Maîtrise de la Demande Electrique Campagne de Mesures par usage dans le secteur domestique

Commission des Communautés Européennes

Programme SAVE
Contrat N° 4.1031/93.58

Rapport final

Conseil Général de Saône & Loire	**Communauté Urbaine de Creusot-Montceau**	**Ademe**	**EdF-GdF Services Bourgogne du Sud**
Conseil Régional de Bourgogne	**Communauté Européenne DG Energie Programme Save**	**Landis & Gyr**	**EdF Direction des Etudes et de la Recherche**

Etude et rapport final
Cabinet Conseil Olivier SIDLER - 26160 Félines s/Rimandoule - Tél et Fax : (33)75.90.18.54

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION **5**

PREMIERE PARTIE : PRESENTATION GENERALE ***6***

1 - LE CONTEXTE GENERAL **6**

2- DESCRIPTION DU PROJET **10**
2.1 Origine et mise en oeuvre du projet 10
2.1.1 L'origine du projet 10
2.1.2 Les partenaires du projet 10
2.1.3 Motivations des collectivités locales 11
2.2 Les objectifs 11
2.2.1 Avertissement 11
2.2.2 Les principaux objectifs 12
2.3 Etudes antérieures de référence 12
2.4 Le système de mesures DIACE 13
2.5 Critère de sélection des familles et des logements 14
2.6 Organisation de la campagne de mesures 14
2.7 Le traitement informatique des données collectées 15
2.8 Opinion et comportement des utilisateurs 16

DEUXIEME PARTIE : LES RESULTATS ***17***

3 - GENERALITES **17**

4 - LA PRODUCTION DE FROID **22**
4.1 Les réfrigérateurs 22
4.1.1 Caractéristiques de l'échantillon 22
4.1.2 Nature des besoins électriques 24
4.1.3 Histogramme des consommations 24
4.1.4 Courbe de charge horaire moyenne 25
4.1.5 Variation de la consommation en fonction des saisons 26
4.1.6 Consommation réelle/Consommation normalisée 28
4.1.7 Evolution de la consommation en fonction de l'âge des appareils 30
4.1.8 Influence du volume sur la consommation des appareils 32
4.1.9 Influence du givrage sur la consommation des appareils 34
4.1.10 Consommation de veille des réfrigérateurs 34
4.2 Les réfrigérateurs-congélateurs 35
4.2.1 Caractéristiques de l'échantillon 35
4.2.2 Nature des besoins électriques 35
4.2.3 Histogramme des consommations 36
4.2.4 Courbe de charge horaire moyenne 37

4.2.5 Variation de la consommation en fonction des saisons 38
4.2.6 Consommation réelle/Consommation normalisée 39
4.2.7 Evolution de la consommation en fonction de l'âge des appareils 41
4.2.8 Consommation mesurée en fonction du volume ajusté 43
4.2.9 Consommation de veille des réfrigérateurs-congélateurs 44

4.3 Les congélateurs 48
4.3.1 Caractéristiques de l'échantillon 48
4.3.2 Nature des besoins électriques 48
4.3.3 Histogramme des consommations 49
4.3.4 Courbe de charge horaire moyenne 50
4.3.5 Variation de la consommation en fonction des saisons 51
4.3.6 Consommation réelle/Consommation normalisée 53
4.3.7 Evolution de la consommation en fonction de l'âge des appareils 55
4.3.8 Consommation de veille des congélateurs 57
4.4 Les réfrigérateurs américains 59
4.5 Les appareils de froid ventilé (no frost) 60

5 - LINGE, VAISSELLE ET NETTOYAGE MENAGER 61
5.1 Les lave-linge 61
5.1.1 Caractéristiques de l'échantillon 61
5.1.2 Nature des besoins électriques 62
5.1.3 Consommation d'énergie 65
5.1.4 Courbe de charge horaire moyenne 67
5.1.5 Etude des cycles 67
5.1.5.1 Distribution des cycles en fonction de leur consommation 68
5.1.5.2 Caractéristiques de chaque type de cycle 68
5.1.5.3 Fréquences d'utilisation mesurées et estimées 71
5.1.6 Evolution de la consommation en fonction de l'âge 73
5.2 Les lave-vaisselle 76
5.2.1 Caractéristiques de l'échantillon 76
5.2.2 Nature des besoins électriques 76
5.2.3 Consommation d'énergie 78
5.2.4 Courbe de charge horaire moyenne 83
5.2.5 Etude des cycles 84
5.2.5.1 Distribution des cycles(chauds) en fonction de leur conso. 84
5.2.5.2 Caractéristiques générales des cycles 86
5.2.5.3 Fréquences d'utilisation mesurées et estimées 87
5.2.6 Evolution de la consommation en fonction de l'âge 88
5.3 Les sèche-linge 90
5.3.1 Caractéristiques de l'échantillon 90
5.3.2 Nature des besoins 90
5.3.3 Consommation d'énergie 92
5.3.4 Courbe de charge horaire moyenne 95
5.3.5 Variation de la consommation en fonction des saisons 96
5.3.6 Etude des cycles 90
5.3.7 Fréquence d'utilisation mesurée et estimée par les usagers 98
5.4 Les fers à repasser 100
5.4.1 Nature des besoins électriques 100
5.4.2 Consommation d'énergie 101

5.4.3 Courbe de charge horaire moyenne 104
5.4.4 Variation de la consommation en fonction des saisons 105
5.4.5 Etude des cycles de repassage 106
5.4.6 Fréquences d'utilisation mesurée et estimée par les usagers 107

5.5 Les aspirateurs 108
5.6 Les nettoyeurs à vapeur ménager 110
5.7 Les lavantes-séchantes 110

6 - AUDIOVISUEL ET LOISIRS 111
6.1 Les téléviseurs 111
6.1.1 Caractéristiques de l'échantillon 111
6.1.2 Nature des besoins électriques 112
6.1.3 Consommation d'énergie et durée d'utilisation 113
6.1.4 Courbe de charge horaire moyenne 116
6.1.5 Influence des saisons sur la consommation des téléviseurs 117
6.1.6 Etude de la veille des téléviseurs 120
6.2 Les magnétoscopes 124
6.2.1 Caractéristiques de l'échantillon 124
6.2.2 Consommation d'énergie 124
6.2.3 Courbe de charge horaire moyenne 125
6.2.4 Influence des saisons sur la consommation des magnétoscopes 126
6.2.5 Appareils présentant des analogies avec les magnétoscopes 127
6.3 Les chaînes haute fidélité 128
6.3.1 Caractéristiques de l'échantillon 128
6.3.2 Consommation d'énergie - Veille des chaînes HiFi 128
6.3.3 Courbe de charge horaire moyenne 130
6.4 Les aquariums 131

7 - L'ECLAIRAGE 133
7.1 Généralités 133
7.2 L'éclairage halogène 134

8 - ELECTROMENAGER DE CUISINE ET DIVERS 136
8.1 Les fours à micro-ondes 136
8.2 Les mini fours de cuisine 139
8.3 Les cafetières 140
8.4 Les grille pain 142
8.5 Divers 142

9 - CONSOMMATION ELECTRIQUE DES AUXILIAIRES 144
9.1 Alimentation électrique des chaudières murales 144
9.1.1 Généralités 144
9.1.2 Puissances électriques comparées 146
9.1.3 Consommations électriques journalières comparées 148
9.1.4 Courbe de charge horaire moyenne 151
9.1.5 Influence des saisons sur la consommation journalière 152
9.1.6 Consommation annuelle des chaudières murales 154
9.1.7 Quels enseignements tirer de ces analyses? 154
9.1.7.1 Gisements d'économies 154

9.1.7.2 Les nouveaux matériels 154
9.1.7.3 L'asservissement des chaudières 155
9.1.7.4 Améliorations technologiques 155
9.2 Alimentation électrique des chaudières au fioul 156
9.2.1 Généralités 156
9.2.2 Puissances électriques appelées 158
9.2.3 Consommations électriques journalières comparées 159
9.2.4 Consommations électriques annuelles des chaudières fioul 165
9.3 Alimentation électrique des chaudières gaz au sol 166
9.4 Discussion sur l'alimentation électrique des chaudières 167
9.4.1 L'asservissement du circulateur au brûleur 167
9.4.2 Le choix du débit du circulateur 169
9.4.3 Les améliorations technologiques 169
9.5 La ventilation mécanique contrôlée 169

TROISIEME PARTIE : LES ENSEIGNEMENTS ***171***

10 - LES ENSEIGNEMENTS DE LA CAMPAGNE CIEL **171**
10.1 Le diagnostic individuel remis aux usagers 171
10.2 Bilan de la campagne CIEL 172

ANNEXES **174**

INTRODUCTION

L'intérêt de la France pour la Maîtrise de la Demande d'Electricité (MDE) est relativement récent. Son essor est marqué par les accords, en 1993, entre l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et Electricité de France (EDF). Des accords particuliers ont alors été signés avec cinq départements français devenus départements pilotes dans lesquels des actions thématiques de MDE ont été entreprises.

C'est dans ce contexte que, sous l'impulsion de l'ADEME, un projet est déposé par les signataires de cette convention auprès de la Communauté Européenne dans le cadre du programme SAVE. Ce projet, retenu par la Commission, s'intitule « Campagnes de Mesures par usage dans le secteur domestique ». Cette campagne a été baptisée par la Saône et Loire « Ciel » : « Consommations Individualisées d'Electricité dans les Logements ».

PREMIERE PARTIE : PRESENTATION GENERALE

CHAPITRE 1 : LE CONTEXTE GENERAL

Si la Maîtrise de la Demande d'Electricité s'impose aujourd'hui aux producteurs d'électricité comme aux agences de l'énergie dans les pays occidentaux et plus particulièrement en Europe, l'existence même du programme SAVE le prouve, c'est parce qu'elle se fonde sur des faits généralement admis par tous :

☛ produire de l'électricité coûte très cher, tout comme la distribuer, notamment en zone rurale. Il faut donc optimiser la demande en cherchant à satisfaire les mêmes besoins avec des quantités d'énergie et des puissances appelées plus faibles. Bien qu'en France la qualité de la tarification basée sur le coût marginal du kWh soit un instrument puissant de régulation, elle ne permet pas d'accéder à tous les gisements d'économie potentiels,

☛ toutes les formes de production d'électricité occasionnent des nuisances environnementales qui préoccupent de plus en plus les instances internationales, et notamment la communauté européenne. Parmi les nuisances il y a évidemment les déchets et les rejets de toutes sortes, CO2, SO2 ou Nox sans que cette liste soit exhaustive. Minimiser leur production passe aussi par une meilleure maîtrise de la demande, tant il est vrai que l'énergie la plus propre est celle qu' à service rendu identique on évite de consommer,

☛ les ressources de la planète ne sont pas inépuisables, et rien ne justifie en soi toute forme de gaspillage, ou toute utilisation non rationnelle de ces ressources,

☛ dans les pays « en voie de développement » la facture de la production électrique est considérable et grève lourdement l'économie nationale tout en générant des problèmes de pollution sans solution, alors que les usages sont souvent assurés par des appareils d'un autre âge,

☛ en France même, la facture d'électricité des ménages est un poste qui demeure important.

Allonger cette liste n'est pas utile. Depuis quelques années tous les gouvernements qui se sont succédé à la tête de la France ont proclamé leur volonté de s'inscrire dans ce qu'il est convenu d'appeler « le développement durable », cette forme d'activité humaine basée sur l'idée d'une planète Terre considérée comme un capital et dont nous ne pouvons retirer chaque année que les intérêts d'une valorisation bien conduite.

Dans cette optique de maîtrise de la demande, des coûts et des pollutions, la MDE est un maillon essentiel auquel tout le monde devrait trouver son intérêt, du producteur d'électricité, à l'industriel, en passant par l'utilisateur et les pouvoirs publics.

Les partenaires de ce projet s'étaient donnés pour objectif la MDE dans les usages spécifiques du secteur résidentiel. Peut-être parce que ce secteur est un de ceux où, en France, la croissance a été une des plus spectaculaires depuis une vingtaine d'années, passant de 20 à 53 Twh. Il est évident que cette croissance, si elle se maintenait, poserait rapidement des problèmes difficiles aux uns et aux autres. Mais à y regarder de près ce n'est pas une fatalité.

Plusieurs explications peuvent être avancées :

■ le désir légitime des ménages d'accéder au confort et à certaines facilités qu'apporte l'électroménager.

■ la transformation de la vie familiale. Il est aujourd'hui très fréquent que les deux membres du couple travaillent et souhaitent voir les tâches de la maison effectuées plus facilement et plus vite.

■ un contexte économique longtemps favorable dans lequel le prix des appareils électroménagers a considérablement baissé et qui a longtemps facilité les achats à crédit, laissant penser à chacun que tout cet équipement était finalement très bon marché.

■ la perception que chacun a de la consommation d'électricité, celle des appareils qui, pris indépendamment les uns des autres, ne consomment « rien ou à peu près rien », l'exemple même étant le réfrigérateur.

■ la perplexité de chacun face à sa consommation d'électricité globale, celle que l'on n'appréhende que très mal, la trouvant toujours exagérée lorsqu'on reçoit la facture, mais dont on ne comprend pas très bien de quoi elle est constituée. Et c'est peut-être là le fond du problème. Il y a finalement un hiatus majeur à inciter l'usage d'appareils électroménagers, ou même simplement à les vendre, sans que l'utilisateur n'ait la moindre idée de ce que ces appareils vont consommer, et surtout lui coûter. Toutes les théories économiques s'appuient sur un principe simple, celui de la rationalité économique du consommateur dont dépendent tous ses choix. Mais cette rationalité a besoin d'éléments pour exister, le premier d'entre eux étant le prix. Il y a donc là une sorte de piège dans lequel le consommateur s'est laissé emprisonné et qui lui retire aujourd'hui toute capacité à exercer sa rationalité légendaire.

Mais qu'on ne s'y trompe pas. Si dans la majorité des foyers ce dérapage économique n'a pas de conséquences insurmontables, il est de plus en plus de familles pour lesquelles cette absence de tableau de bord est un drame endémique conduisant parfois à la coupure de la fourniture, EDF le sait bien. Dans une enquête faite récemment dans le parc HLM de la Drôme, nous avons découvert que la facture énergétique des occupants de logements très récents (donc économes) représentait en moyenne un mois de leurs revenus, et que l'électroménager (hors abonnement) représentait à lui seul plus du quart de cette facture. Il y a donc urgence à rétablir des signaux clairs entre les usagers et leur consommation d'électricité.

■ enfin il y a le développement technique un peu confus du marché de l'électroménager gouverné par des lois commerciales particulières, multipliant les marques et les modèles en ne modifiant que les habillages, mais occultant complètement les performances énergétiques des produits. Ce secteur a pu se développer au point de coûter aujourd'hui aux usagers de logements neufs aussi cher que le chauffage, sans qu'aucune règle, aucune norme, aucune loi n'ait imposé un niveau maximal de consommation, laissant les industriels faire quelques économies un peu marginales sur le prix de revient au détriment des coûts d'exploitation. Nous avons rencontré des appareils de production de froid dont la consommation annuelle

correspondait à la moitié ou au tiers du prix d'achat...A la base de cette « stratégie commerciale » une idée un peu simple selon laquelle de toute façon les acheteurs ne s'intéressent pas aux consommations mais seulement au prix d'achat. Mais l'intérêt ne peut venir qu'après une phase de sensibilisation qui n'a jamais eu lieu. Et à en juger par l'intérêt des utilisateurs assez nombreux que nous avons côtoyés, il apparaît surtout un déficit d'information considérable sur ce que consomment les produits et sur l'existence de matériels beaucoup plus performants.

Voilà pour les principaux facteurs qui permettent de comprendre cette croissance extrêmement rapide des usages spécifiques de l'électricité dans le secteur résidentiel. Pour inverser le cours des événements il faut agir simultanément dans plusieurs domaines. Mais à la base de tout il y a d'abord **l'impérative nécessité de faire des campagnes de mesures**. Il est étonnant de constater aujourd'hui qu'on sait finalement très peu de choses sur ce que consomment les appareils, sur l'usage qui en est fait, sur la fréquence des différents cycles de machines etc. Pour l'heure, industriels, distributeurs d'électricité, pouvoirs publics, agences de l'énergie utilisent des estimations, des évaluations dont on ne connaît pas très bien l'origine.

Pour illustrer cette affirmation qui peut paraître gratuite, on peut prendre le cas des lave-linge et des lave-vaisselle. Des travaux de recherche visant à améliorer les estimations des consommations domestiques s'appuyaient encore récemment sur une consommation mensuelle des lave-linge, pour un logement de quatre pièces, de 108,5 kWh, soit 1.302 kWh/an. On verra plus loin dans le présent rapport que la consommation moyenne annuelle mesurée est de 235 kWh. Soit un écart de 1 à 5,5...Pour le lave-vaisselle l'écart n'est que de 1 à 4. Un grand organisme français réputé pour le sérieux de ses statistiques énergétiques fait quant à lui état de consommations pour le lave-linge et le lave-vaisselle dépassant de plus de deux fois les valeurs mesurées dans les différentes campagnes de mesures. Dans le même temps, un des principaux industriels sur le marché avoue être intéressé par la consommation moyenne d'un cycle de lave-linge, tous cycles confondus, car personne n'en a une idée précise et les évaluations faites par les uns et les autres le sont dans un rapport de 1 à 2,5.

Ces anecdotes pour mettre en évidence à quel point il est nécessaire d'explorer ce domaine par des campagnes de mesures. On dépense plus d'argent à faire des estimations et des calculs faux que chacun refaits avec ses propres valeurs qu'à unir ses efforts pour mener à bien des investigations minutieuses. Et compte tenu de l'imprécision ahurissante qui semble exister dans le domaine des évaluations, on peut presque dire que les mesures faites, où qu'elles soient faites, seront toujours plus représentatives que les valeurs utilisées aujourd'hui!

L'intérêt des campagnes de mesures est multiple. Il est à la base de toute politique de MDE. Les informations recueillies sont précieuses à plusieurs titres :

☛ elles vont permettre de connaître et de comprendre. Grâce à elles on saura le niveau de consommation de chaque type d'appareils, les niveaux exacts de puissances appelées, les appareils qui posent prioritairement problème, les modes d'utilisation, etc. De cette connaissance pourront naître des stratégies d'action claires et fondées.

☛ elles intéressent les producteurs et distributeurs d'électricité qui pourront enfin disposer de chiffres précis pour prévoir les courbes de charges. Mais toute stratégie MDE pourra aussi être évaluée avec précision, ce qui aura aussi pour effet de dimensionner avec plus de rigueur le parc de production, chose qui n'a pas toujours été possible dans le passé, et le réseau de distribution, surtout celui des utilisateurs en zone rurale.

☛ elles intéressent les industriels. Certains d'entre eux sont déjà sensibilisés et se mobilisent. Ils veulent savoir comment fonctionnent *in situ* les appareils actuels, quelle est leur consommation, avec quelle fréquence ils sont sollicités. Ils veulent savoir quels sont les cycles les plus utilisés, combien ils consomment. Ils veulent aussi savoir comment vieillissent les appareils, si la consommation dérive ou non avec l'âge. Ils sont volontiers intéressés par les dysfonctionnements qui pourraient apparaître, notamment à travers l'usage qui est fait des appareils. Ces renseignements sont nécessaires pour les matériels en place, mais aussi pour les appareils performants qui commencent à exister et pour lesquels les industriels ont peut-être encore plus besoin d'informations. Leur stratégie future en dépend.

☛ elles intéressent les pouvoirs publics qui peuvent chercher à orienter ce secteur dans l'intérêt de la collectivité par exemple. Les campagnes de mesures permettront de cerner les enjeux, de fixer des priorités, de définir des stratégies. Ces stratégies peuvent avoir de multiples facettes allant de l'information du public à la normalisation des consommations comme cela existe déjà dans de nombreux secteurs de l'activité industrielle (rappelons pour mémoire les réglementations thermiques de 1974, 1982 et 1988 qui ont réduit au total d'environ 60 % le niveau de consommation de chauffage maximum dans les logements neufs).

☛ elles intéressent les organismes chargés d'élaborer des scénarii exploratoires sur les niveaux de consommations futures. Un scénario ne vaut en grande partie que par la qualité des informations qui lui ont été fournies. Sa crédibilité en dépend directement.

☛ elles intéressent les organismes de normalisation afin qu'ils intègrent dans les procédures des conditions d'expérimentation se rapprochant de la réalité, de manière à ce que les consommations normalisées soient le reflet plus exact des consommations réelles.

☛ enfin, elles sont le fondement même de l'information que l'on doit aux utilisateurs. Cela a été évoqué précédemment : il faut désormais rétablir des signaux clairs entre les usagers et leur consommation d'électricité. Ceci suppose bien sûr l'affichage des consommations normalisées en kWh, mais aussi en francs par an. Il faudra également des campagnes de sensibilisation plus larges de manière à ce que le public acquiert une sorte de « culture énergétique » qui deviendrait le moteur raisonné de ses choix, un peu à la manière anglo-saxonne. A en juger par l'expérience acquise sur le terrain, le Français est loin de se désintéresser de ces problèmes lorsqu'on lui en parle. Il avoue surtout ne même pas savoir qu'ils existaient. Carence évidente de l'information. Or cette information du public, même si elle n'est pas très simple à mettre en oeuvre, reste un maillon absolument essentiel. Car de la maîtrise des consommations individuelles dépend pour une grande part la réussite d'un programme de MDE.

La campagne Ciel est la première grande campagne de mesures en France sur les usages domestiques. Elle a le mérite d'avoir attiré sur ce thème l'intérêt de partenaires complémentaires. Il faut espérer que ces premiers résultats, avec toutes les imperfections qu'ils comportent, donneront envie aux acteurs concernés d'aller plus loin et de poursuivre l'effort initié en Saône et Loire.

CHAPITRE 2 : DESCRIPTION DU PROJET

2 - 1 ORIGINE ET MISE EN OEUVRE DU PROJET

2-1-1 L'origine du projet

Le 9 février 1993, le Conseil Général de Saône et Loire et la Communauté Urbaine du Creusot-Montceau-les-Mines (CUCM) ont signé avec la Délégation Régionale de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et la Délégation Régionale d'EDF Bourgogne, la première convention cadre au niveau national de Maîtrise de la Demande d'Electricité (MDE). Cette convention cadre esr issue des accords nationaux ADEME/EDF sur la MDE.

Avec cette opération, le Conseil Général de Saône et Loire, la CUCM ont été les premières collectivités françaises à mettre en oeuvre des actions débouchant sur des actions spécifiques de connaissance des consommations d'électricité à usage domestique, appelée CIEL (Consommation Individualisée d'Electricité dans les Logements).

2-1-2 Les partenaires du projet

L'initiative du projet Ciel revient à l'ADEME dont le « Département Bâtiments et Collectivités Locales » s'intéresse de longue date aux consommations d'énergie et plus particulièrement à celles de l'électricité par type d'usage. La Délégation régionale de l'ADEME a intégré ce projet dans le cadre plus large d'une opération de MDE pour l'ensemble du département de Saône et Loire, incluant par ailleurs des diagnostics éclairages et autres usages spécifiques de l'électricité dans l'habitat et le tertiaire en collaboration avec le Conseil général de Saône et Loire (opération Collèges) et d'EDF GDF Services Bourgogne du Sud.

Le Département de **Saône et Loire est un des cinq départements pilotes en France pour la MDE**.

