En outre, les consommations des logements équipés de climatisation sont significativement plus élevées tout au long de l'année que celles des logements sans climatisation aux Antilles et à la Guyane, où les DJR restent non nuls quelle que soit la saison. En revanche, sur les zones côtières de La Réunion, la différence de consommation entre logements climatisés et logements non climatisés n'est significative que pendant la saison chaude.

Dans les Hauts de La Réunion, une légère surconsommation est observée dans les logements équipés de chauffage électrique par rapport à ceux sans chauffage électrique lorsque les DJC sont les plus élevés.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

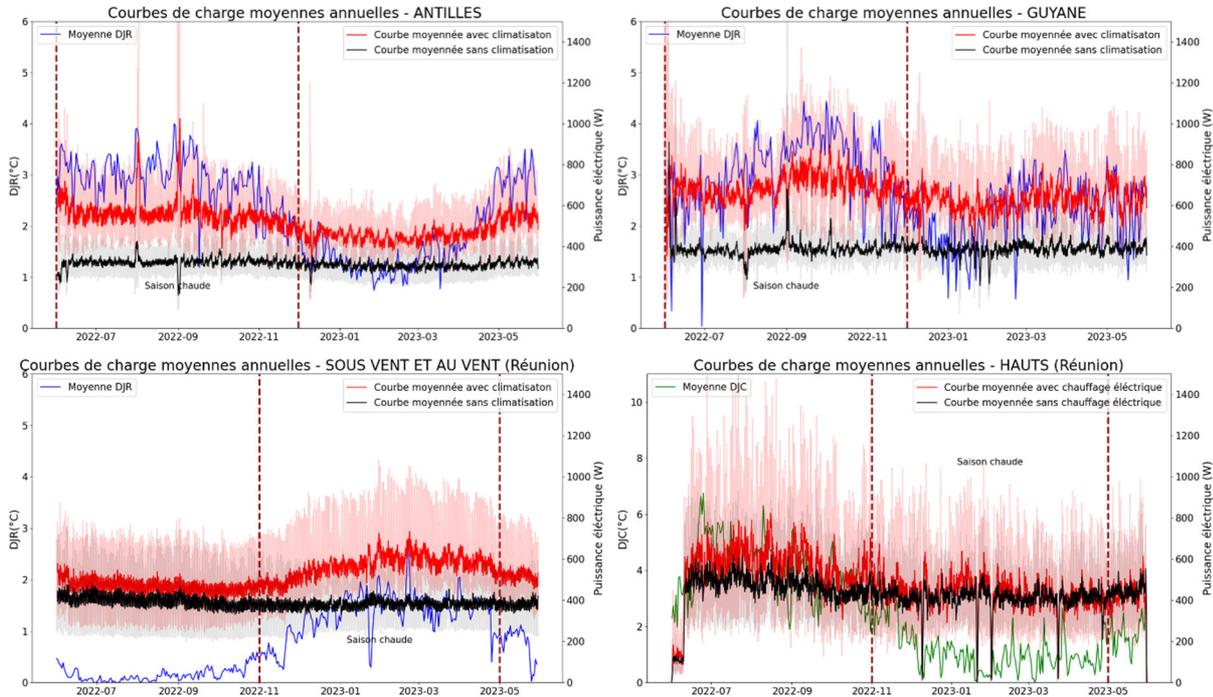


Figure 42 – Courbes de charge annuelles des logements équipés ou non de climatisation (resp. de chauffage électrique) et évolution des DJR (resp. DJC) par zone climatique.

5.3 Conclusions

L'accès aux données de courbes de charge horaire permis par les compteurs communicants permet d'aller plus loin dans la caractérisation des facteurs influençant les consommations d'électricité. En effet, les dynamiques des consommations journalières et annuelles présentent des spécificités en fonction du DROM considéré, en particulier de La Réunion par rapport aux 3 autres DROM. Ces spécificités sont notamment liées au climat local, à l'usage plus ou moins répandu de la climatisation et à la présence plus ou moins marquée de productions électriques d'ECS fonctionnant sur les heures creuses. En particulier, les logements équipés de climatisation présentent une surconsommation significative au cours des saisons chaudes de l'année.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

6 Modélisation et prédiction

Dans cette partie plus exploratoire de ce livrable sont présentés des travaux basés sur des méthodes statistiques avancées visant à compléter la caractérisation du panel de logements suivis et la détermination des facteurs explicatifs de la consommation. Des modèles ayant pour but de prévoir les caractéristiques des logements et les niveaux de consommation attendus sont aussi présentés.

6.1 Analyse du panel par méthodes de clustering

Afin d'analyser les consommations annuelles électriques des logements en considérant une approche multicritère et sans supposer de linéarité entre les variables, **une approche par classification non supervisée** (*clustering*) a été menée. Les variables explicatives retenues, **celles sur lesquelles a été construite la classification, ont été les réponses au questionnaire** (2.2.2) et **les données météorologiques** (Tableau 6).