La Direction des Etudes et Recherches d'EDF comporte un département « Analyse et prévision de la charge » qui a été le partenaire de cette opération. Ce département était principalement intéressé par les problèmes que posait la puissance appelée des appareils électroménagers et la transmission de données par courants porteurs.

Une aide logistique a part ailleurs été apportée au projet par EDF GDF Services Bourgogne du Sud. La CUCM et la société Landis et Gyr ont apporté leur contribution lors de la mise en place du système de mesures DIACE.

Une mission technique a été confié par les partenaires financiers :

☛ d'une part à **Socotec**, associée à des électriciens locaux, pour la mise en place des appareils et l'information des consommateurs enquêtés,

☛ d'autre part au **Cabinet Conseil Olivier SIDLER** pour le suivi et la coordination technique, la mise au point du système de mesures, l'acquisition, le traitement et l'analyse des données, ainsi que l'étude de synthèse et la rédaction du rapport final.

L'opération Ciel a été financée grâce aux partenaires suivants:

- le Conseil Général de Saône et Loire, Maître d'Ouvrage de l'opération,
- la Communauté Urbaine du Creusot-Montceau-les-Mines (CUCM)
- le Conseil Régional de Bourgogne
- l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)
- l'EDF (Electricité de France)
- la Communauté Européenne par le biais du programme SAVE.

L'ensemble de ces partenaires étaient réunis au sein d'un Comité de pilotage.

2-1-3 Motivations des collectivités locales

Les collectivités locales partenaires de cette opération sont le Conseil Régional de Bourgogne, le Conseil Général de Saône et Loire et la Communauté Urbaine du Creusot-Montceau-les-Mines.

Sensibilisées par la nécessité d'engager une démarche de réduction de la facture d'électricité associée à l'amélioration des performances énergétiques des appareils électroménagers, elles ont perçu l'importance et l'intérêt que présentait cette opération pour les usagers. Cette démarche permettra de mieux comprendre, mieux choisir, mieux gérer les utilisations de ces appareils et donc de mieux maîtriser les consommations d'électricité.

2 - 2 LES OBJECTIFS

2-2-1 Avertissement

Les deux principaux partenaires techniques de cette expérimentation, l'ADEME et EDF, ont décidé que leur objectif commun était de constituer une base de données en regroupant leurs moyens matériels, financiers et humains. Mais ils ont aussi décidé par voie de conséquences qu'ils feraient un traitement indépendant de cette base de données.

EDF s'est intéressée plus particulièrement à la pertinence du système de mesures et à l'application qui pouvait en être faite dans la prévision de la courbe de charges. Ces études et ces analyses ne font pas partie du projet Ciel et n'ont donc pas pu être inclus dans le rapport final.

L'ADEME quant à elle s'est plutôt préoccupée de la consommation et de l'usage des appareils, ainsi que des comportements associés.

Le présent document est la synthèse des travaux qu'elle a menés.

2-2-2 Les principaux objectifs

A l'origine il était envisagé de constituer une base de données dans laquelle seraient regroupées les mesures effectuées dans une centaine de logements sur les principaux appareils électroménagers. Il s'agissait essentiellement des réfrigérateurs (et autres appareils de production de froid), des lave-linge, lave-vaisselle, télévisions, etc.

En cours d'expérimentation l'idée est venue d'étendre ces mesures à des appareils qui ne sont pas directement des appareils électroménagers mais qui sont néanmoins consommateurs d'électricité dans les logements : il s'agit de tous les « auxiliaires », à savoir par exemple les alimentations électriques de chaudières à combustible, de ventilation mécanique, etc.

Les mesures effectuées permettaient de connaître toutes les dix minutes l'énergie, la puissance appelée, et la tension aux bornes de l'appareil étudié.

Afin de mieux comprendre et mieux expliquer les consommations constatées, un questionnaire accompagnait la pose des appareils dans chaque foyer. Ce questionnaire permettait de savoir par exemple la marque, le type et l'âge des appareils, leur emplacement dans le logement et la manière dont ils étaient utilisés.

L'objectif scientifique de la présente étude est de fournir toutes les données de consommations, de profils de puissances, de fréquences d'utilisations, d'études des cycles, etc. qui pourront être dégagées à partir de l'interrogation de la base de données relationnelle qui a été créée. Ces évaluations n'auront évidemment pas de valeur représentative nationale, mais comme il a été dit dans le chapitre précédent, ce n'est pas son objectif. Cette étude se veut une exploration dans un secteur parfaitement méconnu. L'ordre de grandeur des informations n'est pas actuellement le % mais....un rapport 1 à 3 ou 1 à 5. L'objectif est de diviser par 10 ou 20 cette imprécision, ce qui n'en fera assurément pas une évaluation à caractère national, mais une bonne approximation déjà source de satisfaction.

2 - 3 ETUDES ANTERIEURES DE REFERENCE

Le domaine des campagnes de mesures in situ a fait peu l'objet d'investigations jusqu'à présent. L'inventaire non exhaustif qui a pu être dressé des travaux antérieurs met en évidence la forte présence des pays nordiques, notamment la Suède et le Danemark.

Il faut souligner que si ce type d'études est peu répandu, c'est avant tout en raison de la lourdeur et de la complexité des systèmes de mesures, et nous devons en cela beaucoup au système DIACE de la société Landis et Gyr (voir § 2.4) qui s'est avéré un précieux atout.

Nous avons recensé trois séries d'études importantes abordant des thèmes connexes au nôtre. Il faut signaler que d'autres campagnes sont en cours de réalisation, notamment en Grande Bretagne, mais que les résultats ne sont pas encore connus.

Les trois groupes d'études les plus achevés pour le secteur résidentiel sont les suivants:

- Etude du ***CCE*** (Centro para a conservação de energia) au **Portugal**. Elle a porté sur l'analyse des consommations des appareils électroménagers de 25 logements pendant une durée de deux fois quinze jours chacun. Le système de mesures utilisé, le C-WATT, a permis de connaître l'énergie absorbée toutes les cinq minutes .

- Plusieurs campagnes de mesures ont déjà été effectuées au **Danemark** qui semble le pays le plus en avance. Elles ont été la plupart du temps conduites par l'Université Technique du Danemark à Lyngby. Les premières remontent à 1987 et 1989. Elles portaient sur un seul logement. Puis, en 1992 a été menée une campagne détaillée sur 20 logements. Le financement était assuré par cinq compagnies distributrices d'électricité et le ministère danois de l'énergie. Le but essentiel de cette campagne était de mesurer l'économie d'énergie qui pouvait être apportée par l'utilisation d'appareils très performants, par comparaison avec les appareils ordinaires en place initialement dans les logements.

- En **Suède** aussi les mesures in situ ont déjà plusieurs années. Mais l'étude majeure a été faite en 1991-1992 par ***Nutek***. Au total 66 maisons ont été instrumentées pendant plusieurs mois. Seuls les plus gros appareils ont été suivis (lave-linge, lave-vaisselle, sèche-linge, production de froid, cuisson). Les objectifs de cette étude étaient nombreux. Nous ne nous sommes intéressés qu'à ceux qui étaient communs à la campagne Ciel. Pour cela nous nous sommes appuyés sur le rapport final « Domestic electicity in detached houses » publié en 1995 par Nutek. Cette étude étant la plus approfondie que nous ayons trouvée, nous nous y sommes référés en permanence et avons systématiquement cherché à comparer les résultats obtenus et à comprendre les différences qui pouvaient exister.

2 - 4 LE SYSTEME DE MESURES DIACE

Développé par la société Landis et Gyr à partir d'une idée de l'ADEME, le système de mesures DIACE permet à la fois des mesures d'énergie par utilisation de l'effet Hall, et un transfert des données depuis les points de mesures jusqu'à un appareil collecteur grâce à l'usage des courants porteurs. Ce collecteur possède également une fonction modem lui permettant chaque nuit de vider sa mémoire vers une station de saisie et un ordinateur regroupant les données des différents sites expérimentaux.

Ce dispositif est intéressant pour au moins trois raisons :

- la pose des appareils de mesures dans les logements est simple, discrète, et ne nécessite aucun fil de liaison qui aurait pu gêner les occupants,
- la collecte des données est entièrement automatique depuis les prises de mesures jusqu'à l'ordinateur. Un contrôle quotidien reste nécessaire pour être certain que tout s'est déroulé normalement.
- il effectue non seulement la mesure de la consommation d'énergie et de la tension, mais aussi celle de la puissance appelée.

Les caractéristiques des différents composants sont les suivantes :

- ***boîtiers de mesure*** : leurs dimensions sont 12 x 5,5 x 6,5 (cm). Ils sont placés dans les logements entre l'alimentation du secteur et l'appareil que l'on désire suivre. Ces boîtiers assurent trois types de mesures :

  * la tension - Elle est exprimée avec une précision de +/- 1 volt

  * l'énergie - Elle est mesurée avec une précision de l'ordre de 2%. Mais l'appareil est limité car sa sensibilité est très douteuse pour les courants d'intensité inférieure à

50 mA correspondant environ à 10 W. On doit considérer qu'en dessous de ce niveau de puissance le compteur d'énergie n'est pas incrémenté.

* la puissance - Elle est déterminée par la mesure sur dix secondes de la consommation d'énergie exprimée en watt. Cette valeur est mémorisée et remise à jour toutes les dix secondes. Le résultat est très imprécis autour de 10 W. Cette valeur doit être considérée comme une limite « floue » autour de laquelle l'erreur peut être très importante. Au-delà, la précision est de +/- 5%.

- le ***concentrateur*** : ses dimensions sont 25 x 19 x 5 (cm). Egalement placé dans le logement, à proximité du téléphone. Sa fonction est double. Toutes les dix minutes il interroge par courants porteurs chacune des prises compteuses placées sous son contrôle. Il regroupe ainsi toutes les données qu'il envoie ensuite pendant la nuit vers la station de saisie.

- la ***station de saisie et l'ordinateur***. Placés à l'autre extrémité de la chaîne de mesures, ils permettent l'acquisition et le traitement quotidien des données.

2 - 5 CRITERE DE SELECTION DES FAMILLES ET DES LOGEMENTS

La sélection des familles l'a été sur un seul critère : leur taille (nombre de personnes). Il a été fait en sorte que l'échantillon expérimental ait sensiblement la même structure que le département de la Saône et Loire.

Sur l'ensemble des logements suivis la répartition est la suivante :

- 1 ou 2 personnes : 28 %
- 3 ou 4 personnes : 47 %
- ≥ 5 personnes : 25 %

Par ailleurs, une répartition entre secteur rural (1/3) et secteur urbain (2/3) avait été fixée mais n'a pu être réalisée puisque la répartition finale est :

- zone rurale : 43 %
- zone urbaine : 57 %

Enfin, le besoin de connaître avec précision la consommation globale d'électricité spécifique (mesurée au compteur EDF) a amené à exclure tous les logements disposant d'un chauffe eau ou d'un chauffage électriques.

2 - 6 ORGANISATION DE LA CAMPAGNE DE MESURES

L'expérience a été conduite en utilisant simultanément dix systèmes de mesures complets comprenant chacun un concentrateur et dix prises compteuses.

Ces dispositifs étaient mis en place par des électriciens locaux, différents pour chaque site expérimental, coordonnés et formés par le bureau de contrôle Socotec. A la lumière de l'expérience cette solution n'est pas à conseiller car l'apprentissage des règles de mises en oeuvre et de programmation des systèmes de mesures étaient à refaire à chaque campagne,

avec son cortège d'erreurs et de problèmes et malgré la bonne volonté de la majorité des opérateurs.

En principe dans chaque logement six appareils devaient obligatoirement être suivis s'ils existaient : le réfrigérateur (ou le réfrigérateur- congélateur), le congélateur, le lave-linge, le lave-vaisselle, la télévision, le magnétoscope. Comme dix prises étaient disponibles, il était convenu que 2 à 4 appareils supplémentaires seraient instrumentés, au choix de l'installateur.

Un système de codage programmé au moment de la pose des boîtiers de mesures permettait de distinguer les appareils lors du traitement des données. A noter qu'une distinction a été établie entre l'appareil principal et l'appareil secondaire lorsque celui-ci existait (par exemple deux téléviseurs dans un logement).

La durée des mesures était d'un mois. Les grandeurs relevées étaient la tension, l'énergie et la puissance. Le pas de temps des mesures était de dix minutes. Au début et à la fin de l'instrumentation le compteur électrique du logement était relevé.

Un questionnaire assez détaillé a été rempli pour chaque famille. Il comportait 86 questions principales.

Les données une fois saisies étaient analysées individuellement pour chaque logement. Ce travail n'obligeait heureusement pas le passage par la base de données, sa création ayant nécessité plusieurs mois de travail. Les usagers qui ont participé à cette expérimentation ont tous reçu en retour un diagnostic personnalisé (voir §10.1 et annexes) leur fournissant des informations sur les consommations observées, ainsi que des conseils pour réduire ces consommations.

2 - 7 LE TRAITEMENT INFORMATIQUE DES DONNEES COLLECTEES

Le traitement des données a posé des difficultés importantes liées à la masse d'informations collectées. Ce ne sont pas moins de **dix millions de mesures** qui ont été faites. Pour que ces mesures puissent être manipulées facilement il fallait construire une vraie base de données relationnelle, seul outil capable de gérer dans des temps acceptables les nombreuses requêtes nécessaires aux analyses. Il a fallu pour cela commencer par créer un outil informatique, GEDCADE, dont le rôle était de permettre le remplissage de la base de données à partir des millions d'enregistrements dont on disposait, tout en respectant l'architecture de cette base. Ceci a mobilisé un ingénieur informaticien pendant près de cinq mois. Après quoi seulement on a pu instruire la base de données, ce qui a encore pris plusieurs semaines, compte tenu des nombreux contrôles qu'il a fallu effectuer.

La base complètement renseignée a un volume de 160 mégaoctets, et lorsqu'on adjoint les requêtes et les documents d'analyse, le volume total est de 245 mégaoctets.

Par précautions on a construit deux tables différentes dans la base, l'une très lourde avec tous les enregistrements à dix minutes, et l'autre avec seulement les totaux horaires de l'énergie. L'intérêt était de gagner du temps lors du traitement. En effet la plupart des analyses de consommation ne nécessitent pas les mesures à dix minutes et peuvent parfaitement être réalisées avec le pas de temps de l'heure. En revanche toutes les analyses de cycles ou de puissance nécessitent le pas de temps à dix minutes. A titre d'exemple une interrogation avec

requête multiple sur l'ensemble des enregistrements prenait en moyenne cinquante minutes, l'ordinateur étant un Pentium 100 avec 32 Mo de mémoire et deux disques durs (0,6 et 1,2 Go), alors que sur le pas de l'heure le travail était fait en huit minutes.

Il faut signaler une particularité du traitement des données qui pourra expliquer certaines anomalies apparentes dans les résultats qui vont suivre. Lors de la collecte des mesures entre le concentrateur et les prises compteuses il arrive parfois que l'information ne puisse pas parvenir au concentrateur, généralement parce que la prise ne peut répondre à la suite de perturbations électriques qui gênent le fonctionnement par courants porteurs. Le fichier comporte alors des codes d'erreur qu'il faut évidemment éliminer de la base de données. Comme on dispose néanmoins du cumul des consommations puisque la prise, même si elle n'a pas transmis ses données, a continué de compter, on reconstitue tous les enregistrements manquants par une valeur égale au cumul divisé par le nombre d'enregistrements manquants.

Cette disposition permet de faire des bilans de consommation complets et sans difficulté puisque le total n'est pas affecté par cette reconstitution des enregistrements. En revanche, il n'est pas possible de faire des analyses horaires par exemple, ou l'étude de cycles, avec ces valeurs reconstituées. C'est la raison pour laquelle elles sont repérées dans la base de données ce qui permet de ne pas les prendre en compte lors de certaines analyses.

Ceci explique notamment pourquoi dans les graphiques qui vont suivre, il arrive, pour un appareil donné, que le nombre de jours moyen de suivi indiqué ne soit pas le même sur l'histogramme des consommations et sur la courbe des consommations horaires moyennes.

2 - 8 OPINION ET COMPORTEMENT DES UTILISATEURS

Les familles qui se sont prêtées à l'expérimentation CIEL ont généralement été très satisfaites. Elles ont toujours collaboré aimablement et ont accueilli positivement les électriciens qui sont venus installer le système de mesures DIACE. Demandeurs de renseignements autour de leur propre consommation, elles ont posé de nombreuses questions concernant notamment l'adaptation de la tarification électrique à leurs besoins, l'utilisation des veilles, la consommation d'autres appareils non instrumentés.

En recevant leur bilan de consommation personnalisé, certains foyers sensibilisés par cette campagne ont tenu à apporter des modifications à leurs habitudes afin de réduire leur niveau de consommation. Certains ont même remplacé leur réfrigérateur ou leur congélateur par un appareil plus performant.

Enfin, ils ont souvent évoqué la possibilité d'instrumenter des voisins ou des amis.

Toutes ces observations attestent à l'évidence de l'intérêt des usagers pour leur consommation d'électricité, contrairement à ce que l'on entend dire fréquemment. Mais pour que l'usager s'interroge et agisse, il faut lui fournir des éléments à la fois techniques et économiques, comme le prouve cette expérience.

DEUXIEME PARTIE : LES RESULTATS

CHAPITRE 3 : GENERALITES

Les résultats qui suivent s'appuient sur l'observation de 94 logements instrumentés pendant une période d'environ un mois chacun. Le nombre total de logements suivis a été en réalité de 95, mais l'un d'entre eux n'a pu être retenu car la pose des appareils de mesure n'y a pas été effectuée de façon correcte. Cela a représenté au total 11 campagnes de mesures qui se sont étendues sur une année complète, de décembre 1994 à décembre 1995. Ceci constitue à la fois un atout et un inconvénient : l'atout est d'avoir des mesures sur l'ensemble des saisons et de pouvoir commencer à analyser la saisonnalité des phénomènes. L'inconvénient est que les échantillons utilisés pour ces analyses saisonnières sont parfois de tailles un peu faibles.

Le nombre d'appareils domestiques qui ont pu être suivis dans chaque logement est en moyenne de 8.2 , si bien qu'au total ce sont 779 appareils qui ont été instrumentés. Malheureusement, comme dans toute campagne de mesures, il y a eu un certain nombre de cas inexploitables (environ 7 %), ce qui a ramené à 720 le nombre de cas effectivement utilisables (voir fig.3.1 page suivante).

libellé	Nombre d'appareils	Répartition
Alimentation électrique des chaudières fioul	6	0.8%
Alimentation électrique des chaudières gaz au sol	4	0.6%
Alimentation électrique des chaudières murales	9	1.3%
Aquarium	2	0.3%
Aspirateur	24	3.3%
Cafetière	39	5.4%
Chaîne HiFi n°1	30	4.2%
Chaîne HiFi n°2	1	0.1%
Chauffe-eau n°1	2	0.3%
Chauffe-eau n°2	1	0.1%
Congélateur armoire n°1	18	2.5%
Congélateur coffre n°1	21	2.9%
Fer à repasser	46	6.4%
Four à micro-ondes	58	8.1%
Four de cuisine	15	2.1%
Friteuse	2	0.3%
Grille pain	8	1.1%
Hotte aspirante en cuisine	3	0.4%
Lampe halogène n°1	15	2.1%
Lavante-séchante	1	0.1%
Lave-linge	80	11.1%
Lave-vaisselle	36	5.0%
Magnétoscope n°1	54	7.5%
Nettoyeur à vapeur ménager	2	0.3%
Réfricongél n°1	53	7.4%
Réfricongél n°2	1	0.1%
Réfrigérateur américain	2	0.3%
Réfrigérateur n°1	35	4.9%
Réfrigérateur n°2	2	0.3%
Réfrigérateur no-frost	1	0.1%
Robot/Mixer	3	0.4%
Sèche-cheveux	3	0.4%
Sèche-linge à condensation	14	1.9%
Sèche-linge à évacuation	16	2.2%
T.V. n°1	87	12.1%
T.V. n°2	24	3.3%
Traitement d'eau	2	0.3%
Total	720	appareils

Figure3.1 : nombre et répartition des appareils suivis dans la campagne CIEL.

Les causes de ces « rebuts » sont variées : erreur de codage des appareils, appareils n'ayant jamais été utilisés pendant la période de mesures, ou que leurs propriétaires eux-mêmes ont branché sur une autre prise compteuse durant l'expérimentation, etc. L'ensemble des valeurs introduites dans la base de données a été vérifié avant d'être utilisé. On a procédé à de nombreux tests de cohérence sur chaque type d'appareils afin d'éliminer les erreurs grossières dont les sources sont humaines et multiples : à titre d'exemple tous les téléviseurs appelant plus de 200 W, les lave-linge n'appelant jamais plus de 1500 W, ou encore les cafetières dont la puissance observée n'excédait pas 500 W ont été examinés tout particulièrement afin de savoir s'il s'agissait bien de l'appareil identifié ou plutôt d'une erreur de codage ou de branchement lors de la pose. On peut donc affirmer que l'outil utilisé pour l'analyse est « propre » et fiable quant à son contenu.

Le tableau de la figure 3.1 donne la liste des types et du nombre d'appareils suivis, dont le relevé de mesure est fiable. On peut être surpris que la quantité d'appareils d'un type soit parfois peu élevée comparée au taux d'équipement moyen des familles. Ceci s'explique par les difficultés fréquemment rencontrées lors de l'instrumentation et interdisant le suivi de certains matériels faute d'un accès à la prise de courant (cas des congélateurs impossibles à déplacer, des appareils en cuisines intégrées etc.).

Au total ce sont 31 types différents d'appareils électroménagers (ou 35 si l'on distingue le premier et le second appareil d'un même type dans un logement) qui ont pu être archivés dans la base de données. Cette multiplicité est une originalité de l'étude. Elle va permettre de connaître la consommation annuelle d'appareils variés et ayant très peu, voire pas fait l'objet de mesures jusqu'à présent. La figure 3.2 est un premier résultat de synthèse. Les valeurs annuelles ont été déterminées à partir de la consommation journalière moyenne de chacun des appareils suivis, valeurs elles-mêmes moyennées sur l'ensemble des appareils de chaque type. Disposer de mesures tout au long de l'année permet de penser que les consommations ainsi calculées s'affranchissent des phénomènes saisonniers et sont représentatives.

Figurent également dans ce graphique les valeurs observées dans une autre campagne de mesures du même type pour les chaudières murales et la ventilation mécanique contrôlée (VMC) des logements. Il s'agit d'une campagne que nous menons également dans le cadre du programme SAVE (contrat N° 4.1031/S/94.093) et avec le soutien de l'ADEME. En effet, le suivi de ces chaudières dans la campagne Ciel ne porte que sur un mois et ne permet pas d'appréhender le comportement de l'appareil tout au long des différents moments de la saison de chauffage, ainsi qu'en été. Il a donc semblé préférable de faire référence à des mesures qui ont concerné quatorze chaudières murales sur une période d'un an.

Quant au système de ventilation mécanique suivi, il s'agit d'une ventilation individuelle de type simple flux, non hygroréglable. Tous ces systèmes sont très semblables les uns aux autres, et la consommation mesurée ici sur un logement pendant un an est très représentative (il faut rappeler que la ventilation mécanique doit obligatoirement être permanente, donc fonctionner 24h/24). Elle correspond à un appel de puissance constant de 30 W auquel s'ajoutent les pointes de débits activées depuis une touche en cuisine, ce qui conduit sur une année à une puissance constante équivalente de 35 W.

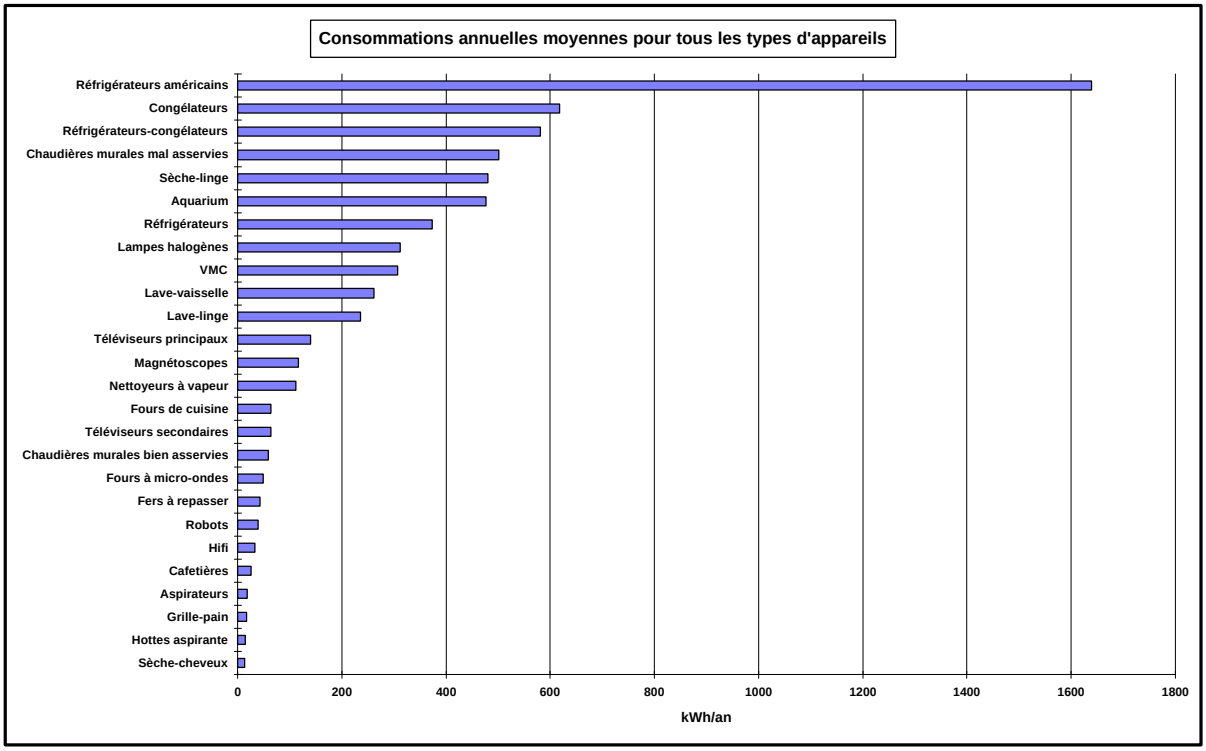


Figure 3.2 : consommation annuelle moyenne des appareils.

Le principal intérêt de la figure 3.2 est de donner immédiatement une hiérarchisation des postes de consommations domestiques et de fixer leur ordre de grandeur. Deux objections doivent être faites. En premier lieu, il manque l'éclairage qui n'a pu être suivi mais représente un poste important de consommation. Il faut ensuite rester prudent sur la consommation des réfrigérateurs américains classés en premier dans cette liste : seuls deux appareils ont été instrumentés durant les campagnes. Mais ce type d'appareil aurait de toute manière été classé premier avec un échantillon plus large.

Pour le reste on notera essentiellement :

- la part prépondérante des appareils de production de froid, avec une prédominance pour les congélateurs et les réfrigérateurs-congélateurs,
- la place prévisible des sèche-linge au rang des appareils très consommateurs, mais celle surprenante des aquariums au même niveau de consommation,
- l'apparition de l'alimentation électrique des chaudières à combustible et celle de la ventilation mécanique contrôlée parmi les appareils les plus consommateurs, puisqu'ils dépassent le niveau de consommation d'appareils comme les lave-linge ou les lave-vaisselle,
- le niveau de consommation *a priori* étonnant des magnétoscopes qui, sur les éléments de l'échantillon examiné consomment presque autant que les téléviseurs principaux de chaque logement,
- la consommation des nettoyeurs ménagers à vapeur qui est plus de six fois supérieure à celle des aspirateurs,
- la consommation très voisine des fours à micro-ondes et des mini fours de cuisine, en tout cas dans l'échantillon analysé.

Le suivi de la consommation liée à l'éclairage n'a pas pu être assuré dans le cadre de la campagne Ciel. Mais ce suivi a été effectué pendant une année complète dans l'autre campagne

de mesures citée précédemment. Tous les circuits lumineux ont été saisis directement sur les départs du tableau électrique. Ce dispositif ne permet pas de suivre l'éclairage assuré à partir des prises de courant, si bien que les valeurs mesurées sont inférieures aux valeurs réelles et constituent des valeurs *a minima*.

Sur les vingt logements suivis, la consommation annuelle moyenne de l'éclairage sur les départs du tableau électrique est de 362 kWh/an ce qui représente 11,3% de la consommation totale des logements. A titre indicatif une lampe sur prise de courant a été suivie dans un salon. Sa consommation annuelle a été de 37 kWh représentant 1,5% de la consommation du logement. **Il est donc probable que la part de la consommation moyenne de l'éclairage dans les logements est d'au moins 15%, représentant pour un logement de 75 à 80 m2 une consommation annuelle d'environ 500 kWh**.

Cette valeur, comparée à celles de la figure 3.2, place l'éclairage parmi les principaux postes de consommation électrique d'un logement.

Les chapitres qui suivent reviendront sur ces consommations en cherchant à expliquer ce qui est observé. Pour cela, l'étude s'est appuyée sur le questionnaire qui accompagnait la campagne de mesures et sur l'analyse des enregistrements au pas de temps de dix minutes.

Afin de mieux relativiser l'importance des différents appareils, le classement de la figure 3.2 a été présenté sur la figure 3.3 en prenant comme référence la consommation annuelle du lave-linge et en exprimant la consommation de chaque appareil en fonction de cette référence.

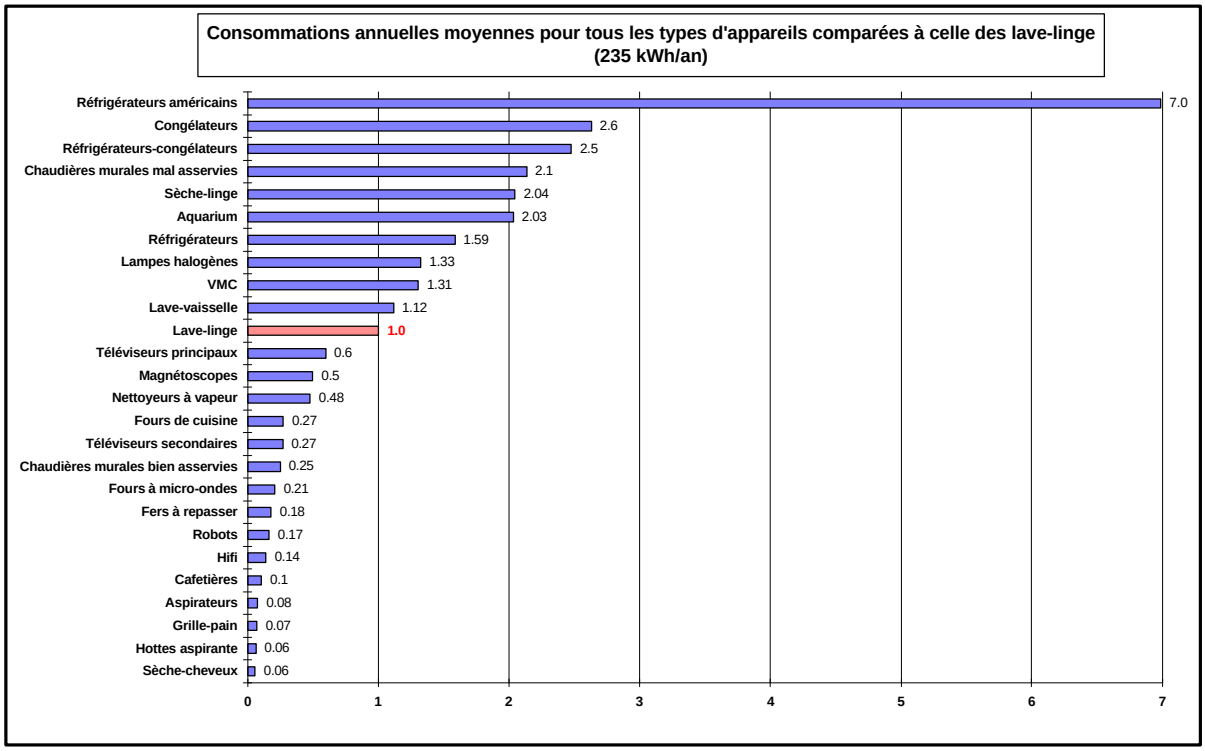


Figure 3.3 : consommation annuelle moyenne de chaque type d'appareil ramenée à celle des lave-linge.

CHAPITRE 4 : LA PRODUCTION DE FROID

Les appareils de froid qui ont été suivis sont :

✓ les réfrigérateurs une porte et les réfrigérateurs deux portes dont le compartiment froid basse température possède trois étoiles au plus. Cette famille a été baptisée « réfrigérateurs »,

✓ les appareils à deux portes de toute nature dont le compartiment basse température possède quatre étoiles. Il s'agit aussi bien de réfrigérateurs deux portes (possédant quatre étoiles) que de « combi » ou de « duo », à l'exception des appareils à froid ventilé (« no frost »). Cet ensemble a été intitulé « réfricongels ».

✓ les congélateurs coffres

✓ les congélateurs armoires

✓ les appareils à froid ventilé baptisés « no frost »

Pour chaque type, la collecte des données a distingué dans chaque logement l'appareil principal et l'appareil secondaire (lorsque celui-ci existait). Mais souvent cette nuance a disparu lors du traitement des données afin d'élargir la taille de l'échantillon étudié.

4 - 1 LES REFRIGERATEURS

4-1-1 Caractéristiques de l'échantillon

Le nombre de réfrigérateurs suivis est de 37 et la durée moyenne du suivi de 25,6 jours. La figure 4.1 représente l'histogramme des âges des appareils de l'échantillon. Il était intéressant d'établir une comparaison (voir figure 4.2) avec les valeurs nationales fournies par l'INSEE (Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques), mais on ne dispose pour cela que de l'ensemble résultant de l'agrégation des réfrigérateurs et des réfricongels. A l'examen, l'échantillon étudié se révèle en général un peu plus vieux que la moyenne nationale.

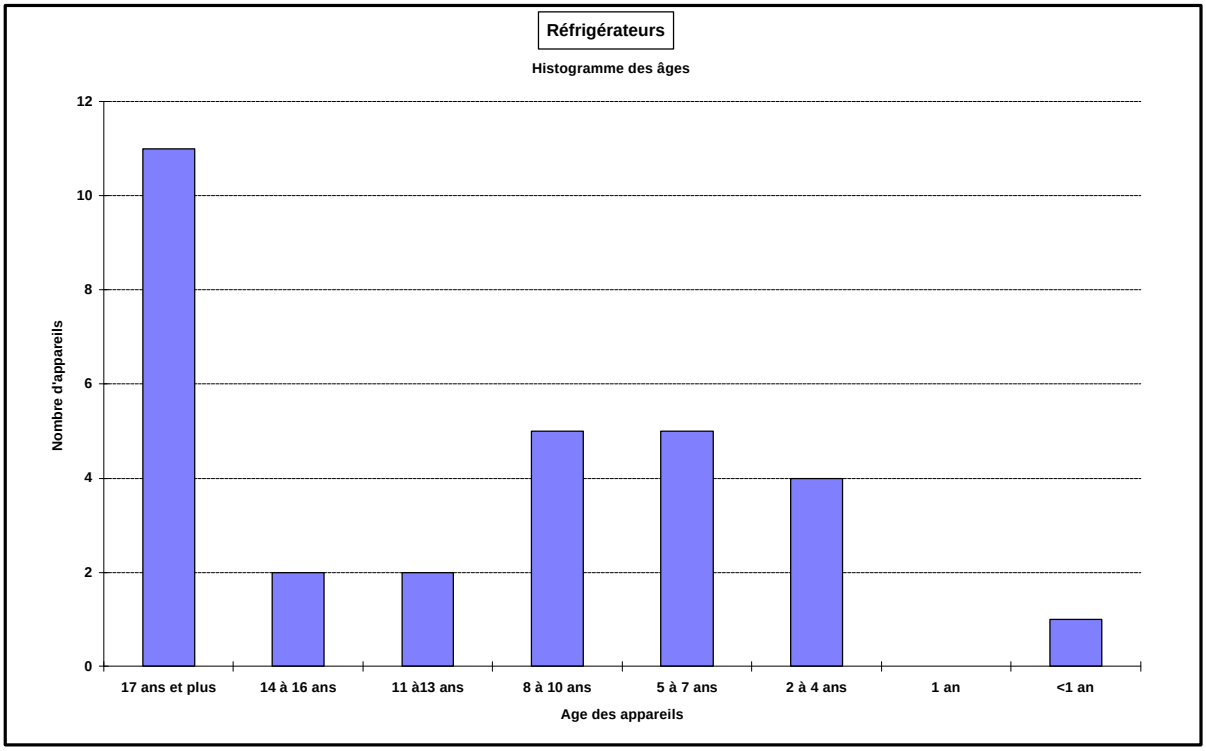


Fig 4.1 : histogramme de l'âge des réfrigérateurs.

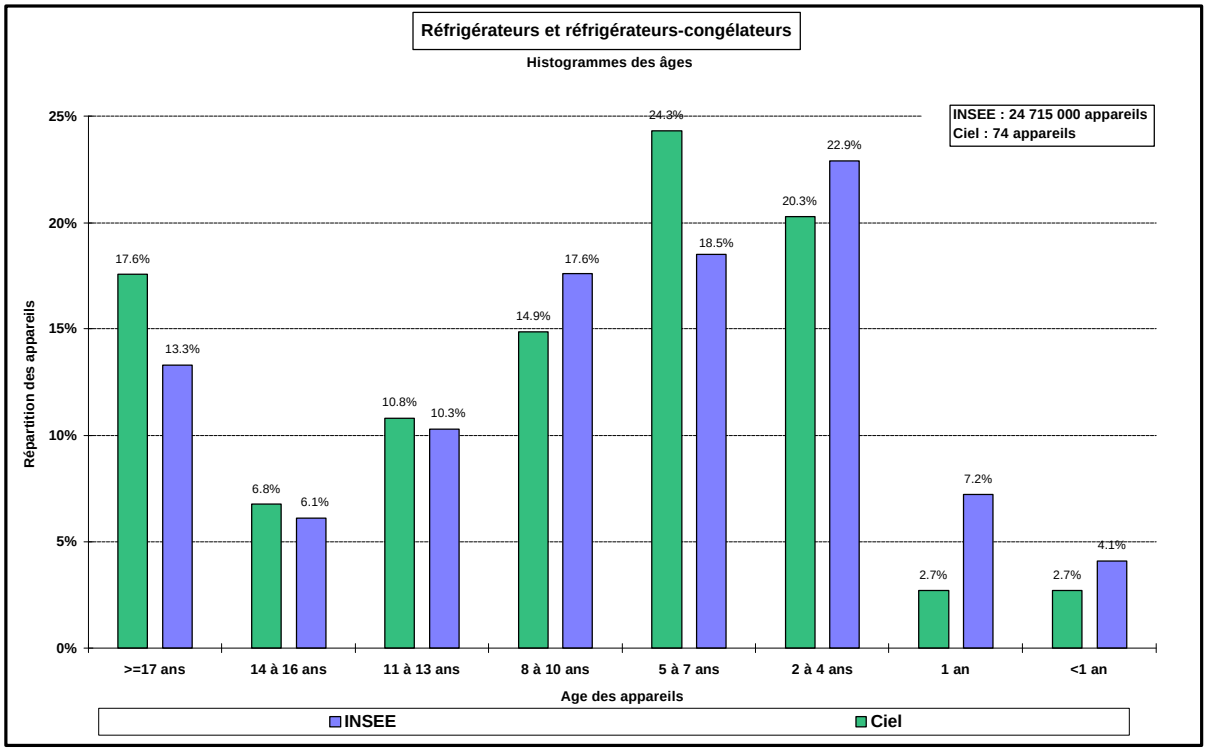


Fig 4.2 : histogramme comparé de l'âge des réfrigérateurs et réfricongels (avec INSEE)

4-1-2 Nature des besoins électriques

La régulation tout ou rien des appareils impose des démarrages et arrêts du compresseur assez fréquents. Mais l'allure de ces courbes de puissance renseigne déjà sur la qualité des appareils ou sur leur état d'entretien : le compresseur d'un réfrigérateur en mauvais état (évaporateur couvert de givre, condenseur encrassé, joint détérioré, etc.) ou de mauvaise qualité (faible isolation) ne s'arrêtera pas souvent. On a même observé des appareils fonctionnant 24h/24 sans interruption. En revanche un appel de puissance rare et court est la caractéristique d'un appareil de bonne qualité consommant peu d'énergie. La figure 4.3 représente la puissance appelée au cours d'une journée par deux réfrigérateurs illustrant ces deux cas extrêmes.

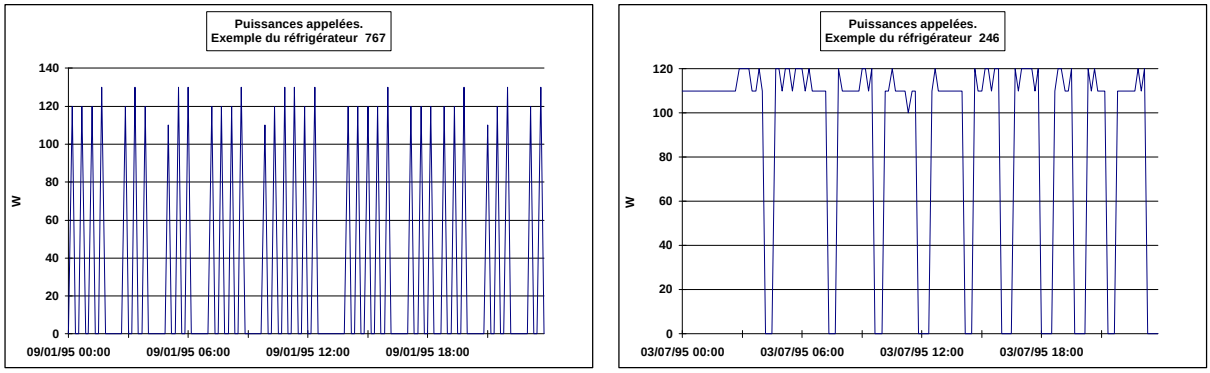


Figure 4.3 : appel de puissance comparé d'un bon (gauche) et d'un mauvais (droite) réfrigérateur.

4-1-3 Histogramme des consommations

La figure 4.4 donne la distribution des consommations des réfrigérateurs sans distinction de volume. La consommation moyenne est de 1021 Wh/j (soit **373 kWh/an**) et la consommation médiane de 863 Wh/j (soit 315 kWh/an). L'influence de l'âge et de la taille dans la consommation de ces appareils sera examinée aux § 4.1.7 et 4.1.8. A noter la grande dispersion des consommations qui vont de 1 à 6.

L'étude portugaise du ***CCE*** a trouvé une consommation moyenne annuelle de 274 kWh/an. Mais nous ne connaissons pas la taille moyenne des appareils.

A titre indicatif l'étude suédoise de ***Nutek*** a mesuré, dans les mêmes conditions, une consommation annuelle moyenne de 485 kWh et une valeur médiane de 458 kWh avec des écarts types comparables (197 kWh pour les Suédois et 183 kWh dans Ciel) ce qui atteste d'une dispersion importante dans les deux cas. Mais l'histogramme des consommations des appareils suédois a l'allure d'une distribution normale avec un maximum autour de 1400 kWh/an alors que pour la campagne Ciel l'histogramme est asymétrique avec un maximum situé autour de 700 kWh/an.

Or les appareils nordiques paraissent devoir être de meilleure qualité que les appareils français puisque, pour reprendre le critère de consommation énergétique spécifique des suédois, la consommation des appareils est de 1,41 kWh/litre/an dans leur échantillon, et de 1,84 kWh/litre/an dans le nôtre, et ceci bien qu'il soit établi que la température de chauffage dans les logements est plus élevée en Suède qu'en France.

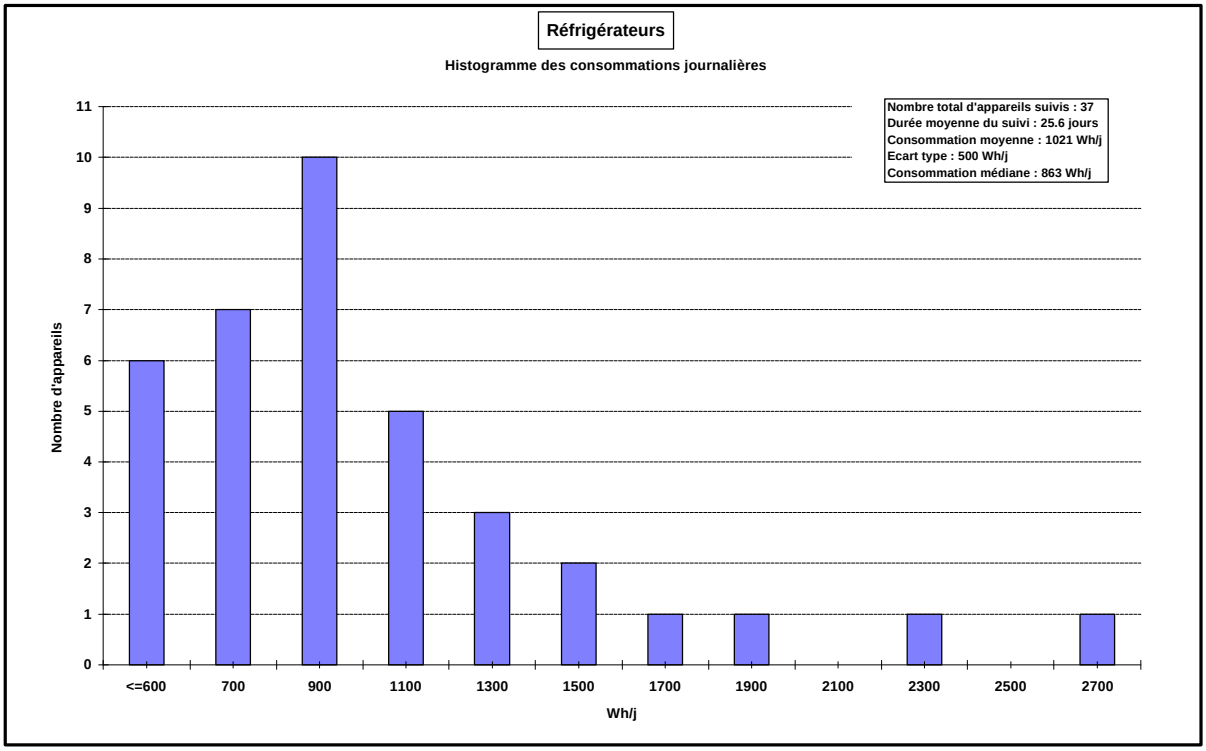


Figure 4.4 : histogramme des consommations journalières moyennes des réfrigérateurs.