L'encodage des données du questionnaire a nécessité de procéder à une réduction du nombre de dimensions avant de pouvoir appliquer l'algorithme de clustering. La réduction de la dimensionnalité a été menée grâce à la méthodologie UMAP (*Uniform Manifold Approximation and Projection*) qui permet de conserver, de manière très satisfaisante, les relations de proximité entre les points dans l'espace de données original tout en les projetant dans un espace réduit (ici à 4 dimensions). Cette technique a pour avantage de gérer efficacement les structures complexes et non linéaires de données, et permet d'obtenir une représentation réduite qui préserve au mieux les caractéristiques initiales. Enfin l'algorithme de classification choisi est un algorithme de classification hiérarchique ascendante. Afin de déterminer le nombre adéquat de classes différentes à considérer, deux métriques ont été calculées en fonction du nombre de classe : l'inertie inter-classe et le coefficient de silhouette :

- **L'inertie** est définie comme la somme des carrés des distances des points à leur centre de gravité. Dans le cas de l'inertie inter-classe, le centre de gravité est le centroïde de la classe. Il s'agit donc d'une mesure de la dispersion des points à l'intérieur de chaque classe. Lorsque tous les points sont dans la même classe, l'inertie inter-classe est maximale, lorsque le nombre de classes est égal au nombre de points, l'inertie inter-classe est nulle. Dans le cadre d'une classification non supervisée, on cherchera un compromis entre une inertie inter-classe faible et un nombre de cluster minimal. Il s'agit donc de déterminer le nombre minimal de classes qui minimise l'inertie inter-classe.
- **Le coefficient de silhouette** varie de -1 à 1 et mesure à quel point chaque point est similaire aux autres points de sa propre classe par rapport aux autres points des autres classes. Une valeur de 1 indique que le point est bien classé dans sa classe et est nettement séparé des autres classes, une valeur de 0 indique que le point est proche de la frontière entre deux classes, et une valeur proche de -1 indique que le point est probablement mal classé. Le coefficient de silhouette global est la moyenne des coefficients de l'ensemble des points.

D'après l'évolution de ces deux métriques en fonction du nombre de classes (Figure 43) et en cherchant à minimiser l'inertie inter-classe et le nombre de cluster tout en maximisant le coefficient de silhouette, **un partitionnement à 10 classes a été retenu.**

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

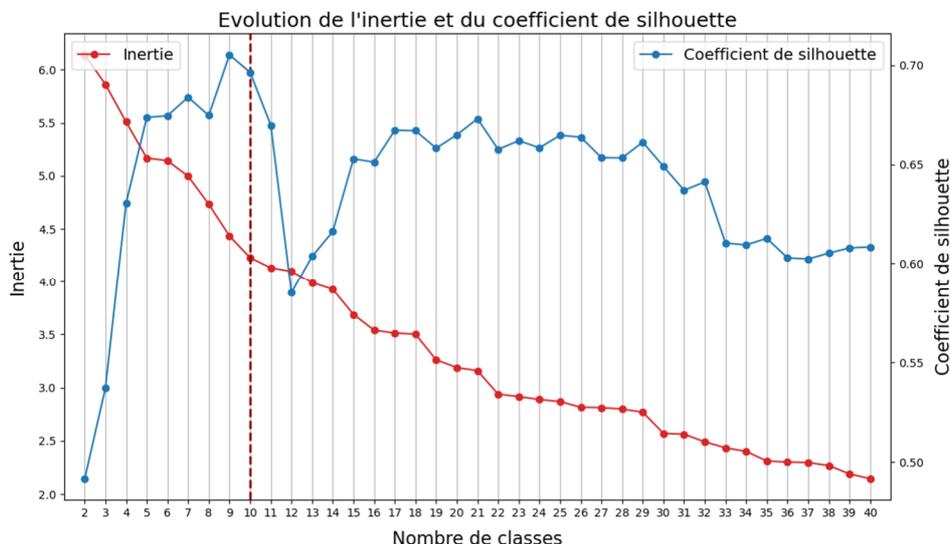


Figure 43 – Évolution de l'inertie inter-classe et du coefficient de silhouette en fonction du nombre de classes considéré.

Les noms des classes sont ensuite attribuée en fonction des distributions des consommations annuelles électriques des logements de chaque classe afin qu'elles correspondent en moyenne à des classes énergétiques croissantes (Figure 44). La représentation des logements en fonction de leur classe projetée dans l'espace à 4 dimensions de l'UMAP est également donnée Figure 45 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

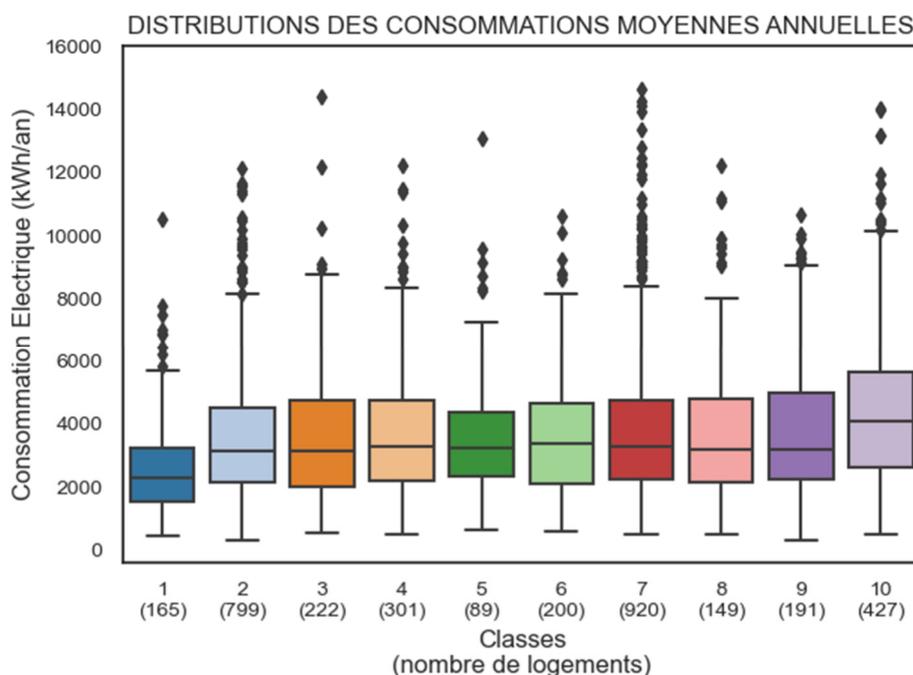


Figure 44 – Distributions des consommations électriques annuelles des logements de chaque classe.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