Dans ces conditions l'écart de consommation entre les échantillons suédois et français ne peut plus s'expliquer que par la taille des appareils suédois plus importante que celle des appareils français (qui est de 207 l utile en moyenne), et la température plus élevée des logements en Suède.

4-1-4 Courbe de charge horaire moyenne

La fig. 4.5 représente la consommation horaire moyenne au cours d'une journée pour l'ensemble des appareils suivis. Cette représentation correspond à une sorte de courbe de charge au pas de temps de l'heure. Les valeurs sont obtenues en faisant la moyenne, sur l'ensemble des appareils d'un même type, de toutes les consommations observées dans chacune des heures de la journée. Sur chaque valeur horaire figure également l'écart type.

Les variations observées tout au long de la journée éclairent sur le mode d'utilisation d'un réfrigérateur. Ainsi entre minuit et 4 heures du matin la consommation diminue-t-elle car l'appareil n'est plus sollicité et que, pendant la nuit quelle que soit la saison, la température dans le logement baisse réduisant les besoins du réfrigérateur. A partir de 5 h la température, donc aussi la consommation des réfrigérateurs, augmente dans les logements (soit en hiver parce que le chauffage est remis en route, soit en été parce que la température extérieure commence à s'élever). Les heures des repas (13h et 21 h) correspondent à une augmentation très marquée des consommations. Ceci est évidemment dû aux ouvertures de portes conduisant à l'introduction de masses de nourriture tiède (à 19°C) et humide, ainsi que d'air à 19°C et environ 50% d'hygrométrie contenant donc 8,5g d'eau/m3 d'air.

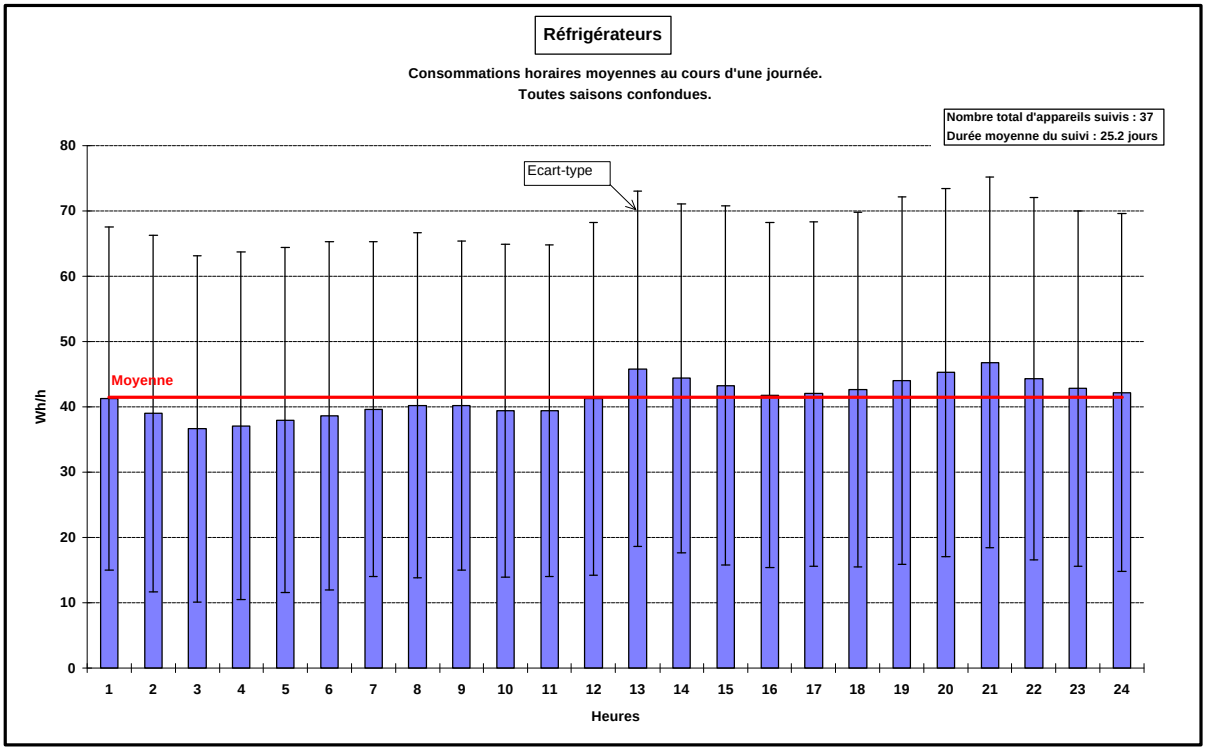


Figure 4.5 : consommation horaire moyenne des réfrigérateurs au cours d'une journée.

On note aussi que les fluctuations autour de la valeur moyenne sont peu importantes, de l'ordre de 10%, et que l'écart type est très important attestant d'une grande dispersion dans les résultats. Enfin, on peut aussi retenir que la puissance moyenne « continue » qui serait appelée par un réfrigérateur est de 42,5 W.

4-1-5 Variation de la consommation en fonction des saisons

La meilleure façon de répondre à cette question serait évidemment de suivre des appareils pendant une année entière, ce qui permettrait d'établir des coefficients mensuels de variation par rapport à une valeur moyenne annuelle. Ceci n'a donc pas pu être fait dans Ciel, mais sera bientôt disponible dans la seconde expérimentation référencée au chapitre 3. Néanmoins, des enseignements intéressants ont pu être dégagés à partir des mesures mensuelles.

La figure 4.6 représente, pour deux réfrigérateurs particuliers, la variation de la consommation journalière au cours de la période de mesure.

A priori on pourrait penser qu'à l'échelle du mois il ne devrait pas y avoir de variations très importantes. Pourtant on constate (appareil R85, graphique de gauche) que la consommation peut aller du simple au double en l'espace de 10 jours, et cela de façon continue. Il ne s'agit donc pas de chargements d'aliments ou de toute autre opération ponctuelle. On remarque aussi (appareil 206 , graphique de droite) que la moyenne des quinze premiers jours de mesures (matérialisée par les pointillés) peut être sensiblement différente (15%) de celle des quinze derniers jours (matérialisée par les traitillés) ce qui signifie que **la mesure des consommations sur les réfrigérateurs ne doit s'envisager que sur des durées d'au moins un mois pour être représentative d'une période de l'année.**

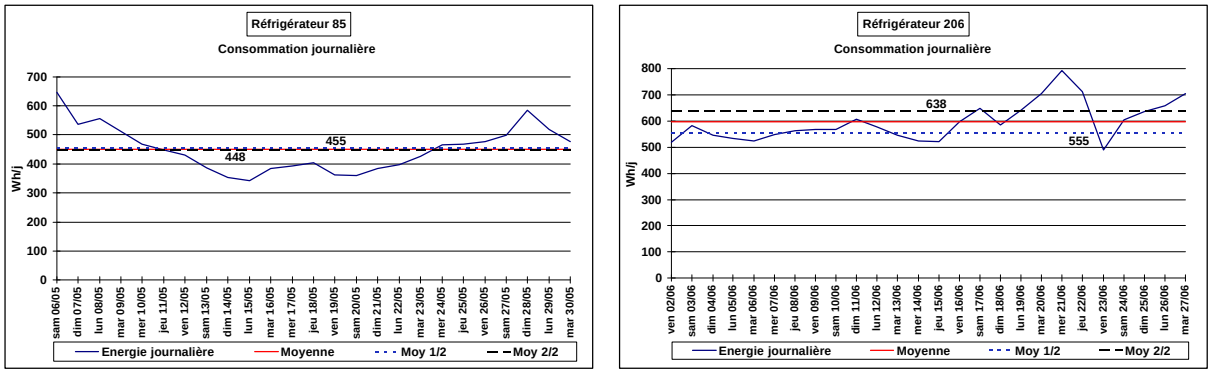


Figure 4.6 : variation de la consommation journalière de deux réfrigérateurs particuliers.

La figure 4.7 reprend le cas de l'appareil R85 en l'associant à celui d'un autre appareil (R90) suivi exactement pendant la même période (au mois de mai, donc hors saison de chauffage) et dans la même ville. Sur la partie inférieure du graphique figure la température extérieure moyenne fournie par la météo. La similitude des profils de consommation des deux appareils est frappante, de même que la parfaite corrélation de ces consommations avec la température extérieure.

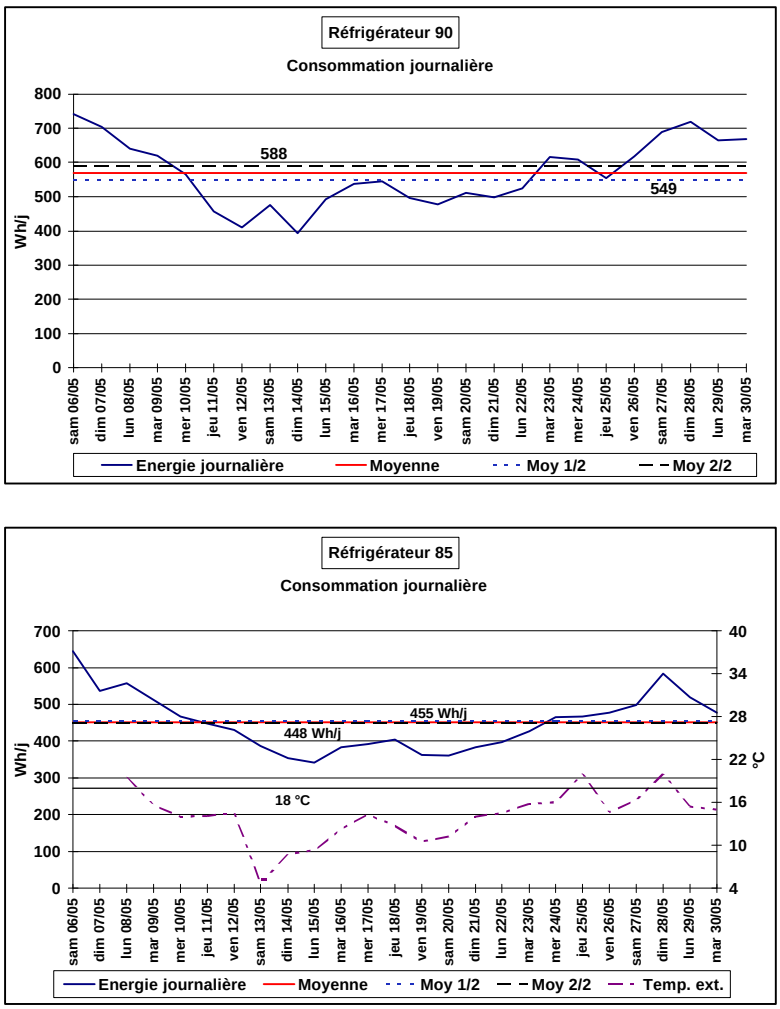


Figure 4.7 : variation de la consommation jounalière des réfrigérateurs 85 et 90 comparée à la température extérieure.

Ceci semble établir ce que l'on pouvait imaginer, à savoir que **la consommation des réfrigérateurs est fortement influencée par la température extérieure en été**, et qu'*a contrario*, en hiver, la température dans les logements étant à peu près stable (grâce au chauffage), on ne devrait pas observer de variations notables durant la période de chauffe, en tout cas pour les appareils situés dans le volume chauffé, comme le sont la plupart des réfrigérateurs.

La figure 4.8 a été établie en regroupant les réfrigérateurs suivis en fonction de la période de l'année pendant laquelle a eu lieu ce suivi. On a ainsi une idée de l'évolution de la consommation au cours des saisons. Ceci fait l'hypothèse que les différents sous-échantillons sont homogènes (même volume, même qualité des appareils).

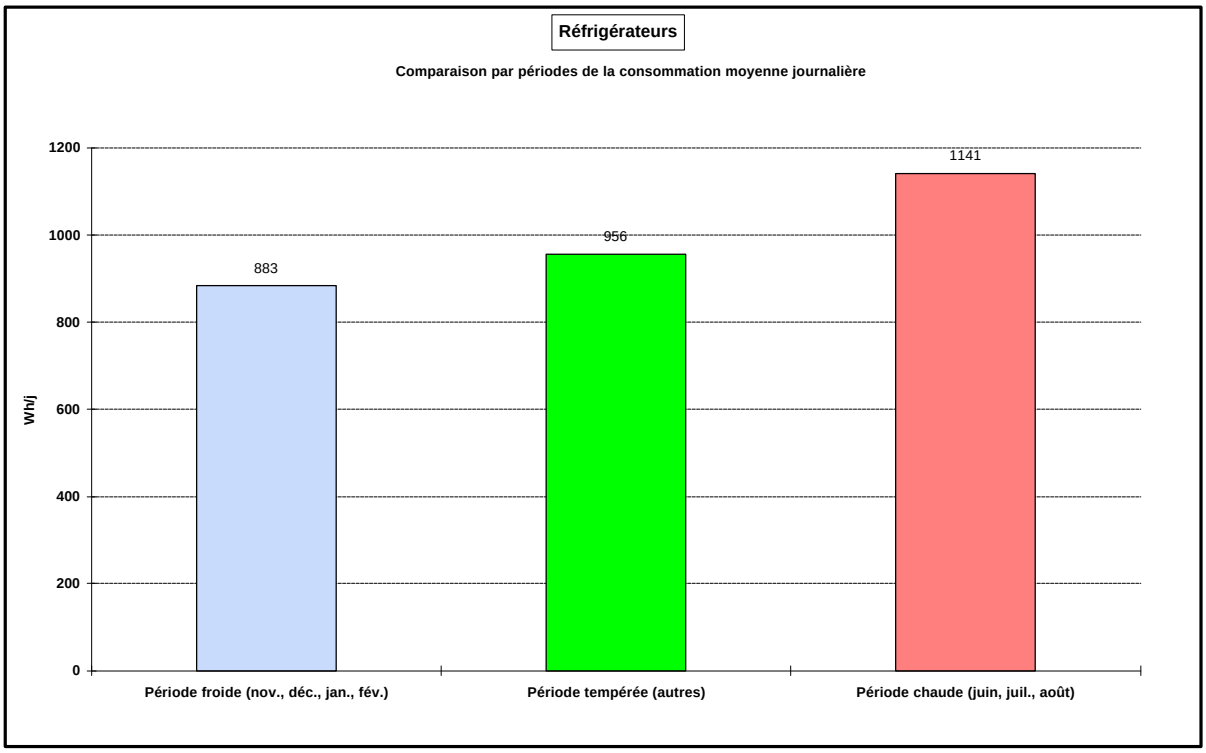


Fig. 4.8 comparaison par périodes des consommations moyennes journalières pour les réfrigérateurs.

On remarque qu'il y a à peine 8% d'écart entre la consommation des réfrigérateurs en mi-saison et en hiver, alors que cet écart est de 29% entre l'été et l'hiver. **Le caractère saisonnier de la consommation des réfrigérateurs semble donc prouvé de façon assez explicite**.

4-1-6 Consommation réelle/Consommation normalisée

Les analyses faites jusqu'à présent ne tiennent pas compte du volume des appareils. Afin de prendre en compte ce paramètre il a paru intéressant de calculer, pour chacun des réfrigérateurs, la classe d'efficacité énergétique « mesurée », par analogie aux classes d'efficacité énergétiques réservées aux matériels neufs. Pour cela, l'indice d'efficacité

énergétique a été déterminé non pas à partir de la consommation normalisée mais à partir de la consommation mesurée. Cette différence est essentielle. **La « classe énergétique mesurée » donne donc une image de ce que les utilisateurs ont fait de leur appareil : position du thermostat, température ambiante, dégivrage, etc. sont autant de paramètres qui font diverger consommations normalisée et mesurée.**

La figure 4.9 compare la distribution en fonction de la classe d'efficacité énergétique des réfrigérateurs de l'échantillon (classes mesurées) et de l'ensemble des réfrigérateurs vendus en France entre mai et août 1993 (valeurs normalisées).

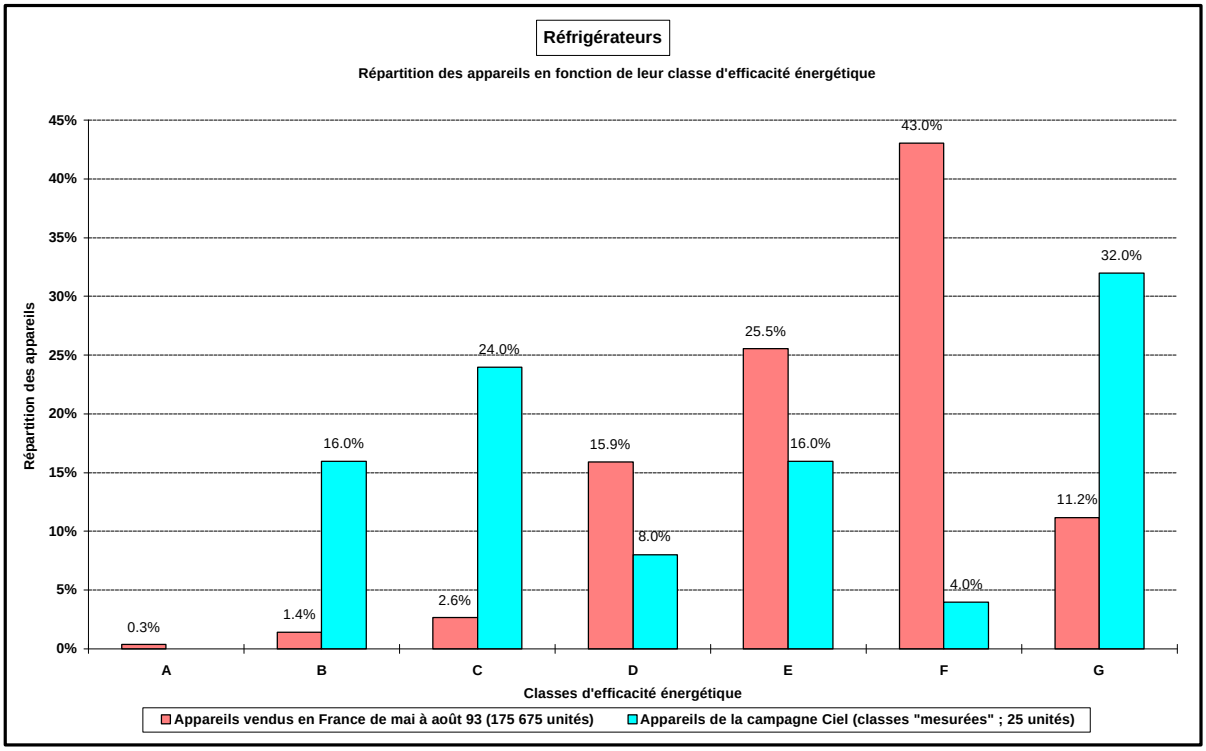


Figure 4.9 : comparaison des classes d'efficacité énergétique des appareils français avec celles "mesurées" sur les appareils de la campagne Ciel

Il apparaît que 48% des appareils suivis sont de classes énergétiques mesurées A, B, C ou D, contre seulement 20,3 % pour les appareils récemment vendus, et que 52 % des appareils de notre échantillon sont en classe E, F ou G contre 79,7% des ventes de réfrigérateurs.

Ceci ne signifie pas que les réfrigérateurs de l'échantillon sont de meilleure qualité que ceux vendus en 1993. Cela traduit plutôt que la consommation des appareils dans les conditions réelles d'utilisation est, en moyenne, inférieure à la consommation normalisée. On peut objecter que les réfrigérateurs étaient peut-être de bien meilleure qualité énergétique par le passé. Cet aspect sera abordé au § suivant où on montrera que ce n'est pas le cas.

Ainsi, en l'absence de la consommation normalisée qui n'est pratiquement jamais indiquée sur les appareils de l'échantillon, on peut néanmoins conclure que **dans la pratique la consommation réelle des réfrigérateurs est sensiblement inférieure à la consommation**

normalisée. En revanche il ne parait pas possible, à moins de disposer des consommations normalisées, de préciser dans quelle proportion ces consommations diffèrent.

Il faut aussi souligner que derrière la classe G, très bien représentée dans l'échantillon, peuvent se cacher des performances considérablement dégradées puisque la classe G regroupe tous les appareils dont les consommations sont supérieures à un seuil au-delà duquel la distinction n'est plus faite entre les appareils. La consommation à l'intérieur de la classe peut donc aller du simple au double, et même plus. Cet aspect sera précisé dans le § 4.1.8.

4-1-7 Evolution de la consommation en fonction de l'âge des appareils

Evaluer la dérive probable de consommation des appareils avec le temps n'est pas chose simple. Il faudrait pouvoir disposer des performances de chaque appareil à l'état neuf, ce qui est tout à fait impossible. Même la consommation normalisée n'a pu être obtenue auprès des constructeurs qui ne disposent semble-t-il pas de renseignements sur les appareils de plus de dix ans.

Si on ne différencie pas la taille des appareils en faisant l'hypothèse que tous les sous ensembles de l'échantillon de base comprennent la même proportion d'appareils de chaque type (volume/qualité etc.), on peut exprimer la consommation journalière en fonction de l'âge des appareils. C'est ce que représente la figure 4.10. La critique que l'on peut faire à ce graphique est probablement le peu d'éléments des sous ensembles de l'échantillon dans chaque tranche d'âge, puisque certaines classes n'ont parfois qu'un seul représentant. Néanmoins on ne peut pas vraiment conclure que les appareils anciens sont plus consommateurs que les appareils récents.

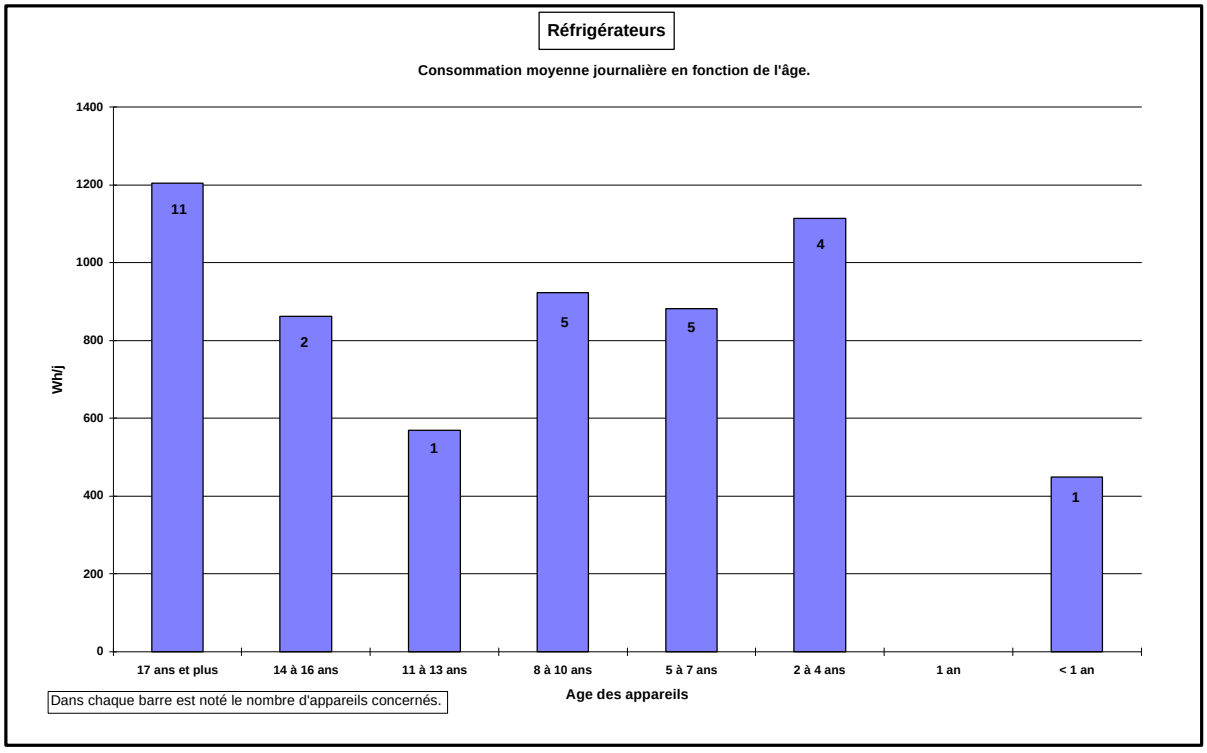


Figure 4.10 : consommation moyenne journalière des réfrigérateurs par classe d'âge.