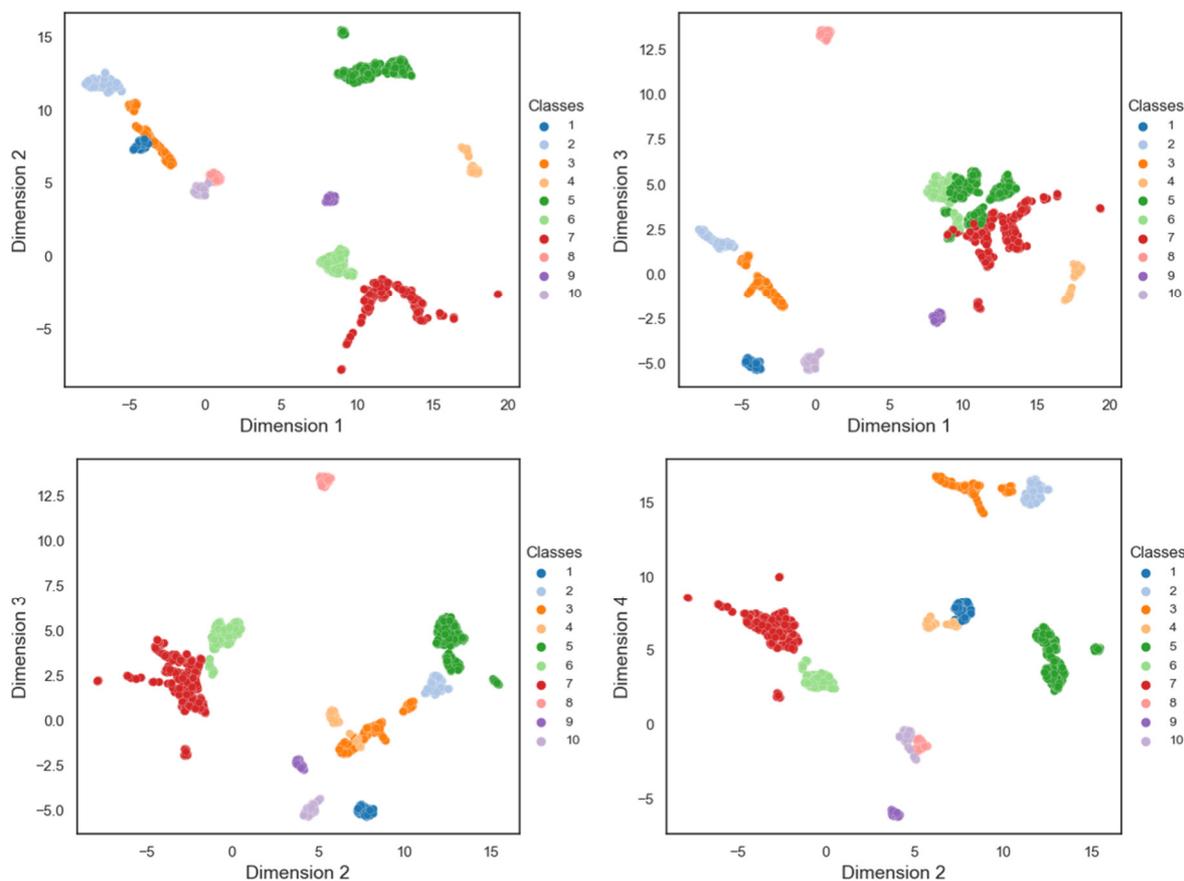


Figure 45 – Représentation des logements dans l'espace à 4 dimensions de l'UMAP en fonction de leur classe.

L'application du test de Student afin de vérifier deux à deux les différences entre les distributions de consommations annuelles électriques des classes montre que seules les distributions des classes 1 et 10 sont significativement différentes. Le partitionnement des logements en fonction des réponses au questionnaire n'implique donc pas de partitionnement satisfaisant au regard des consommations.

La Figure 46 présente les distributions des rapports écart-type / moyenne calculés sur les consommations des logements de chaque classe en fonction du nombre total de classes considérées dans le partitionnement. Pour une classe qui serait homogène en termes de consommations (i.e. avec une faible dispersion), le rapport écart-type / moyenne devrait tendre vers 0 ainsi la distribution des rapports écart-type / moyenne d'un ensemble de classes homogènes doit être resserrée avec une médiane proche de 0. Les résultats de la Figure 46 confirment donc la grande variabilité des consommations au sein des classes. De plus, cette figure permet de mettre en évidence que cette variabilité tend à augmenter avec le nombre de classes (médianes des distributions en diminution mais augmentation de leur dispersion). Augmenter le nombre de classes du partitionnement n'améliore donc pas les résultats de ce dernier en termes de consommations annuelles d'électricité plus homogènes au sein des classes.