Aucune tendance particulière ne semble se dessiner et on pourrait même penser que l'âge a peu d'influence sur le niveau de consommation, donc aussi qu'il n'y a pas eu d'améliorations notables sur les performances énergétiques depuis quinze ans. Mais cette approche ne tient pas compte de l'influence du volume des appareils suivis. On peut imaginer que le volume moyen a augmenté depuis quinze ans. La fig. 4.11 infirme cette hypothèse. On constate en effet que le volume des réfrigérateurs, en fonction de leur âge, est pratiquement constant.

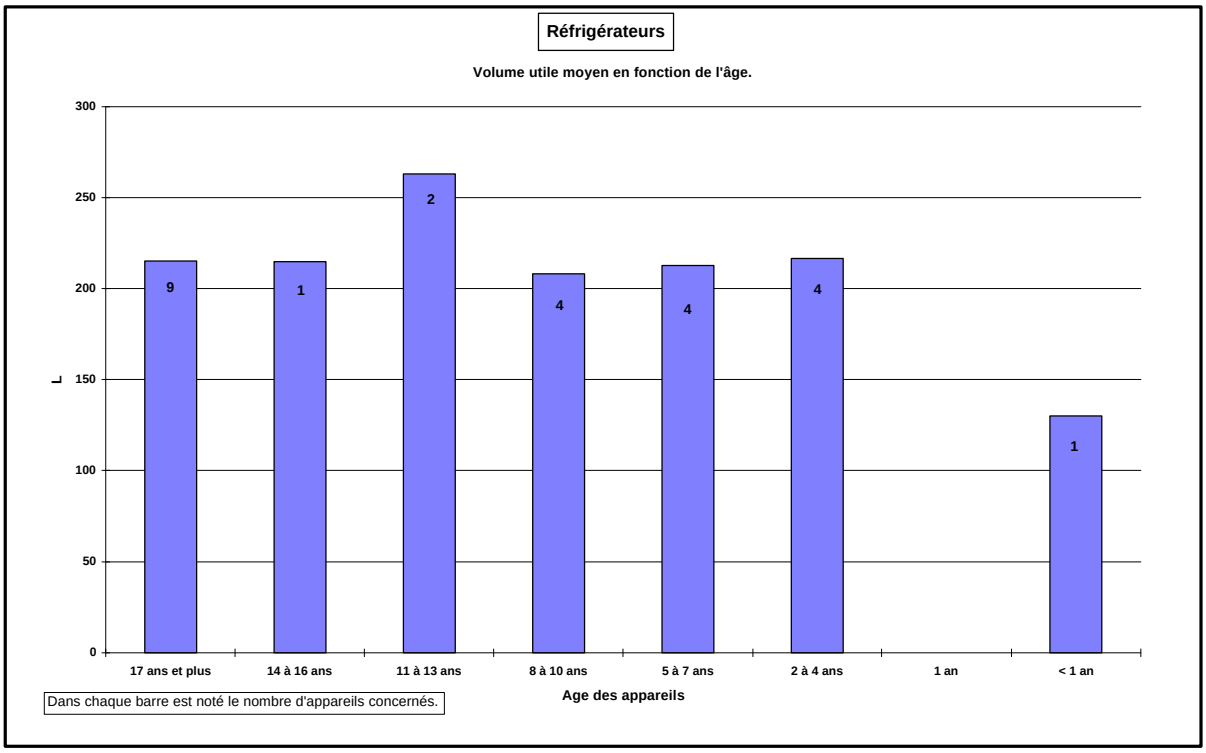


Figure 4.11 : volume utile moyen des réfrigérateurs par classe d'âge.

Une autre approche consiste à recourir à nouveau à la notion d'indice d'efficacité énergétique mesurée. La figure 4.12 représente l'indice d'efficacité énergétique mesurée des différents réfrigérateurs en fonction de leur âge.

On constate qu'il est bien difficile d'affirmer que les appareils récents sont meilleurs que les appareils anciens, que ce soit parce que les utilisateurs sont économes ou parce que les appareils sont de meilleure qualité. Ces conclusions ne sont évidemment valables que pour l'échantillon étudié. Mais elles accréditeraient l'idée, qui reste à confirmer, que **les réfrigérateurs récents ne semblent guère meilleurs que les anciens, et que l'âge des appareils n'affecte pas leur consommation de façon très sensible**.

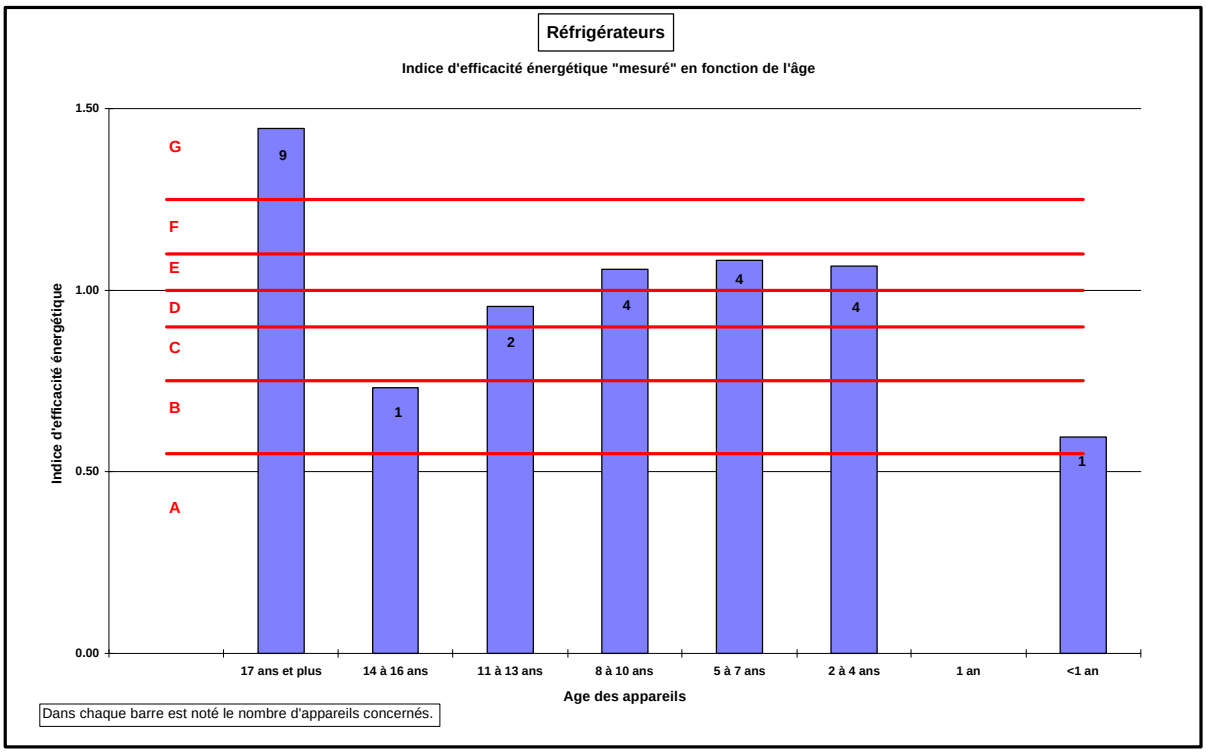


Figure 4.12 : indice d'efficacité énergétique "mesuré" des réfrigérateurs par classe d'âge.

4-1-8 Influence du volume sur la consommation des appareils

La figure (4.13) donne l'évolution de la consommation journalière moyenne des réfrigérateurs de l'échantillon en fonction de leur volume. On constate une dispersion importante déjà observée précédemment (des consommations, à volume égal, qui peuvent aller de un à trois), ainsi qu'un regroupement en trois classes des volumes : 160 / 220 / 300 litres.

On peut se demander où se situe la droite de régression du nuage de points de ce graphique par rapport aux valeurs normalisées en vigueur. En effet ces valeurs s'expriment en fonction de l'indice d'efficacité énergétique et du volume utile selon une loi linéaire du type :

$$E = i \ (a + b\ V)$$

où E : consommation normalisée annuelle (kWh/an)
i : indice d'efficacité énergétique
V : volume utile du réfrigérateur (litres)
a,b : coefficients déterminés par la norme et valant dans le cas des réfrigérateurs :
a = 245
b = 0,233

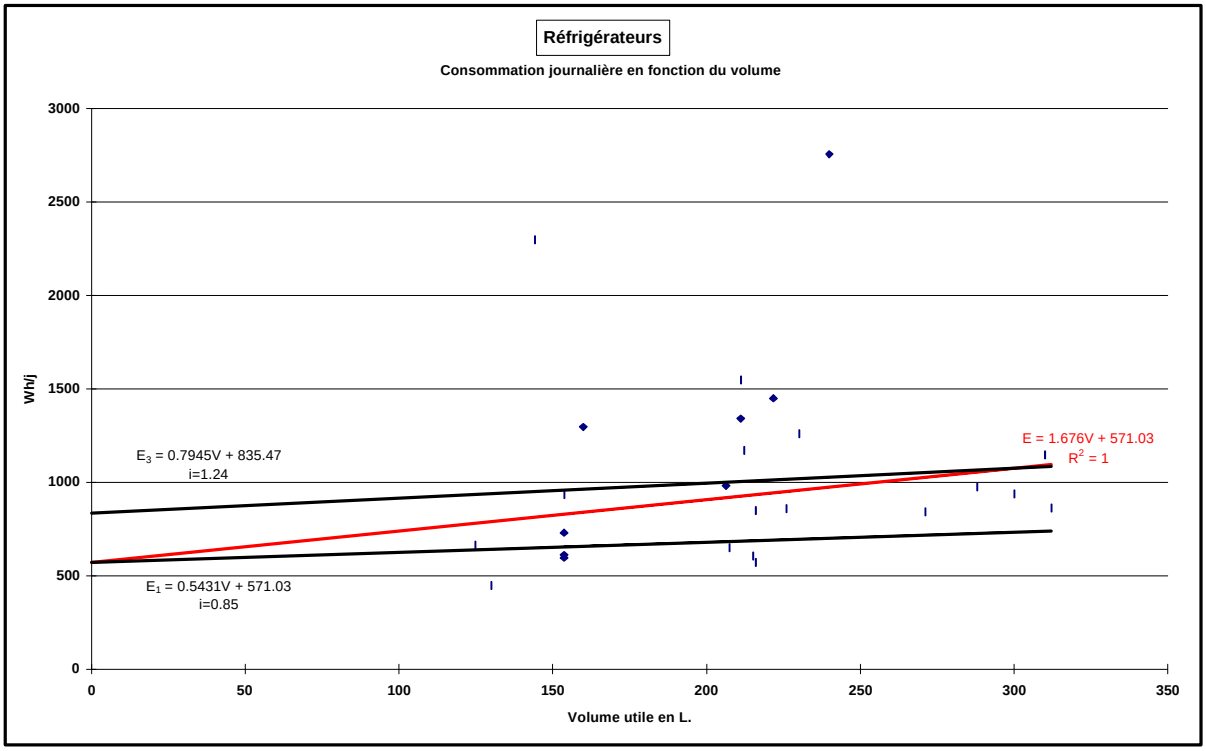


Figure 4.13 : consommation moyenne journalière en fonction du volume utile des réfrigérateurs.

La droite de régression (qui a été établie en éliminant les deux points extrêmes situés autour de 2500 Wh/j) ne correspondra jamais à une valeur précise de l'indice d'efficacité énergétique « i ». Il faut donc envisager deux possibilités qui vont borner la réalité :

- si on suppose que notre droite a la même ordonnée à l'origine que l'une des droites de consommation normalisée, alors on en déduit que « i » vaut 0,85. Cette droite correspond à la classe C, mais constitue une borne inférieure.
- si au contraire on suppose que notre droite de régression est bornée en partie supérieure par une des droites de consommation normalisée, alors « i » vaut 1,24 et l'échantillon serait globalement en classe F, mais à la limite de la classe G.

On a porté sur la figure 4.13 les deux droites extrêmes. La réalité est évidemment intermédiaire et **on peut en conclure avec certitude que globalement, et malgré les bonnes performances de certains appareils, malgré aussi une consommation inférieure à la consommation normalisée, le parc de réfrigérateurs observés a des performances énergétiques qui le situe dans son ensemble entre la classe D et la classe F**. Ce résultat pourrait apparaître contradictoire avec ce qui a été évoqué au § 4.1.6. C'est au contraire la confirmation du rôle joué par tous les appareils placés sans distinction en classe G mais dont certains ont des performances réellement mauvaises qui obèrent la performance moyenne de l'ensemble des appareils suivis.

4-1-9 Influence du givrage sur la consommation des appareils

L'étude de l'influence du givre sur la consommation des réfrigérateurs n'a pas été menée directement dans le cadre de la campagne Ciel, bien que le degré de givrage des appareils ait été relevé lors de l'installation du système de mesures. Mais ce niveau de givrage a évolué pendant le mois de mesures, les appareils peuvent avoir été dégivrés, etc. ce qui rend l'analyse difficile.

En revanche une mesure ponctuelle a été faite en marge de cette campagne sur un réfrigérateur une porte de 210 litres avec compartiment « à glaçons » de 20 litres autour de l'évaporateur. L'appareil comportait une forte épaisseur de givre (environ 5 cm). Avec thermostat sur 1, la température intérieure était de 8,6°C et la consommation journalière de 716 Wh. Dans les mêmes conditions de givrage le thermostat a été placé sur 10. La consommation quotidienne est passée à 1240 Wh et la température s'est établie à 1,4°C.

Après dégivrage, et après avoir attendu 48 h pour que les conditions se stabilisent, la consommation avec thermostat sur 1 était de 638 Wh/j et la température intérieure de 1,4 °C (il faut noter que l'appareil examiné a peut-être un problème avec la commande du thermostat, mais ceci ne change pas le résultat qui suit).

L'influence du givrage est donc double :

- à position constante du thermostat il conduit à une élévation importante de température dans l'appareil, de +7,2°C dans le cas présent, et malgré cela à une augmentation de la consommation d'énergie (de +12% dans notre exemple). L'appareil consomme mais ne réfrigère plus.
- à température intérieure constante (1,4°C dans notre expérience), il conduit à une augmentation de la consommation d'énergie de 94%. **A service rendu identique le givrage peut donc conduire à doubler la consommation d'un réfrigérateur**.

4-1-10 Consommation de veille des réfrigérateurs

Sous le terme de « réfrigérateurs » il faut rappeler (voir introduction du présent chapitre) que nous avons suivi aussi bien des appareils à une porte que des appareils à deux portes avec un compartiment basse température ne dépassant pas trois étoiles. L'étude des veilles suppose de distinguer ces deux catégories d'appareils.

Sur l'ensemble des réfrigérateurs à une porte suivis un seul a présenté une consommation de veille de 30W en permanence lorsque le compresseur était à l'arrêt. Ceci est tout à fait anormal sur ce type d'appareil, si bien qu'un complément d'enquête a permis de découvrir que la lampe de ce réfrigérateur restait allumée lorsque la porte était fermée. **Il n'existe normalement aucune consommation de veille sur un réfrigérateur à une porte**.

Ce n'est par contre pas le cas des appareils à deux portes dotés d'un volume de réfrigération et d'un volume de congélation (d'environ 50 litres). Mais dans la catégorie « réfrigérateurs » n'ont été suivis en réalité que trois appareils à deux portes dont un seul a présenté une veille. Ce phénomène sera donc étudié de façon exhaustive au § 4.2.8 pour les réfrigérateurs-congélateurs.

4 - 2 LES REFRIGERATEURS-CONGELATEURS

4-2-1 Caractéristiques de l'échantillon

Le nombre d'appareils suivis est de 54 et la durée moyenne du suivi de 24,4 jours. La figure 4.14 représente l'histogramme des âges de cet échantillon.

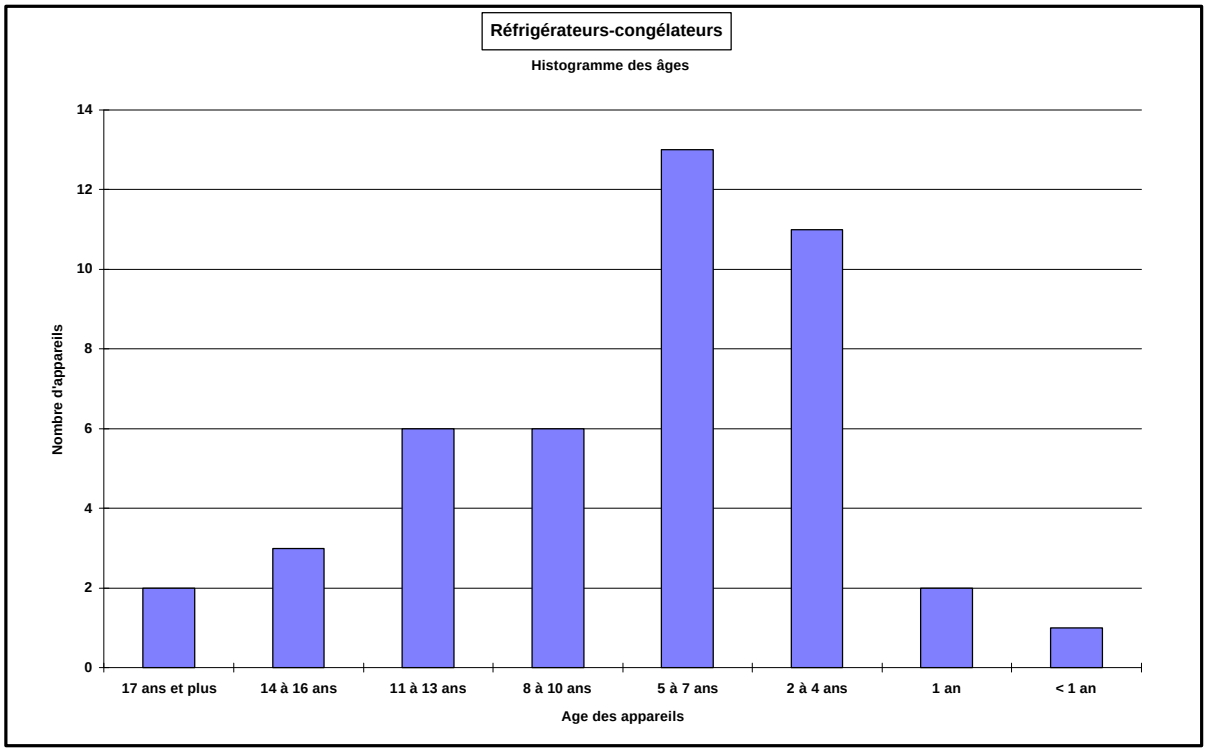


Figure 4.14 : consommation moyenne journalière des réfrigérateurs-congélateurs par classe d'âge.

Comme pour les réfrigérateurs, la comparaison avec l'ensemble du parc n'est que partiellement possible et l'on se reportera pour cela à la figure 4.2 et au conclusion du § 4.1.

4-2-2 Nature des besoins électriques

La figure 4.15 représente la puissance appelée par deux réfrigérateurs-congérateurs au cours d'une journée. L'allure générale est la même que pour les réfrigérateurs (voir § 4.1.1). On a choisi deux appareils dont l'un est de mauvaise qualité et pas l'autre. Le temps de fonctionnement du premier est beaucoup plus élevé que celui du second. Celui qui est situé sur la gauche du graphique dispose de deux compresseurs et l'un des deux compresseurs ne s'arrête jamais! En revanche celui de droite ne se met en route que 17 fois/jour pendant un temps très court.

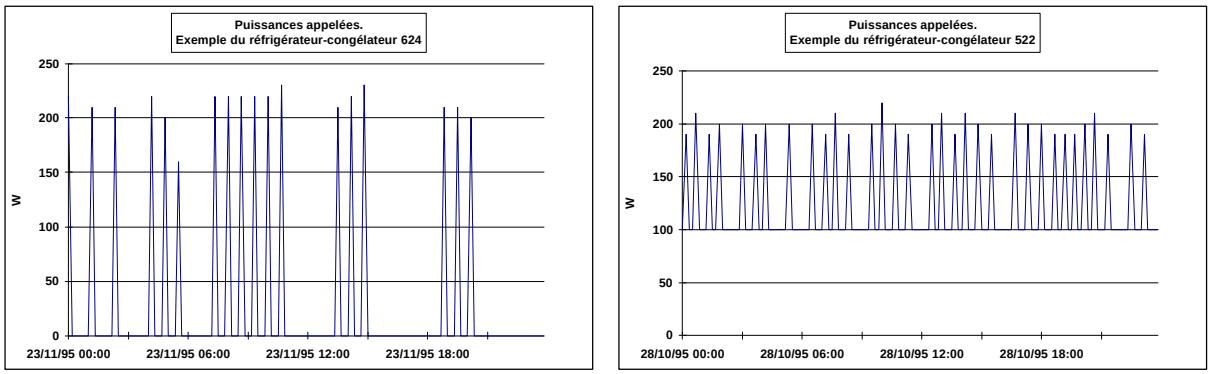


Figure 4.15 : appel de puissance comparé d'un bon (à gauche) et d'un mauvais (à droite) réfrigérateur-congélateur.

La figure 4.16 montre deux particularités de certains réfrigérateurs-congélateurs.On observe (graphique de gauche) comme sur la figure 4.15 la présence de deux compresseurs correspondant à deux niveaux de puissance différents et qui ne sont pas couplés.

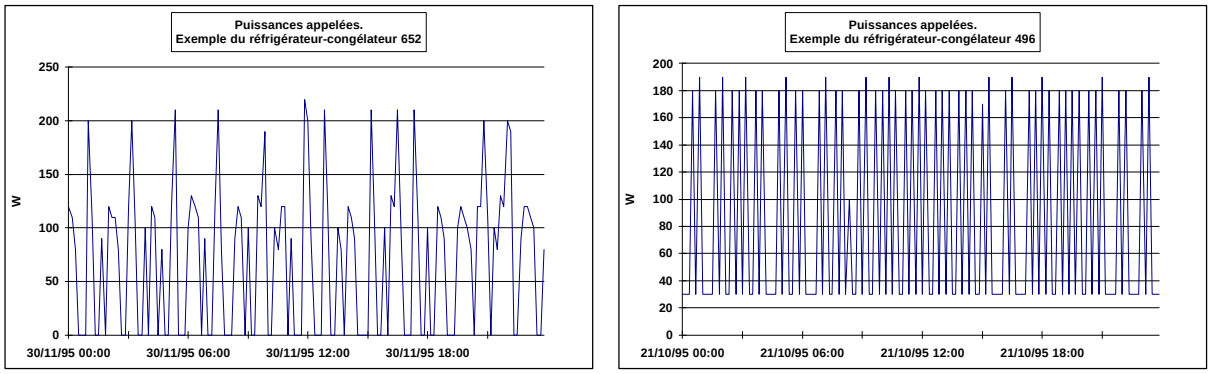


Figure 4.16 : appel de puissance de deux réfrigérateurs-congélateurs particuliers.

Le graphique de droite met en évidence le phénomène de veille déjà évoqué au § 4.1.8 : on voit dans cet exemple que la puissance n'est jamais inférieure à 30W après l'arrêt du compresseur.

4-2-3 Histogramme des consommations

La figure 4.17 donne la distribution des consommations des réfrigérateurs-congélateurs sans distinction de volume ni même de type (combi, duo, etc.). La consommation moyenne est de 1592 Wh/j (ou **581 kWh/an**), soit 56% de plus que pour les réfrigérateurs, et l'écart type de 550 Wh/j. La consommation médiane est de 1545 Wh/j (ou 564 kWh/an). La plage des consommations n'est que de 1 à 4 (contre 1 à 6 pour les réfrigérateurs). La distribution présente une allure symétrique avec un maximum très net pour la classe centrée sur 1550 Wh/j.

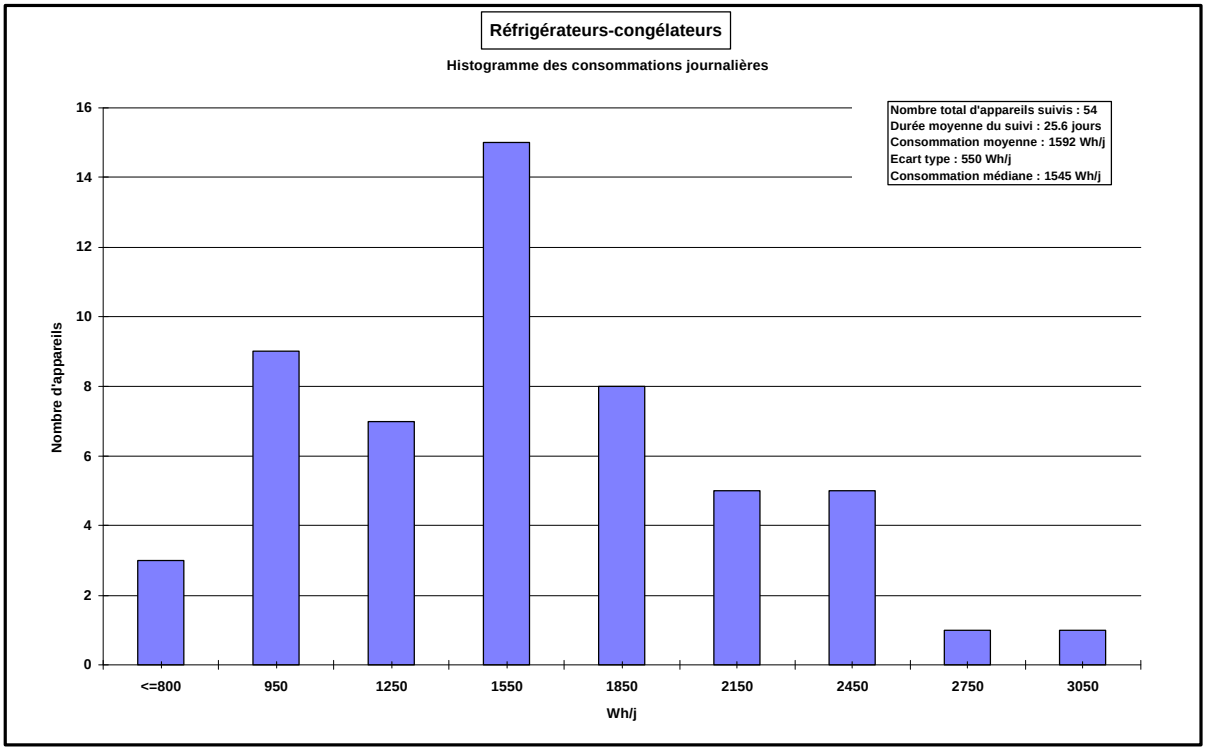


Figure 4.17 : histogramme des consommations journalières moyennes des réfrigérateurs-congélateurs.

L'étude portugaise du ***CCE*** a conduit à une valeur moyenne annuelle de 622 kWh pour ce type d'appareils, soit 7.1 % de plus que Ciel. On ne dispose pas encore de beaucoup d'éléments pour interpréter ce résultat.

La comparaison avec l'étude suédoise de ***Nutek*** montre que là encore les appareils suédois sont plus consommateurs puisqu'ils nécessitent en moyenne 763 kWh/an, soit 31% de plus que dans la campagne Ciel. Mais le volume des appareils suédois est un peu plus important : environ 330 l contre 286 l pour la campagne Ciel (mais on ne connaît pas la part qui revient au réfrigérateur et au congélateur). Mais cet écart ne peut expliquer à lui seul la différence. Les causes de surconsommations Suède/France semblent les mêmes que pour les réfrigérateurs : volume et température intérieure des logements plus élevés en Suède qu'en France.

4-2-4 Courbe de charge horaire moyenne

La fig. 4.18 représente la consommation horaire moyenne au cours d'une journée pour l'ensemble des appareils suivis. L'interprétation de cette courbe est en tous points analogue à celle des réfrigérateurs (voir § 4.1.3).

On peut retenir qu'un réfrigérateur-congélateur peut être assimilé à une puissance appelée continue de 66 W.

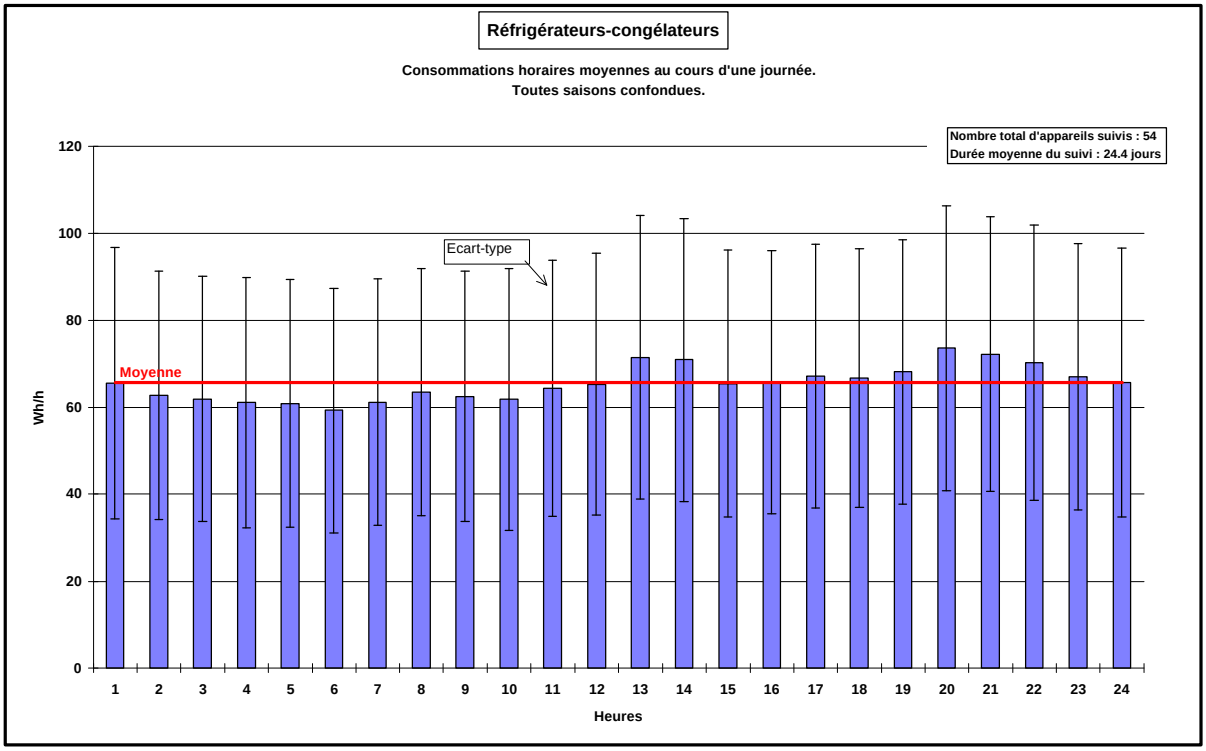


Figure 4.18 : consommation horaire moyenne des réfrigérateurs-congélateurs au cours d'une journée.

4-2-5 Variation de la consommation en fonction des saisons

L'analyse de la variation des consommations au cours de la période de mesures révèle les mêmes instabilités que pour les réfrigérateurs. La figure 4.19 représente ces variations pour deux appareils particuliers. On constate dans les deux cas que **l'énergie appelée en une journée peut varier du simple au double au cours d'un mois** (l'un des appareils a été suivi en mars/avril, donc en saison de chauffage, l'autre en juillet). Il est probable que le pic constaté sur l'un des deux graphiques correspond à une charge d'aliments à congeler, mais pour le second, il parait beaucoup moins simple d'identifier les causes de ces variations car elles se produisent à des jours différents de la semaine.

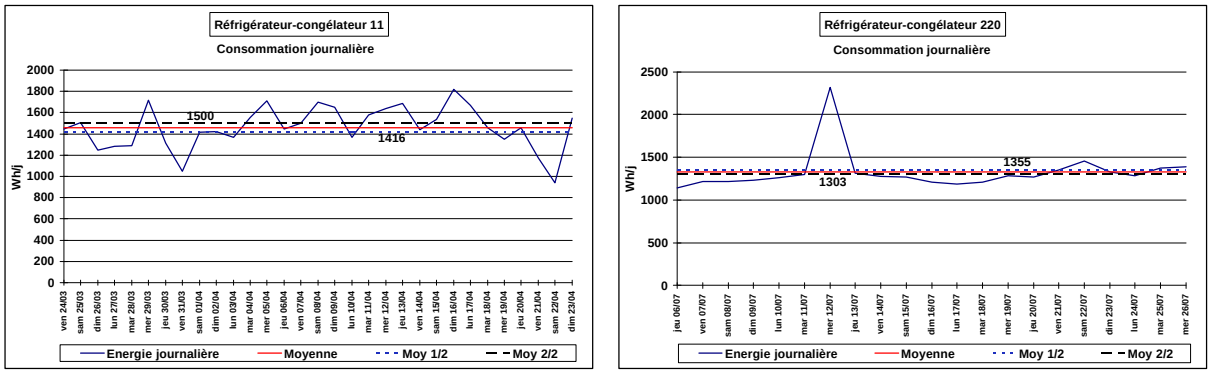


Figure 4.19 : variation de la consommation journalière de deux réfrigérateurs-congélateurs particuliers.

Mieux comprendre supposerait peut être, dans d'autres campagnes de mesures, de demander aux utilisateurs de remplir une fiche signalant les opérations particulières qui ont été effectuées, comme les dégivrages ou les chargements d'aliments à refroidir ou à congeler. La mesure de la température ambiante serait aussi un facteur explicatif intéressant.

Comme pour les réfrigérateurs, l'échantillon des réfrigérateurs-congélateurs a été divisé en sous ensembles regroupant les appareils en fonction de la saison pendant laquelle ils ont été suivis. Ceci permet une première approche de l'étude des consommations au cours des saisons. La figure 4.20 fait apparaître des consommations estivales supérieures de 37% aux consommations hivernales, et un écart plus réduit que pour les réfrigérateurs entre les mi-saisons et l'été (8% d'écart pour les réfrigérateurs-congélateurs).

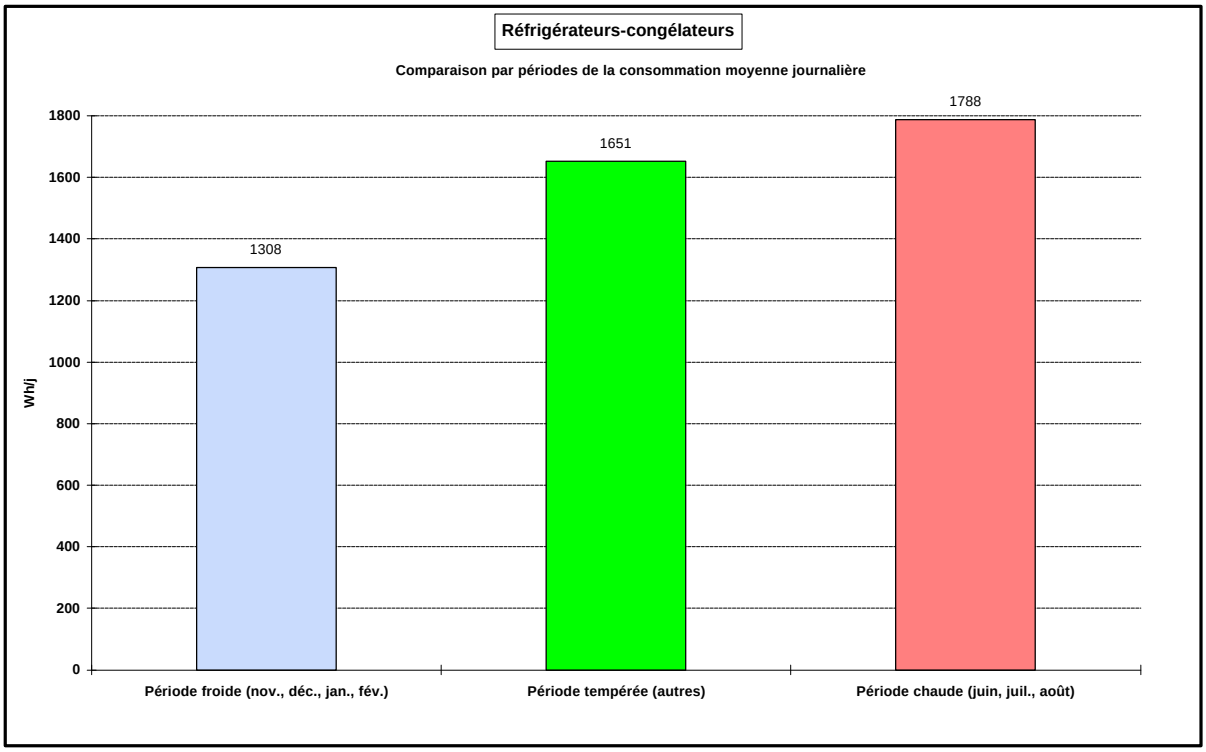


Figure 4.20 : comparaison par périodes des consommations moyennes journalières pour les réfrigérateurs-congélateurs.

Les conclusions sont donc les mêmes que pour les réfrigérateurs : influence très marquée des saisons sur la consommation des réfrigérateurs-congélateurs, surtout entre l'hiver et le reste de l'année, et nécessité d'appréhender le suivi des appareils sur des périodes de mesures d'au mois un mois afin de s'affranchir des fluctuations quotidiennes importantes.

4-2-6 Consommation réelle/Consommation normalisée

Reprenant la même méthode d'analyse que pour les réfrigérateurs, on aura recours à la notion d'indice (ou de classe) d'efficacité énergétique mesurée. La figure 4.21 compare la distribution en fonction de la classe d'efficacité énergétique des réfrigérateurs-congélateurs de

l'échantillon (classes mesurées) et de l'ensemble des réfrigérateurs-congélateurs vendus en France entre mai et août 1993 (valeurs normalisées).

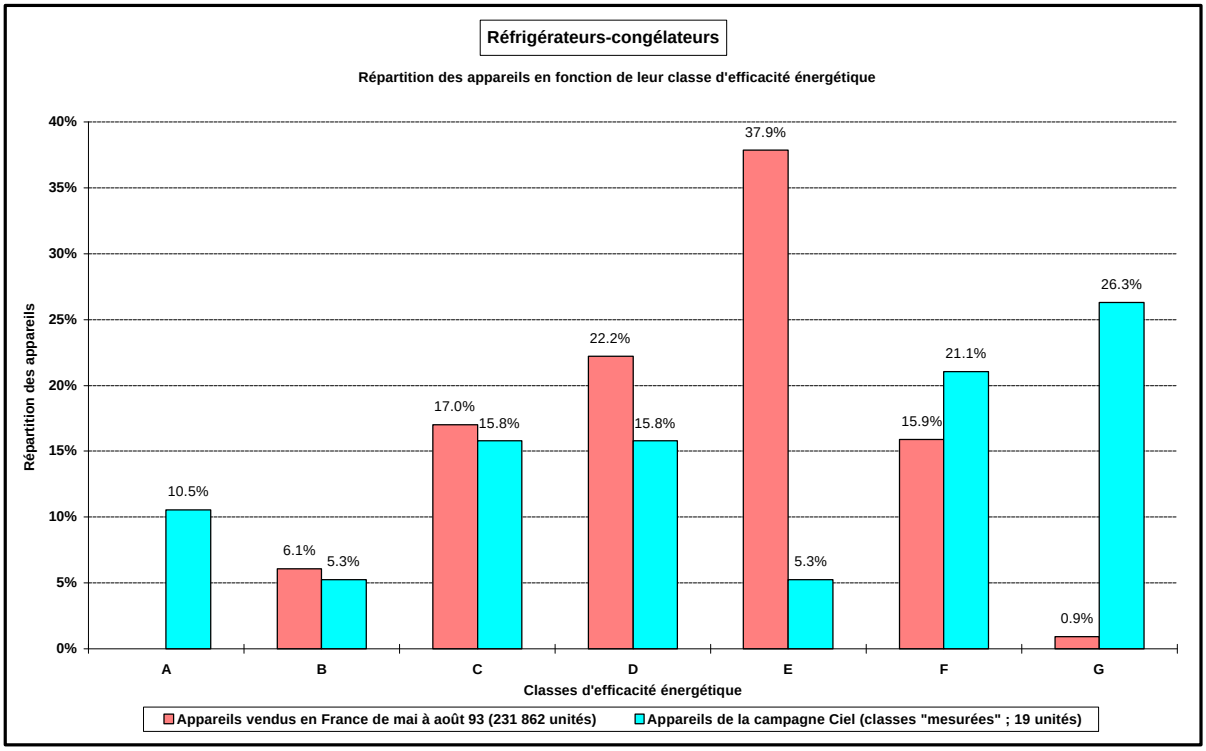


Figure 4.21 : comparaison des classes d'efficacité énergétique des appareils français avec celles "mesurées" sur les appareils de la campagne Ciel

On constate que 47,4% des appareils suivis sont de classes énergétiques mesurées A, B, C ou D, contre 45,3% pour les appareils récemment vendus, et que 52,6 % des appareils de notre échantillon sont en classes E, F ou G contre 54,7% des ventes de réfrigérateurs-congélateurs. Mais la situation de la classe G mérite attention : elle regroupe aujourd'hui 0,9% des ventes, et 26,3% des appareils de notre échantillon. Or la classe G inclut tous les appareils dont les performances dépassent une valeur seuil, quel que soit le niveau de leur consommation. Cette classe pourrait donc être considérée comme la classe refuge de tous les appareils dont la consommation est exagérée, que ce soit à cause de l'âge ou par l'usage qui en est fait.

Ceci pourrait amener à penser que la situation des réfrigérateurs-congélateurs est peut être différente de celle des réfrigérateurs. Il semble en tous cas impossible *a priori* de considérer que la consommation réelle est inférieure à la consommation normalisée. Mais les choses ne sont malheureusement pas aussi simples.

En effet le calcul de l'indice d'efficacité énergétique nécessite, pour un réfrigérateur-congélateur, celui du « volume ajusté ». On passe pour cela par un coefficient d'équivalence appliqué au volume de congélation qui vaut, pour ce type d'appareils, 2.15 selon les termes de la norme. Mais cette valeur correspond aussi aux conditions de la norme, soit +25°C d'ambiante, +5°C dans le réfrigérateur et -18°C dans le congélateur. En toute rigueur le calcul de l'indice d'efficacité réel aurait nécessité d'évaluer le coefficient d'équivalence pour chaque appareil en tenant compte des conditions exactes de température dans les locaux et dans l'appareil. Ces grandeurs n'ont pas été mesurées mais il est néanmoins possible de donner une

tendance probable. Le tableau de la figure 4.22 fournit la valeur du coefficient d'ajustement pour différentes valeurs de la température ambiante et de la température dans le compartiment réfrigérateur, la température dans le congélateur étant toujours égale à -18°C.

Température du réfrigérateur °C	**Température ambiante °C**				
	17	**19**	**21**	**23**	**25**
0	2,06	1,95	1,86	1,78	1,72
3	2,5	2,31	2,17	2,05	1,95
5	2,92	2,64	2,44	2,28	**2,15**
8	3,89	3,36	3,00	2,73	2,53

Figure 4.22 : Valeur du coefficient d'ajustement du volume de congélation en fonction des conditions de température.

Si on suppose que la température ambiante est de 19°C et non de 25, et si on admet que la température dans le réfrigérateur est sensiblement identique à celle de la norme (+5°C), on observe que la valeur du coefficient d'ajustement réel est supérieure à celle considérée dans la norme (2,15). Le volume ajusté réel aurait donc été plus grand que le volume ajusté normalisé pris dans nos calculs. Par voie de conséquence, l'indice énergétique réel aurait été inférieur aux valeur que nous avons trouvées. Il est donc très difficile de conclure avec certitude pour les réfrigérateurs-congélateurs et il manque trop d'informations (température, consommation normalisée) pour pouvoir affirmer, comme pour les réfrigérateurs, que la consommation effective est toujours inférieure à la consommation normalisée.

4-2-7 Evolution de la consommation en fonction de l'âge des appareils

A partir des mêmes précautions méthodologiques que celles explicitées pour les réfrigérateurs, on peut représenter (figure 4.23) la consommation journalière des réfrigérateurs-congélateurs en fonction de leur âge.