Livrable 3.4
 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

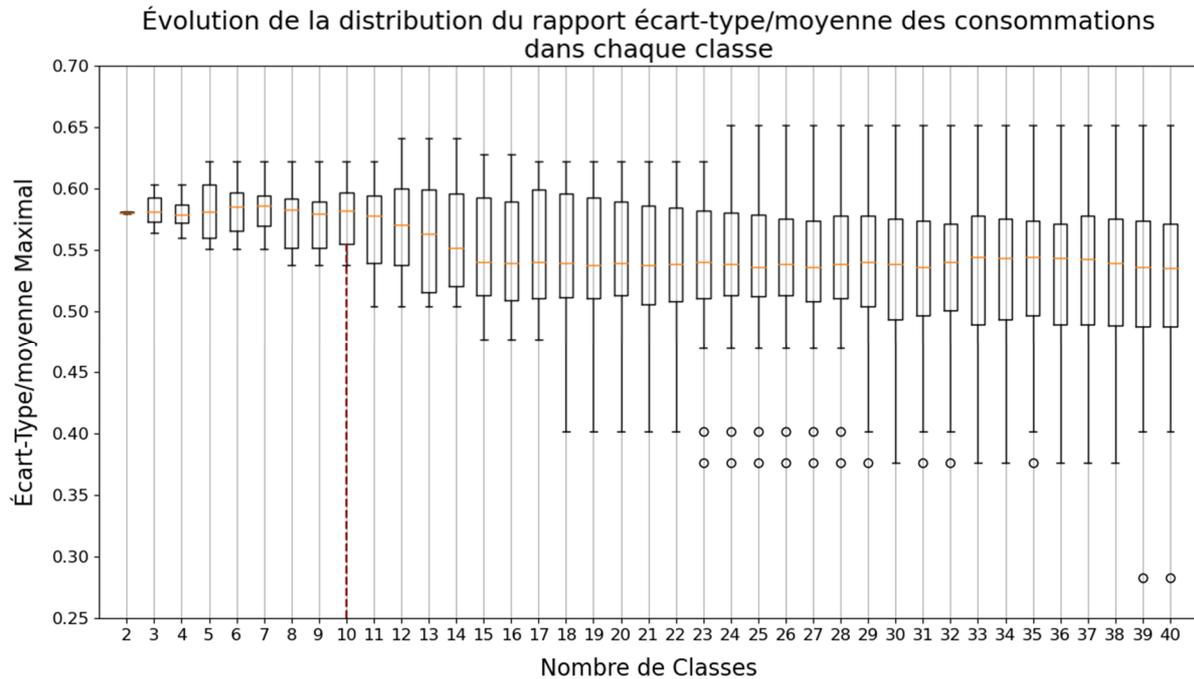


Figure 46 – Distributions des rapports écart-type/moyenne des distributions des consommations des logements dans les classes en fonction du nombre total de classes considérées dans le partitionnement.

Pour pouvoir interpréter les résultats de la classification en fonction des réponses au questionnaire, il faut déterminer, pour chaque classe, si les modalités prises pour chaque variable sont significativement différentes d'une distribution de celles-ci prise au hasard. Si le résultat du test est concluant on en déduit que la variable considérée décrit significativement la classe, autrement dit que les logements de cette classe présentent une modalité de cette variable de manière significativement différente des logements des autres classes. Ce test permet de construire le Tableau 7 afin d'avoir une vue synthétique de l'interprétation de chaque classe. Ce tableau permet de constater que **les logements les moins consommateurs du panel (classe 1) sont essentiellement des logements qui regroupent en moyenne 2,5 occupants et qui sont majoritairement non équipés de climatisation. A l'inverse, les logements qui sont significativement les plus consommateurs (classe 10) sont des logements majoritairement privés avec, en moyenne, 3,3 occupants, équipés d'ECSE et de climatisation qu'ils utilisent indifféremment de jour et de nuit.**

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Tableau 7 – Valeurs majoritaires des variables explicatives dans chaque classe. Appt : Appartement, 0 : la variable n'est pas significative pour cette classe, NC : logements non concernés.

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Type	o	Appt	Appt	Maison	o	Maison	Appt	Maison	Maison	o
Statut	o	o	o	o	o	o	o	Privé	o	Privé
Occupants (moyenne)	2.5	2.5	3.3	3.2	3.6	3.3	3.0	3.2	3.5	3.3
Clim.	Non	o	o	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui
Clim. Usage seulement nocturne	NC	o	o	NC	NC	NC	NC	NC	NC	Non
ECSE	o	o	Oui	Oui	o	o	Non	o	o	Oui
Climat	o	Sous vent	Au vent			Sous vent	Antilles	Sous vent		
Chauffage électrique	Non	Non	Non	Non	Non	Non	NC	Non	Non	Non

Des modèles d'apprentissage automatique ont été entraînés sur une partie du panel (20 %) pour détecter la classe attribuée par le partitionnement en fonction des réponses au questionnaire. Ces modèles ont ensuite été testés sur l'autre partie du panel. Il s'avère que le modèle d'apprentissage retrouve la classe attribuée par le partitionnement avec une précision de 98 %.

Dans un second temps, afin de mieux expliquer la variabilité des consommations observées dans chaque classe, un deuxième partitionnement a été mené dans chaque classe mais cette fois en tenant compte de la consommation comme unique variable. Il s'agit donc d'un clustering sur deux espaces similaires à d'autres travaux menés au CSTB (Rivallain, Agapoff, Boisson, Fouquier, & Lee, 2019). Le nombre de classes du second partitionnement est déterminé en fonction de la variabilité des consommations dans la classe considérée. Un exemple de cette méthodologie est donné Figure 47 pour la classe 10.

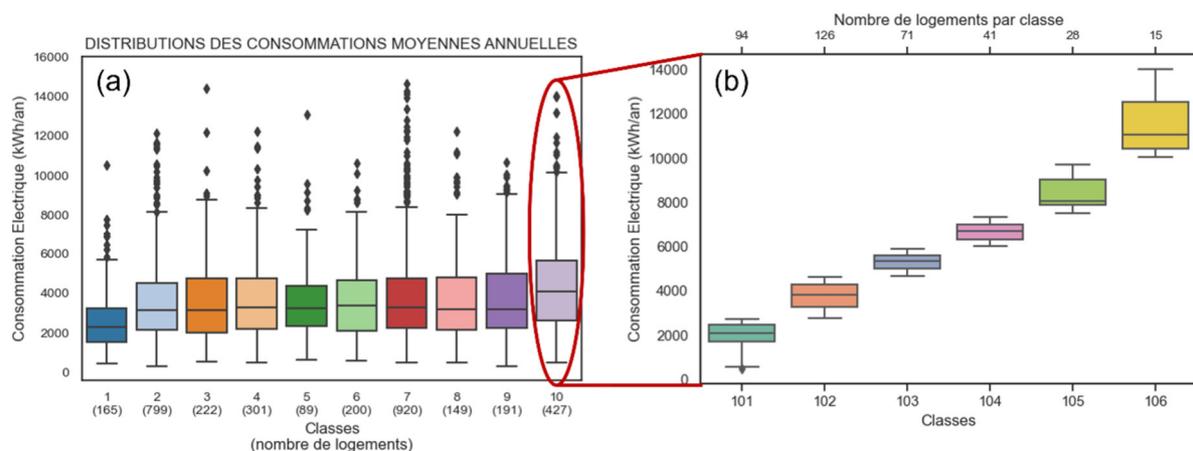


Figure 47 – Illustration de la méthodologie de partitionnement sur deux espaces. (a) Premier partitionnement sur l'espace du questionnaire et (b) second partitionnement sur l'espace des consommations.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Cette méthodologie permet d'obtenir des classes qui soient homogènes vis-à-vis des réponses au questionnaire mais également des niveaux de consommation. De manière similaire au premier partitionnement, les modalités majoritaires de chaque variable sont identifiées afin de pouvoir interpréter chaque sous-classe. Le Tableau 8 répertorie les modalités majoritaires pour les sous-classes de la classe 10, celle avec les niveaux de consommation d'électricité les plus élevés. Les sous-classes sont nommées et triées par ordre croissant de consommation.

Tableau 8 – Valeurs majoritaires des variables explicatives dans les sous-classes de la classe 10. Appt : Appartement, 0 : la variable n'est pas significative pour cette classe, NC : logements non concernés.

Classes	101	102	103	104	105	106	Rappel classe 10
Type	0	0	0	Maison	Maison	Maison	0
Statut	Privé	Privé	Privé	Privé	Privé	Privé	Privé
Occupants (moyenne)	2,2	3,0	3,6	4,2	4,6	4,7	3,3
Clim.	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Clim. seulement nocturne	0	0	Oui	0	Non	0	Non
ECSE	0	0	Oui	Oui	Oui	0	Oui
Climat	0	Au vent	Sous Vent	0	0	Sous vent	
Chauffage électrique	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non

Il est intéressant de constater que les modalités relatives au statut (*Privé*) et à la climatisation (*Oui*), précédemment identifiées comme majoritaires dans la classe 10 le sont également dans chaque sous-classe. De plus, cette seconde classification permet de mettre en avant d'autres variables déterminantes pour la consommation, à savoir le type de logement (*Maison*), la présence d'ECSE et le nombre d'occupants. En effet, **à modalité de climatisation et de statut donnée, les logements les plus consommateurs sont les logements avec le plus grand nombre d'occupants et majoritairement des maisons qui n'utilisent pas la climatisation que la nuit et qui, dans une moindre mesure, sont équipées d'ECSE.** La présence de chauffage électrique ne semble pas déterminante dans le sens où elle ne concerne qu'une faible proportion de logements du panel.

Comme précédemment, des modèles d'apprentissage automatique ont été entraînés sur une partie des logements des sous-classes créées. Cependant les performances de ces modèles ne dépassent pas une précision de 40 %. Ces résultats sont cohérents avec la part de variance expliqué par les informations contenues dans le questionnaire (voir partie 3).

Au global, lorsqu'on partitionne notre échantillon sur la base des variables issues du questionnaire demandé de remplir aux recrutés (2.2.2), on obtient au sein de chaque classe des consommations annuelles d'électricité dispersées et qui se recouvrent les unes les autres. Lorsque chacune de ces classes est de nouveau partitionnée sur le critère de la consommation annuelle d'électricité, on retrouve les principales variables explicatives du niveau de la consommation annuelle d'un logement identifiées dans la partie 3.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

6.2 Prédictions par apprentissage automatique (*machine learning*)

Les données du panel ont également été utilisées pour **construire des modèles d'intelligence artificielle afin d'une part, de pouvoir prédire le niveau de consommation annuelle d'électricité d'un logement en fonction de ses réponses au questionnaire, et d'autre part, afin de détecter la présence de climatisation dans un logement en connaissant sa consommation annuelle d'électricité et les informations fournies par le questionnaire (hors questions relatives à la climatisation).**

Les données des réponses aux questionnaires étant, pour la plupart, des données catégorielles, elles ont été encodées sous forme numérique par une méthodologie d'encodage one-hot (*one-hot encoding*). Comme pour les analyses statistiques, les données manquantes ou considérées aberrantes ne sont pas prises en compte dans les modèles (voir 2.2.4). Une fois prétraitées, les données sont scindées en deux ensembles de manière aléatoire : un ensemble d'entraînement (20 % du panel) qui permet de construire le modèle, et un ensemble de test (80 % du panel) qui permet d'en évaluer les performances.