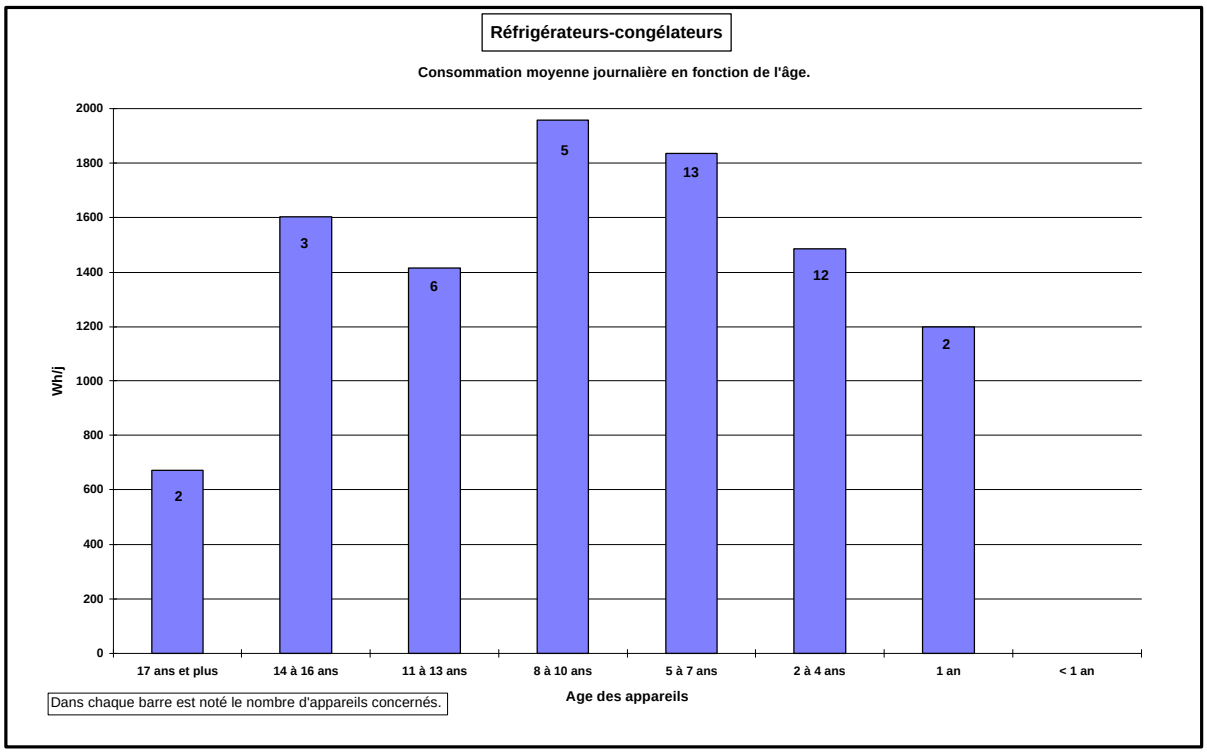


Figure 4.23 : consommation moyenne journalière des réfrigérateurs-congélateurs par classe d'âge.

Selon ce graphique, les appareils les plus consommateurs ne seraient pas les plus vieux mais ceux qui ont 8 à 10 ans. La figure 4.24 montre que ce n'est pas l'évolution du volume moyen des appareils qui peut expliquer ce phénomène, si bien qu'on en est ramené à affirmer,

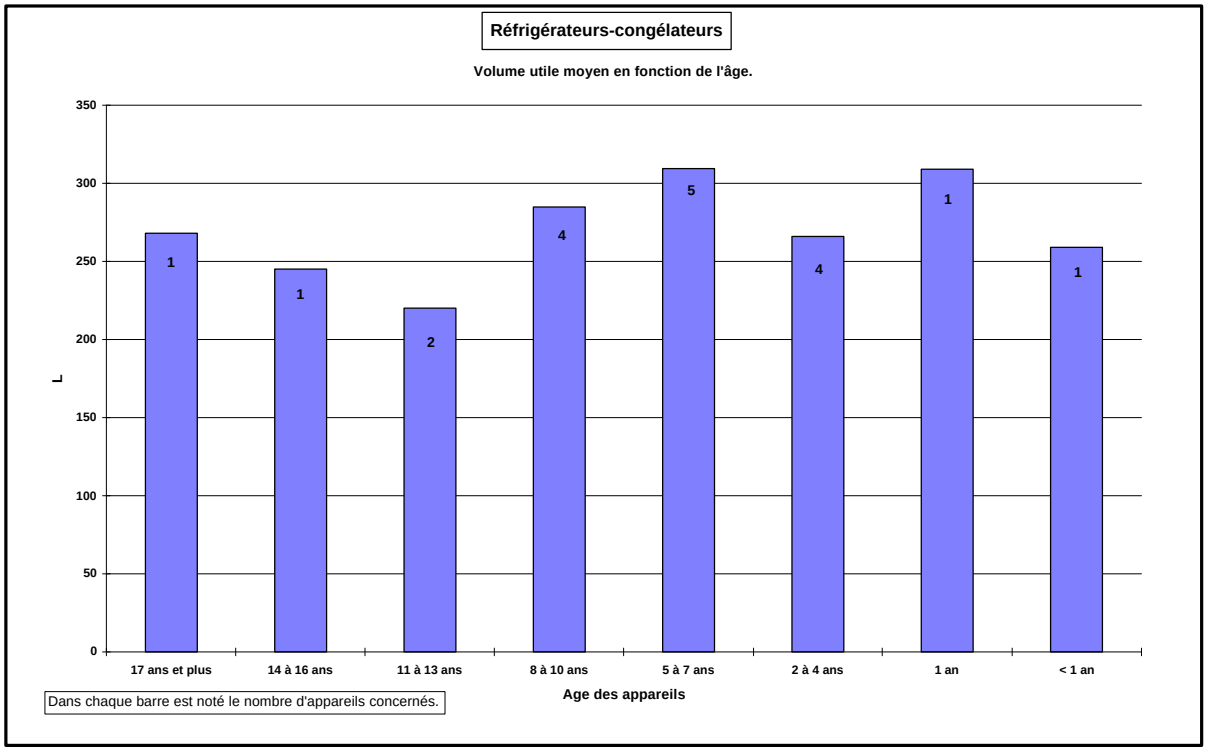


Figure 4.24 : volume utile moyen des réfrigérateurs-congélateurs par classe d'âge.

comme pour les réfrigérateurs, que le lien entre l'âge des appareils et leur niveau de consommation n'est pas des plus évidents.

Si l'on accorde une valeur à la notion de classe énergétique mesurée, alors la figure 4.25 semble vraiment confirmer que les appareils les plus vieux ne sont vraiment pas les plus mauvais. Cette figure représente la classe énergétique mesurée moyenne par tranche d'âge pour les réfrigérateurs-congélateurs de notre échantillon.

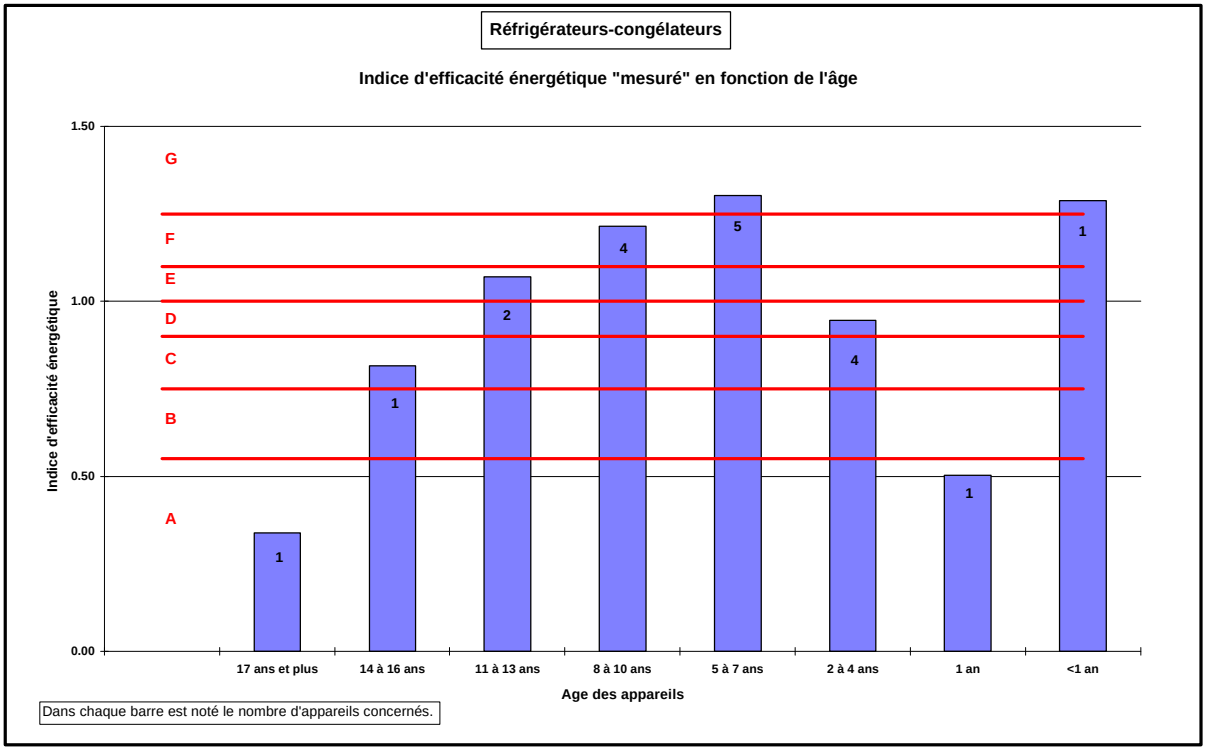


Figure 4.25 : indice d'efficacité énergétique "mesuré" des réfrigérateurs-congélateurs par classe d'âge.

En conclusion, l'étude qui n'a pu malheureusement être menée que sur les réfrigérateurs-congélateurs dont l'ensemble des données étaient disponibles, tend à montrer de façon certaine (en tous cas pour les éléments de l'échantillon) que **la consommation des appareils n'est pas liée à leur âge, à moins que la qualité même de la production industrielle ait elle même fortement varié dans les vingt dernières années et qu'il s'avère, par exemple, que les matériels produits il y a quinze ou vingt ans étaient plus économes en énergie que ceux produits il y a dix ans.**

4-2-8 Consommation mesurée en fonction du volume ajusté

La figure 4.26 représente l'évolution de la consommation des réfrigérateurs-congélateurs en fonction du volume ajusté. Le coefficient d'ajustement adopté pour le volume de congélation est celui de la norme (2,15). Mais toutes les observations faites au § 4.2.6 sur le volume ajusté réel et la nécessité de le calculer en tenant compte des niveaux de température effectifs restent pertinentes. Faute de connaître ces différentes températures la correction n'a pu être faite et le volume ajusté utilisé correspond au volume normalisé.

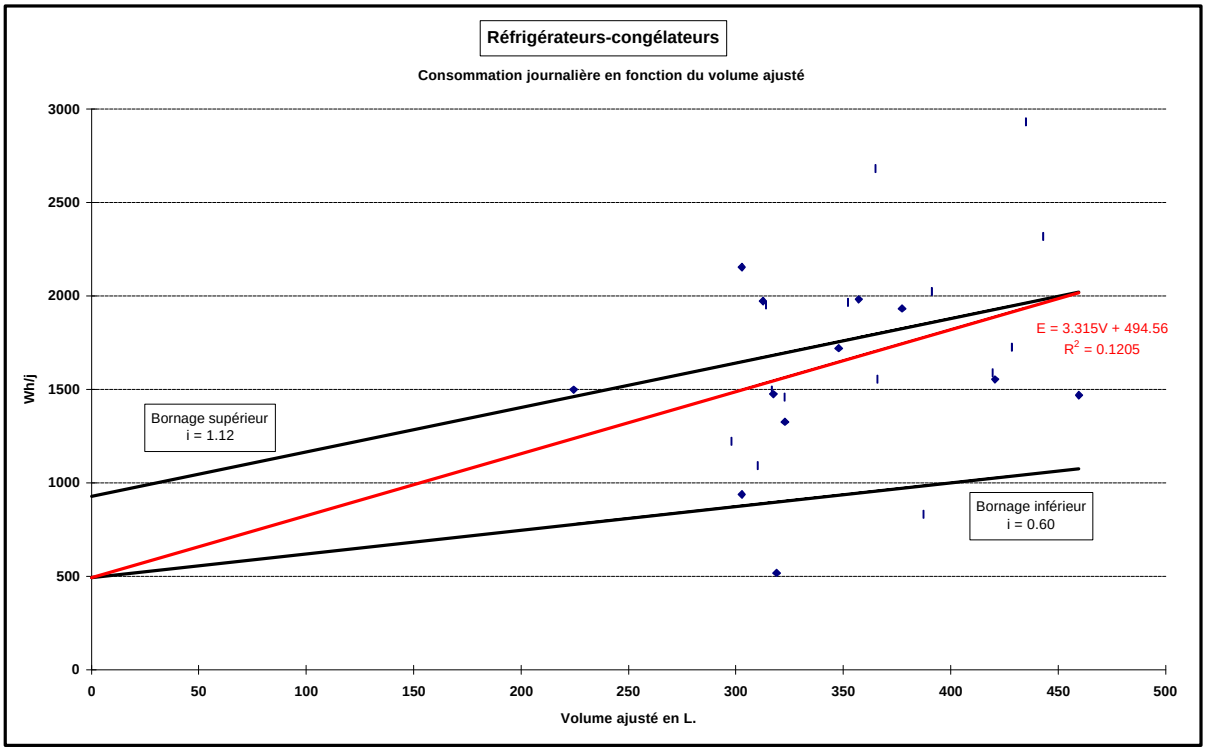


Figure 4.26 : consommation moyenne journalière en fonction du volume utile des réfrigérateurs-congélateurs.

On observe une plage de consommation très étendue. La droite de régression linéaire représentative du nuage de points ne présente pas un très bon coefficient de corrélation. Mais si on cherche néanmoins à l'encadrer, comme pour les réfrigérateurs, par deux droites de consommation normalisée, on trouve qu'elle serait caractérisée par une valeur de l'indice d'efficacité énergétique comprise entre 0,60 et 1,12. Cette fourchette est trop large pour présenter un quelconque intérêt, sauf à conclure que globalement, on a la certitude que l'échantillon ne se situe pas au-delà de la limite entre la classe E et la classe F...

4-2-9 Consommation de veille des réfrigérateurs-congélateurs

En fonction de leur conception il est fréquent d'observer sur les réfrigérateurs-congélateurs (attention : les appareils « no frost » à froid ventilé ne font pas partie de l'analyse qui suit) une consommation plus ou moins permanente, compresseur arrêté, de 10 à 30 W. Cette consommation a au moins deux origines.

Il peut d'abord s'agir d'une résistance placée dans la paroi supérieure du compartiment congélateur (celui-ci est toujours au-dessus). En effet cette paroi, souvent assez froide, est en contact avec l'air ambiant. Il arrive donc qu'elle soit le siège de condensations. Le rôle de la résistance est de réchauffer sa face externe afin d'éviter ces condensations. Ce faisant, on augmente également la consommation du compresseur...Pourquoi ne pas avoir augmenté l'épaisseur d'isolant à cet endroit? On aurait obtenu le même résultat en réduisant de surcroît la consommation d'énergie.

Mais la présence d'un puisage permanent de 10 à 30 W peut aussi être due à l'alimentation d'une résistance de compensation rendue nécessaire par l'existence d'un seul

compresseur et de deux niveaux de froid différents. Cette résistance est destinée à relever la température dans le réfrigérateur, afin d'obliger le compresseur à se mettre en route pour maintenir la température nécessaire dans le compartiment congélateur. Elle ne fonctionne qu'à l'arrêt du compresseur, jamais en même temps que lui. On peut dire qu'il s'agit d'une « perversion » technique rendue nécessaire par la conception de l'appareil, car tous les matériels de ce type ne sont pas munis d'une résistance de compensation.

Sur l'ensemble des appareils à deux portes étudiés, 37,0 % comportent une veille. Mais il n'y en a que 33,3 % pour lesquels cette veille est pratiquement permanente, c'est à dire que l'appareil est soit en marche soit en veille, mais jamais à l'arrêt. Pour les 4 % d'appareils qui sont soit en veille soit à l'arrêt, la seule explication plausible serait celle d'une résistance régulée par tout ou rien.

Remarque préliminaire : l'étude des veilles qui suit n'a pas pu distinguer quelle était l'origine de la veille, une résistance compensatrice dans le réfrigérateur ou une résistance chauffante dans la paroi du congélateur. Or cette distinction aurait été intéressante, car dans le premier cas la consommation de veille n'a lieu que lorsque le compresseur est arrêté, alors que dans le second cas elle est permanente. Ceci change considérablement sa part dans la consommation totale de l'appareil. A défaut de savoir, nous avons adopté la situation la plus pénalisante en supposant que toutes les veilles étaient du type résistance de compensation à fonctionnement intermittent. Il en résulte que tous les résultats qui suivent ne peuvent qu'être en dessous de la réalité, et les consommations de veille sont probablement supérieures à ce que nous avons établi.

L'étude des veilles suppose donc en préalable celle des périodes de marche et d'arrêt du compresseur. En moyenne, le taux de marche de celui-ci au cours d'une journée dépasse 66 %. Pour l'un des appareils, ce taux est même de 100 %. Seuls 14,8 % des appareils ont un taux inférieur à 50 %. La figure 4.27 représente la fréquence des différents états (marche/veille/arrêt) de chacun des réfrigérateurs-congélateurs de l'échantillon.

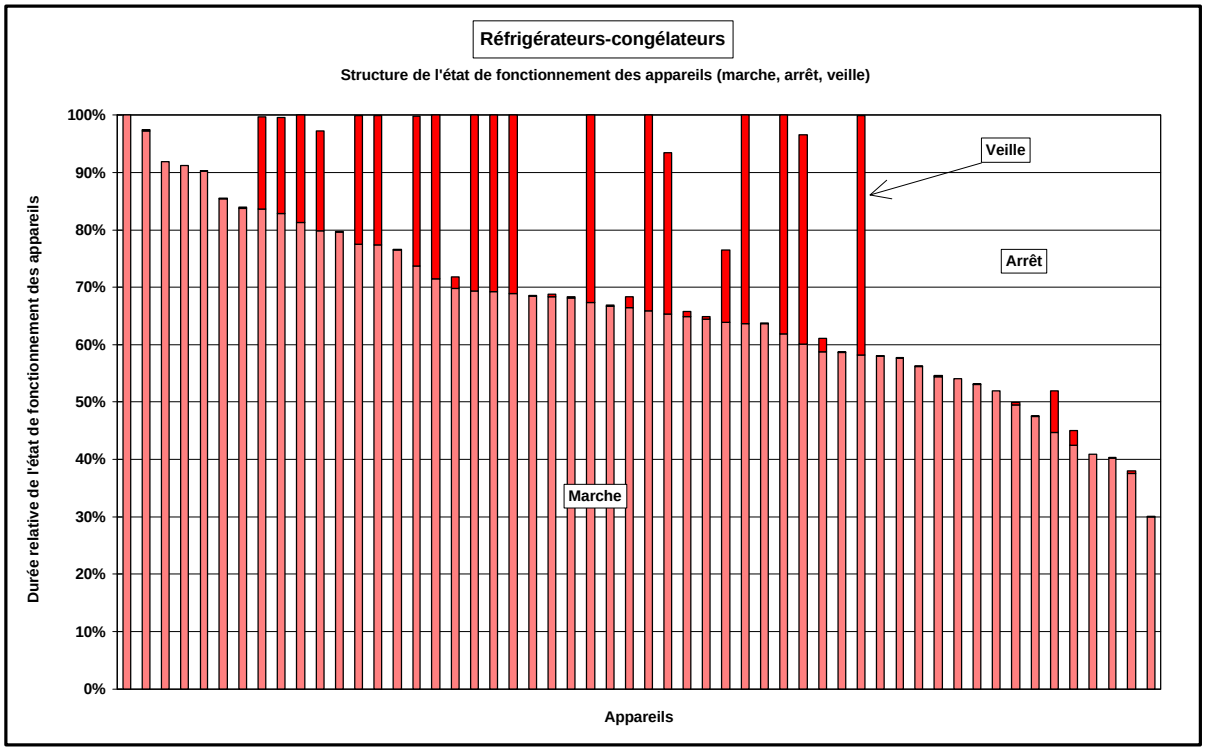


Fig. 4.27 : répartition de la durée des différents modes de fonctionnement pour les réfrigérateurs-congélateurs.

Il a semblé pertinent de définir le « **taux de veille** » d'un appareil de manière à ce que la durée de veille se réfère à la durée d'arrêt du compresseur :

Taux de veille = durée de veille / (durée d'arrêt du compresseur)

Le résultat de cette démarche apparaît sur le graphique de la figure 4.28.

La courbe du haut fournit le taux d'appareils dont le rapport de la durée de veille à la durée d'arrêt du compresseur (c'est-à-dire le taux de veille) est supérieur ou égal à la valeur en abscisse. Tous les appareils ont un taux de veille supérieur ou égal à zéro (100 % sur l'axe des ordonnées). Puis on rencontre une zone de transition dont l'origine est liée au principe de mesure de la puissance par le système Diace. Lorsque le taux de veille atteint 10 %, le taux d'appareils possédant une veille continue se stabilise, il vaut alors environ 37 %, puis il chute un peu pour se fixer à 33 %. Cette valeur correspond au pourcentage des appareils de l'échantillon possédant une veille quasi permanente, le taux de 37 % correspondant aux appareils dont certains possèdent une veille temporaire. Enfin, lorsqu'on approche un taux de veille de 100 % il ne reste plus que 14 appareils concernés, soit 26 % de l'échantillon.

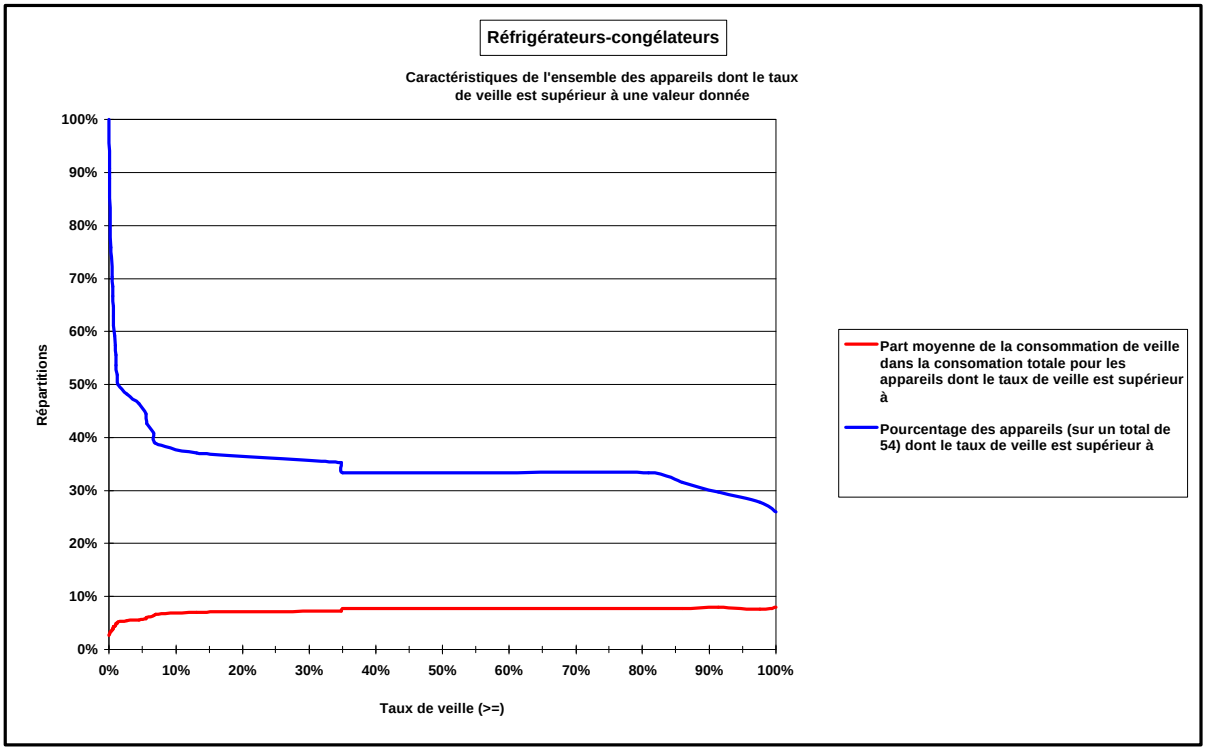


Fig 4.28 : caractéristiques de l'ensemble des réfrigérateurs-congélateurs dont le taux de veille est supérieur à une valeur donnée.