Dans les deux cas d'application, prédiction de la consommation annuelle ou de la présence de climatisation, différents modèles ont pu être testés et évalués par différentes métriques. Dans le cas de la prédiction de la consommation, il s'agit de régressions évaluées par le coefficient de détermination (R^2) qui indique la proportion de variance de la variable dépendante expliquée par les variables indépendantes explicatives. Dans le cas de la détection de climatisation, il s'agit de modèles de classification évalués par le biais de 3 métriques principales :

- *Justesse (accuracy)* : proportion de détections correctes par rapport à l'ensemble des détections. Capacité du modèle à détecter la présence ou l'absence de climatisation.
- *Précision (precision)* : proportion de logements identifiés par le modèle comme équipés de climatisation et qui le sont réellement. Capacité du modèle à ne pas détecter la présence de climatisation par erreur.
- *Rappel (recall)* : proportion de logements identifiés par le modèle comme équipés de climatisation sur l'ensemble de logements réellement équipés. Capacité du modèle à détecter les logements équipés de climatisation.

L'objectif est donc de maximiser la justesse du modèle (*accuracy* proche de 1) tout en minimisant le nombre de faux positifs (*precision* proche de 1) et de faux négatifs (*recall* proche de 1).

Des modèles d'apprentissage profond basés sur des réseaux de neurones ont également été testés.

6.2.1 Prédiction du niveau de consommation annuelle

Pour pouvoir prédire le niveau de consommation annuelle d'électricité d'un logement en fonction des réponses au questionnaire, plusieurs modèles d'apprentissage automatique ont été testés. Les données d'entrée de ces modèles intègrent également les données météorologiques de chaque logement afin de tenir compte des conditions environnementales extérieures.

Les résultats des 6 modèles de régression les plus performants sont présentés dans le Tableau 9. Parmi les modèles testés, les modèles *CatBoostRegressor* et *Gradient Boosting* sont les modèles qui ont permis d'obtenir les meilleures performances. Ce dernier permet notamment de combiner les résultats de plusieurs arbres de décision (jusqu'à 100 dans le cas présent).

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Tableau 9 – R² des principaux modèles d'intelligence artificielle testés pour la prédiction de la consommation annuelle d'électricité.

Nom	R ²
CatBoost	0.409
Gradient Boosting	0.399
Ridge	0.384
Régression Linéaire	0.383
Lasso	0.369
Random forest	0.246

Il est intéressant de noter que les valeurs des coefficients de détermination des meilleurs modèles sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus avec les modèles de régression linéaire multiple (voir 3.2) ou ceux obtenus après le partitionnement sur deux espaces (voir 6.1). Ce résultat permet de mettre en évidence le fait que l'information contenue dans les réponses du questionnaire ne permet d'expliquer que 40 % de la variance observée dans les consommations des différents logements. D'autres facteurs de dépendance significatifs ne sont donc pas pris en compte dans les réponses. Il permet également de valider les conclusions déduites des modèles de régression linéaire dans la mesure des connaissances apportées par les réponses du questionnaire.

Les modèles d'apprentissage profond (réseaux de neurones) ont permis d'obtenir des coefficients de détermination de même grandeur.

6.2.2 Détection de la présence de climatisation

La détection de la présence de climatisation dans les logements a été menée par l'élaboration de modèles de classification supervisée. Les résultats des métriques obtenues sur les 6 modèles les plus performants sont présentés dans le Tableau 10.

Le modèle le plus performant repose sur l'algorithme Random Forest qui combine les résultats de plusieurs arbres de décision et permet d'identifier correctement l'absence ou la présence de climatisation dans 76 % des cas.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Tableau 10 – Résultats des principaux modèles d'intelligence artificielle testés pour la détection de climatisation.

Nom	Justesse	Précision	Rappel
random_forest	0.762	0.782	0.891
gradientboost	0.759	0.778	0.893
logistic	0.755	0.770	0.901
adaboost	0.758	0.781	0.884
ridge	0.751	0.767	0.899
xgboost	0.749	0.776	0.877

Des modèles d'apprentissage profond (réseaux de neurones) ont également été testés. Le modèle retenu est composé d'une couche d'entrée de 64 neurones et d'une fonction d'activation de type ReLu, d'une couche cachée de 32 neurones utilisant également une fonction d'activation ReLu et d'une couche de sortie à un seul neurone activé par une fonction sigmoïde adaptée à notre tâche de classification binaire.

Les métriques du modèle sont les suivantes : Justesse : 76 %, Précision : 77 %, Rappel : 87 %. Ce type de modèle n'améliore donc pas les performances de détection de la climatisation par rapport aux modèles de classification supervisée présentés précédemment.

6.3 Conclusions

En conclusion, la connaissance des réponses au questionnaire demandé de remplir aux recrutés (2.2.2) et des consommations annuelles d'électricité semblent suffisantes pour détecter la présence d'équipements tels que la climatisation avec une précision satisfaisante de l'ordre de 80 %.

En revanche, l'information apportée par les réponses au questionnaire ne sont pas suffisantes pour estimer un niveau de consommation annuelle d'électricité avec une précision satisfaisante quelle que soit la méthodologie développée (partitionnement ou apprentissage automatique). Ces méthodologies apportent en revanche une connaissance cohérente avec les analyses linéaires de la partie 3 des déterminants de la consommation parmi les variables observées par le biais du questionnaire.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

7 Conclusion générale

L'étude « Suivi au compteur » du projet ECCO DOM, menée par le CSTB avec l'appui EDF SEI pour le recrutement des participants, s'inscrit dans l'objectif d'une meilleure compréhension des consommations d'électricité des parcs résidentiel et social dans les DROM, venant en complément de l'étude Observatoire (CSTB, Livrable 3.2 - Synthèse des connaissances et analyse de l'observatoire ECCO DOM, 2022). Elle se caractérise par la taille importante du panel suivi, 3878 logements analysés dans l'étude. Les informations récoltées et analysées présentent une complémentarité entre données énergétiques issues des compteurs électriques communiquant, informations caractéristiques des logements et données météorologiques.

Le recrutement du panel étudié a été fait uniquement parmi les clients d'EDF SEI éligibles au chèque énergie sur les 3 dernières années afin de viser le public cible du programme ECCO DOM et ainsi suivre le plus grand nombre de logements sociaux possibles ce qui amène à devoir prendre des précautions par rapport à toute généralisation des observations faites dans cette étude. Il est à noter que le panel global constitué présente donc une sur-représentation des logements sociaux mais aussi des logements de La Réunion et enfin des taux d'équipement en chauffe-eau électrique et en climatisation globalement supérieurs aux données recensées sur les parcs des DROM

Différents enseignements peuvent toutefois être tirés de ces travaux via l'analyse des consommations annuelles d'électricité, des puissances maximales journalières, des courbes de charge horaire et grâce à l'application de techniques de *Machine Learning*.

L'étude des consommations annuelles des logements du panel a permis de mettre en évidence une surconsommation significative d'une part, des logements privés par rapport aux logements sociaux (+18 % en moyenne) et d'autre part, des maisons individuelles par rapport aux logements collectifs (+23 % en moyenne). Les différences de consommation observées entre maisons individuelles privées et logements collectifs sociaux sont principalement dues à une proportion plus élevée de logements équipés de climatisation dans les premiers, ce paramètre ayant été identifié comme le facteur le plus influent sur le niveau de consommation d'un logement. De plus, les maisons individuelles présentent un nombre d'occupants plus élevé, second facteur explicatif du niveau de consommation d'un logement. La présence d'ECS électrique, troisième facteur explicatif, semble être plus impactante sur la consommation dans le cas des logements sociaux, où il représente un poste de consommation plus important, que dans le cas des logements privés. Ces analyses permettent d'expliquer les différents niveaux de consommation observés dans chaque DROM et en particulier le fait que la consommation électrique des logements suivis en Guyane (présence importante de la climatisation et nombre important d'occupants dans les logements) soit significativement supérieure à celle des logements des autres DROM.

Les surconsommations moyennes des logements possédant de la climatisation par rapport à ceux n'en possédant pas sont de 1333 kWh/an.

Pour l'ECS électrique, une surconsommation de l'ordre de 500 à 600 kWh/an est observée pour les logements équipés par rapport à ceux non équipés.

L'étude des puissances maximales journalières confirme les liens observés entre les consommations annuelles d'électricité et la présence de climatisation d'une part et d'autre part, la taille des ménages. L'étude dédiée à la vérification de l'adéquation entre abonnements souscrits et puissances maximales atteintes sur l'année montre que parmi les logements avec un abonnement de faible puissance (3 kVA), des dépassements réguliers sont observés pour près de 60 % d'entre eux. De plus, parmi les logements avec un abonnement de plus forte puissance (6-9-12 kVA), une part non négligeable des ménages (36 %) aurait pu réduire leur niveau de puissance souscrite.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

L'accès aux données de courbes de charge horaire permis par les compteurs communicants permet d'aller plus loin dans la caractérisation des facteurs influençant les consommations d'électricité. En effet, les dynamiques de consommation journalières et annuelles présentent des spécificités en fonction du DROM considéré, en particulier de La Réunion par rapport aux 3 autres DROM. Ces spécificités sont notamment liées au climat local, à l'usage plus ou moins répandu de la climatisation et à la présence plus ou moins marquée de productions électriques d'ECS fonctionnant sur les heures creuses. En particulier, les logements équipés de climatisation présentent une surconsommation significative au cours des saisons chaudes de l'année.

Enfin des travaux de modélisations statistiques plus avancés ont été conduits sur le jeu de données du panel. Ceux-ci visaient différents objectifs : rechercher à améliorer la compréhension des déterminants de la consommation électrique d'un logement, construire des modèles capables de prédire les consommations annuelles électriques d'un logement à partir de ses principales caractéristiques et créer des modèles capables de prédire la présence de climatisation dans un logement à partir des principales caractéristiques de celui-ci et de sa consommation annuelle électrique. Si les modèles édifiés permettent de détecter la présence de la climatisation avec une précision satisfaisante ceux pour prédire la consommation annuelle présentent une précision insatisfaisante. Une connaissance des déterminants de la consommation cohérente avec les analyses menées précédemment est apportée par ces modèles.

Les enseignements présentés dans cette étude et issus du projet ECCO DOM permettent d'avancer dans la compréhension de la consommation électrique des logements des DROM et notamment des logements sociaux. Ils fournissent des clés pour répondre aux enjeux spécifiques de réduction de consommations d'énergie et de maintien et d'amélioration du confort thermique. Pour poursuivre ces travaux, différentes pistes pourraient être explorées : l'extension et la généralisation de l'étude sur un panel plus représentatif des parcs résidentiels de chaque DROM, une caractérisation plus fine de l'occupation et de la présence effective dans les logements, un traitement plus spécifique des systèmes d'eau chaude sanitaire solaire notamment à La Réunion où des appoints électriques peuvent exister. Une approche statistique globale dédiée aux problématiques de confort thermique pourrait aussi compléter ces travaux.

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

Bibliographie

- Ademe. (2016). *Les besoins d'eau chaude sanitaire en habitat individuel et collectif*.
- Ademe. (2021). *Panel usages électrodomestiques-Consommations électrodomestiques françaises basées sur des mesures collectées en continue dans 100 logements*. Ademe.
- ALTER ENERTECH. (2021). *Réalisation d'une campagne de mesures sur des logements en Guyane*.
- ASHRAE Standard 55-2004. (ANSI/ASHRAE Standard 55-2004). *Thermal environment conditions for human occupancy*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers.
- CSTB. (2021, avril). *Livrable 1.2 – Partie 1 - Etudes bibliographiques et état de l'art*. Récupéré sur Page "Ressources" - site internet ECCO DOM: https://ecco-dom.fr/wp-content/uploads/2021/06/RGP-20-006RE-CB-ECCO-DOM_Livrable1.2_Partie-1_Etudes-bibliographiques-et-etat-de-lart-V2_finale_charte%CC%81e.pdf
- CSTB. (2022, février). *Livrable 3.1 - Rapport étude sociologique*. Récupéré sur Page "Ressources" - site internet ECCO DOM: https://ecco-dom.fr/wp-content/uploads/2022/03/ECCO-DOM_Livrable-3.1_Etude-sociologique_v1.pdf
- CSTB. (2022). *Livrable 3.2 - Synthèse des connaissances et analyse de l'observatoire ECCO DOM*.
- Douglas, F. (1991). On distribution free multiple comparison in the one way analysis of variance. *Communications in statistic Theory and Methods*, 127-139.
- DRESS. (2022). *Minima sociaux et prestations sociales - Edition 2022 - fiche 35 'Le chèque Energie'*.
- EDF. (2019). www.equilibredesenergies.org. Récupéré sur <https://www.equilibredesenergies.org/30-07-2020-la-climatization-des-logements-residentiels-laisser-faire-ou-encadrer-intelligemment/>
- European Committee for Standardization. (2019). *EN 16798-1: Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1 : indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustic*. Brussels.
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environment Engineering*. Technical University of Denmark: DANISH TECHNICAL PRESS. Copenhagen, Denmark <https://doi.org/10.1177/146642407209200337>.
- Global Id Concept. (2012). *Reconstitution de la courbe de charge de la demande d'électricité par usage - Rapport d'avancement n°4*.
- Govern, A. &. (1994). A new and simpler approximation for ANOVA under variance heterogeneity. *Journal of educational Statistics*, 91-101.
- H3C-CARAIBES. (2013). *Analyse énergétique du parc immobilier, des flux de construction et de réhabilitation en Martinique*.
- Imageen. (2020). *REX Mayernergie*. Ademe.
- INSEE. (2006). *Enquête logement*.
- INSEE. (2019). *Tableaux de l'économie française*.
- ISO 7730. (Third Edition 2005 (E)). *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO7730. (1993). *Moderate Thermal Environments Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort*. Geneva, Switzerland: International Standardization Organization.
- Lauzet, N. (2019). *Prise en compte cumulée du CHANGEMENT CLIMATIQUE et des SURCHAUFFES URBAINES en phase amont de CONCEPTION FRUGALE DES BÂTIMENTS centrée sur le CONFORT DES OCCUPANTS. Des propositions méthodologiques*. Nantes, France: Université Bretagne Sud.
- Louis Harris LH2dom. (2010). *Diagnostic de la consommation électrique des foyers guyanais*.
- McNall, P., Jaax, J., Rohles, F., Nevins, R., & Springer, W. (1967). Thermal comfort (thermally neutral) conditions for three levels of activity. *ASHRAE Trans.*, 73(1).

Livrable 3.4 Analyse du panel « Suivi au compteur »

Version : V2

DEE

- Meng, Q., & Mourshed, M. (2017). Degree-day based non-domestic building energy analytics and modelling should use building and type specific base temperatures. *Energy and Buildings*, 260-268.
- Nevins, R., Rohles, F., Springer, W., & Feyerherm, A. (1966). Temperature-humidity chart for thermal comfort of seated persons. *ASHRAE trans*, 72, 283-291.
- OER. (2010). *Consommations énergétiques des ménages réunionnais*.
- OREC. (2017). *Analyse énergétique du parc immobilier résidentiel*.
- Page "Programme" site internet ECCO DOM. (2021). Récupéré sur Site internet ECCO DOM: <https://ecco-dom.fr/>
- Rivallain, M., Agapoff, S., Boisson, P., Fouquier, A., & Lee, Y. (2019). Clustering As A Simplification Tool For The Decision-Making Process On Building Stock Renovation. *Proceedings of the 16th IBPSA Conference*, (pp. 3618-3627). Rome, Italy.
- WATT SMART ENERTECH EQUINOXE. (2023). *Réalisation d'une campagne de mesures instrumentée sur les bâtiments résidentiels aux Antilles françaises - Rapport final de la campagne de mesures en Martinique*.
- Wikipédia. (2022, juin 5). *Révolte de 2021-2022 dans les Antilles françaises*. Récupéré sur Wikipédia: https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%Agvolte_de_2021-2022_dans_les_Antilles_fran%C3%A7aises