La deuxième courbe de la figure 4.28 représente le rapport moyen de la consommation de veille à la consommation totale de l'ensemble des appareils dont le « taux de veille » est supérieur à la valeur en abscisse. **On voit que pour les appareils en veille permanente celle-ci n'absorbe guère plus de 8 % de la consommation totale (c'est le cas pour 33,3 % des appareils comme il a été dit précédemment).** Le taux le plus élevé pour un appareil est de 13,5 %.

Ces résultats sont intéressants à plusieurs titres. D'abord on peut se faire une idée de la consommation annuelle de ces résistances de compensation en se disant qu'elles représentent en moyenne, pour les appareils affectés de l'échantillon, 55 kWh/an, soit à elles seules près de la moitié de la consommation annuelle d'un réfrigérateur de classe A de 200 litres! Il y a d'ailleurs une grande dispersion des consommations, puisque **pour les dix huit appareils concernés, la consommation de la résistance de compensation varie de 22 à 124 kWh/an**.

On doit aussi s'interroger sur la possibilité de faire évoluer cette technologie à base de résistance de compensation, voire de la supprimer puisque la majorité des appareils ne l'utilise pas. Mais il semble, si l'on respecte les termes de la norme et les températures imposées, qu'il s'agisse d'un délicat problème d'équilibrage entre les deux compartiments. **L'enjeu est important car l'apport de chaleur de la résistance est là pour compenser une trop grande quantité de froid produite en amont : l'économie d'énergie potentielle est donc double**.

4 - 3 LES CONGELATEURS

4-3-1 Caractéristiques de l'échantillon

Le nombre de congélateurs instrumentés est de 39 et la durée moyenne du suivi de 25,4 jours. La distinction a été apportée entre congélateurs coffres (21 éléments suivis) et congélateurs armoires (18 éléments suivis), mais dans bien des analyses qui vont suivre cette différence n'a pas été conservée afin d'améliorer la taille de l'échantillon étudié.

La figure 4.29 représente l'histogramme des âges de cet échantillon comparé aux statistiques nationales de l'INSEE.

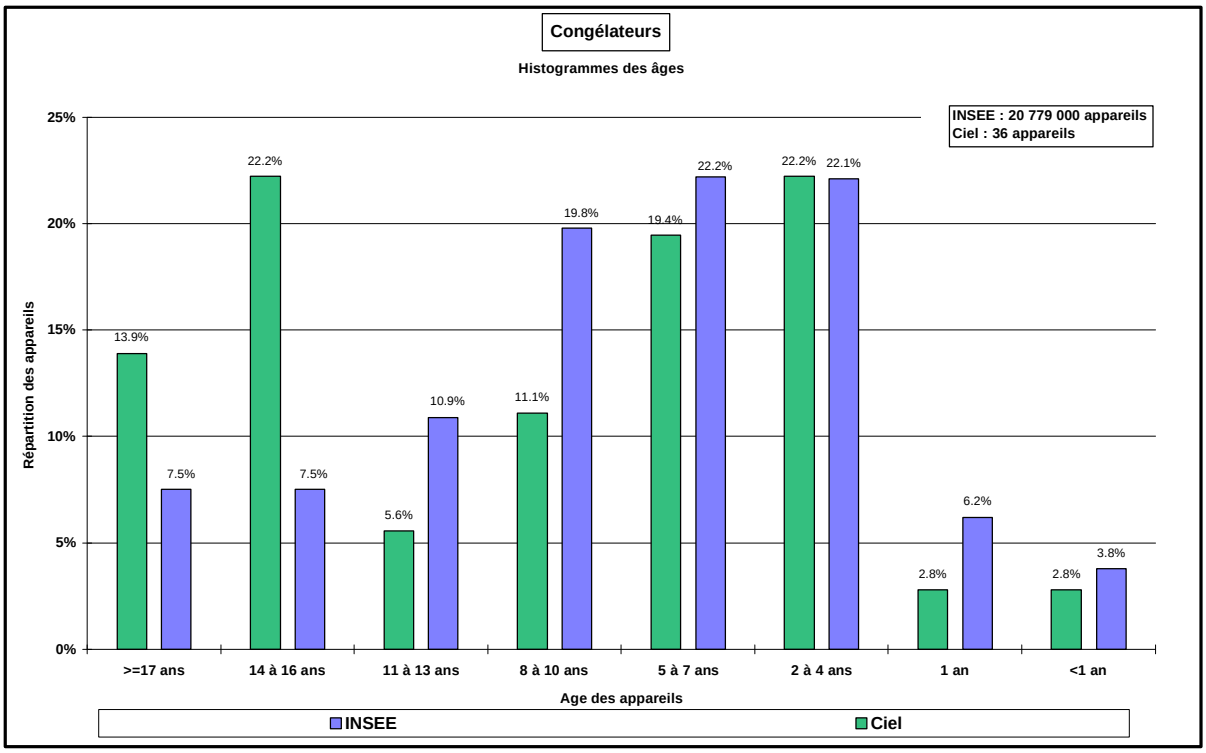


Fig 4.29 : histogramme comparé de l'âge des congélateurs (avec INSEE)

Dans toutes les tranches d'âge jusqu'à 13 ans l'échantillon étudié est moins bien représenté que le parc national, alors qu'après il l'est toujours mieux. Les appareils étudiés sont donc en moyenne plus âgés que les congélateurs du parc français.

4-3-2 Nature des besoins électriques

La figure 4.30 représente les courbes d'appel de puissance de deux congélateurs particuliers. Le premier (à gauche) se met en marche 17 fois par jour (soit toutes les heures et demies), mais la durée de fonctionnement est très courte, de l'ordre de vingt minutes, et il reste à l'arrêt plus d'une heure. Il s'agit là d'un appareil assez performant et consommant peu d'énergie.

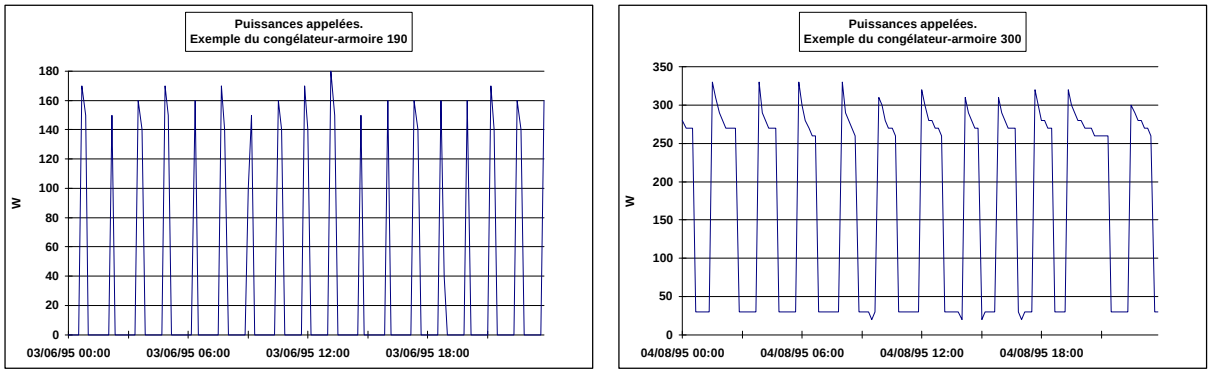


Figure 4.30 : appel de puissance comparé d'un bon (à gauche) et d'un mauvais (à droite)congélateur.

En revanche à droite, le congélateur étudié ne démarre que toutes les deux heures, mais en moyenne sa durée de fonctionnement est d'une heure et quart, et l'arrêt d'environ trois quarts d'heure. Cet appareil n'est pas de très bonne qualité. On remarque aussi l'existence d'une consommation permanente résiduelle lorsque le compresseur est arrêté, preuve encore d'une mauvaise conception qui n'affecte pas le premier appareil. Notons le niveau de puissance élevé du compresseur : 330 W alors que le premier congélateur n'appelle que 170 W. Enfin l'allure de la puissance après le démarrage est aussi intéressante : de 330 W elle se stabilise toujours vers 260 W après environ 40 minutes de fonctionnement. Ceci est une singularité que l'on ne rencontre pas sur les autres appareils et pour laquelle nous n'avons pas trouvé d'explication.

4-3-3 Histogramme des consommations

La figure 4.31 donne la distribution des consommations des congélateurs sans distinction de volume ni même de type (armoire, coffre). La consommation moyenne est de 1691 Wh/j (ou **617 kWh/an**), soit 66% de plus que pour les réfrigérateurs, et l'écart type de 966 Wh/j, ce qui atteste d'une très grande dispersion. La consommation médiane est de 1346 Wh/j (ou 491 kWh/an). La plage des consommations est de 1 à 6 comme pour les réfrigérateurs. La distribution est asymétrique avec un maximum pour la classe de consommation centrée sur 1100 Wh/j.

A titre purement indicatif la consommation moyenne des congélateurs coffres, tous volumes confondus, est de 1908 Wh/j (soit **696 kWh/an**), et leur volume net moyen de 247 litres, ce qui fait une consommation spécifique de 2,96 kWh/litre/an, alors que pour les congélateurs armoires la consommation est de 1438 Wh/j (soit **525 kWh/an**), le volume net moyen de 180 litres et la consommation spécifique de 3,20 kWh/litre/an.

L'étude portugaise du ***CCE*** a mesuré une consommation annuelle moyenne de 729 kWh pour les congélateurs, 18.2 % de plus que dans Ciel. Comme pour les réfrigérateurs-congélateurs nos mesures conduisent à des valeurs toujours inférieures que peut expliquer le niveau de température extérieure, notamment en été. Mais les paramètres de l'échantillon (notamment la taille des appareils) doivent être analysés.

Toujours en référence à l'étude suédoise de ***Nutek***, la consommation moyenne des congélateurs y est égale à 1048 kWh/an, soit 50% de plus que dans notre échantillon. La consommation spécifique est de 3,41 kWh/litre/an soit 11% de plus que dans Ciel, alors même que le volume moyen des appareils est de 305 l en Suède contre 247 l dans l'opération Ciel. Que la consommation spécifique soit plus élevée pour les congélateurs suédois (alors qu'elle

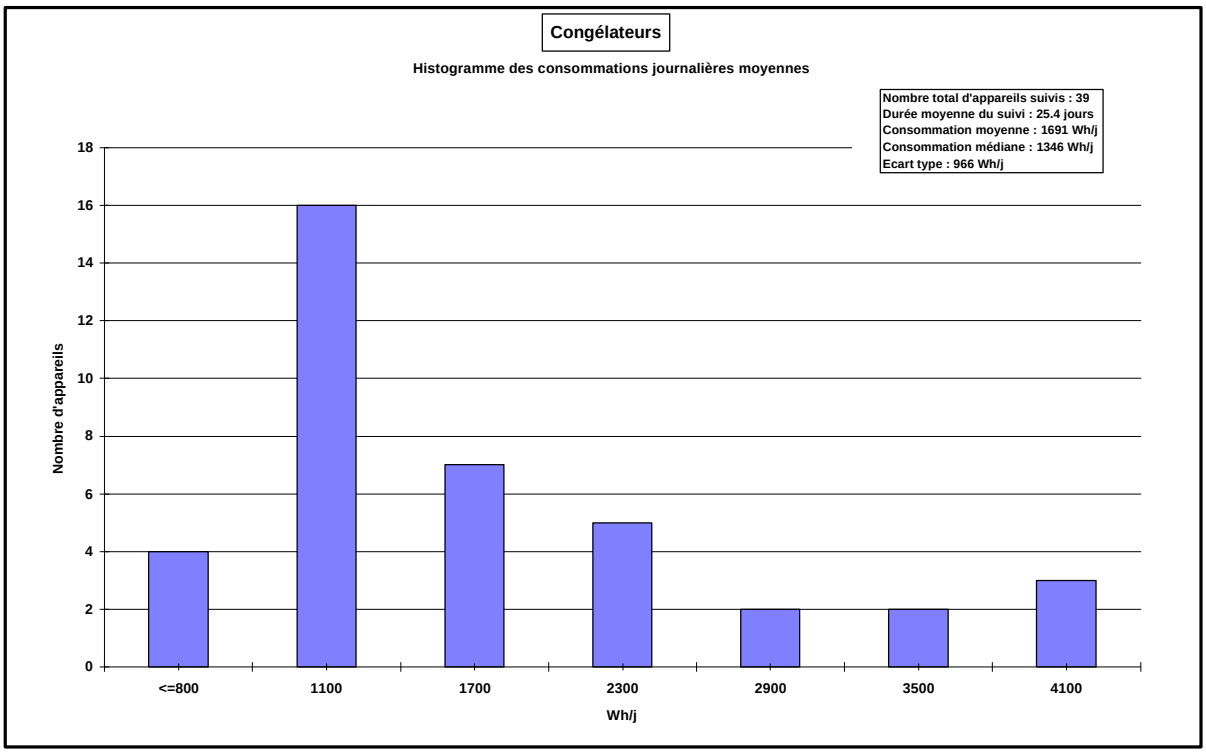


Figure 4.31 : histogramme des consommations journalières moyennes des congélateurs.

était plus faible pour les réfrigérateurs) que pour les congélateurs de l'opération Ciel est étrange. Il y a deux explications qui peuvent être avancées.

D'abord, la température en hiver dans les logements suédois est plus élevée qu'en France. Au demeurant, pour maintenir -18°C à l'intérieur d'un appareil avec une température ambiante de 23°C il faut 10,8% d'énergie de plus que pour le faire à partir d'une température ambiante de 19°C...C'est la première explication

Mais il y a peut-être une explication majeure. L'enquête suédoise souligne que 87% des appareils sont à l'intérieur du volume chauffé, contre 34,2 % dans notre étude, le reste des appareils étant placés dans des locaux non chauffés (comme des garages) qui sont souvent plus proches de la température extérieure que de la température intérieure. Ceci explique sans doute cet écart des consommations spécifiques. On reviendra au § 4.3.5 sur l'influence énergétique de cette situation.

4-3-4 Courbe de charge horaire moyenne

La fig. 4.32 représente la consommation horaire moyenne au cours d'une journée pour les congélateurs coffres d'une part (graphique de gauche) et pour les congélateurs armoires (graphique de droite) d'autre part.

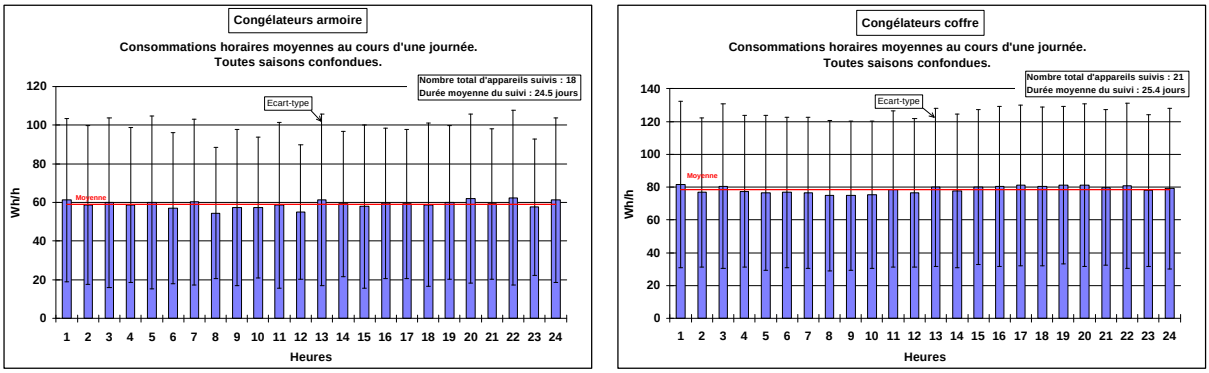


Figure 4.32 : consommation horaire moyenne des congélateurs au cours d'une journée.

Par comparaison avec les réfrigérateurs et les réfrigérateurs-congélateurs, on constate que la consommation horaire des congélateurs varie très peu autour de la valeur moyenne, quel que soit le type de congélateurs. L'explication tient évidemment dans le fait que ces appareils sont très peu souvent ouverts et que leur niveau d'isolation est supérieur à celui des réfrigérateurs, ce qui les rend moins sensibles aux variations de la température ambiante entre le jour et la nuit.

On peut aussi retenir que, dans l'échantillon étudié, la puissance moyenne appelée « en continu » est de 79 W pour un congélateur coffre et de 59 W pour un congélateur armoire.

4-3-5 Variation de la consommation en fonction des saisons

La figure 4.33 représente, pour deux congélateurs particuliers, la variation de la consommation journalière au cours de la période de mesure.

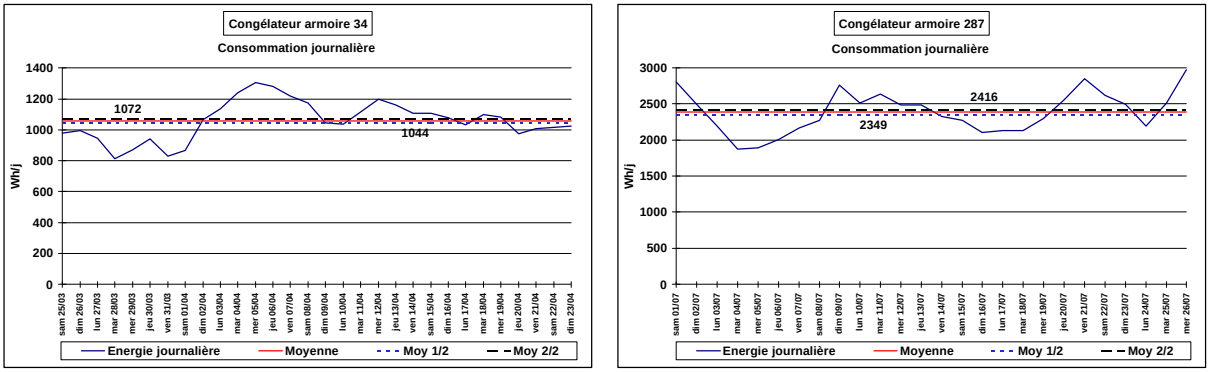


Figure 4.33 : évolution de la consommation journalière de deux congélateurs armoire particuliers.

On constate d'importantes variations de la consommation qui peuvent atteindre 60%. Si ces variations étaient ponctuelles et brutales on pourrait les attribuer à l'introduction d'une masse importante d'aliments à congeler. Mais ces variations sont continues et s'étendent sur

plusieurs jours. Elles ne sont donc vraisemblablement dues qu'à des modifications de la température ambiante. Ceci est très compréhensible en été puisqu'il n'y a plus de régulation de la température par le chauffage. Mais en mi-saison (graphique de gauche) c'est un peu surprenant.

L'hypothèse d'une influence marquée des saisons sur la consommation des congélateurs est totalement confirmée par la figure 4.34 qui fournit la consommation journalière comparée des congélateurs coffre en fonction de la période de l'année pendant laquelle ont été effectuées les mesures.

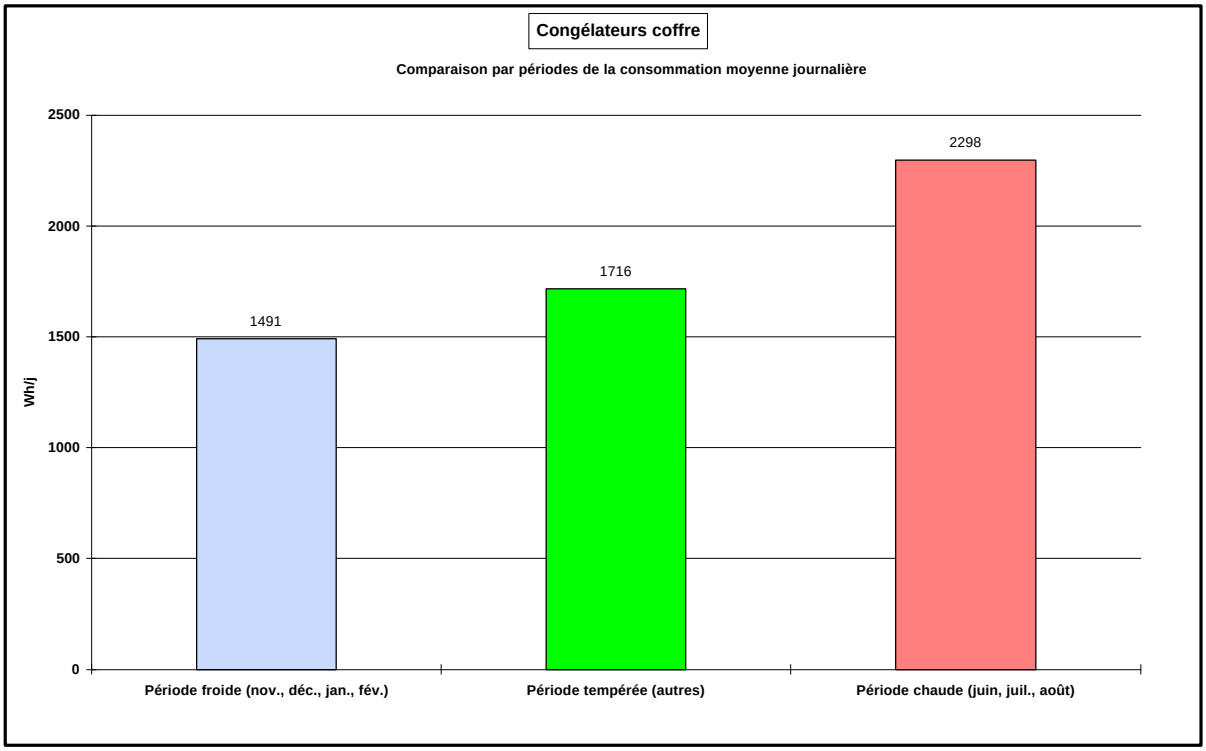


Figure 4.34 : comparaison par périodes des consommations moyennes journalières pour les congélateurs coffre.

L'augmentation de consommation entre l'été et l'hiver est de 54%, contre 15% entre mi-saison et hiver. Mais il est surprenant de constater sur la figure 4.35 que, pour les congélateurs armoires, cette augmentation est de 93% entre été et hiver, et de 6% entre mi-saison et hiver.

Plus encore que pour les réfrigérateurs ou les réfrigérateurs-congélateurs, le phénomène saisonnier affecte donc de façon considérable la consommation d'énergie des congélateurs, puisque celle-ci peut pratiquement doubler entre l'hiver et l'été. Il y a peut-être une explication à ce phénomène. En effet, à l'inverse des réfrigérateurs, les congélateurs sont très souvent placés dans des locaux non chauffés comme les garages ou les celliers. Or la

température de ceux-ci est très basse en hiver et *a contrario* assez élevée en été. Elle est en réalité assez proche de la température extérieure. Ceci a une double conséquence : d'une part les déperditions de chaleur sensible sont effectivement très augmentées (d'environ 50%), mais

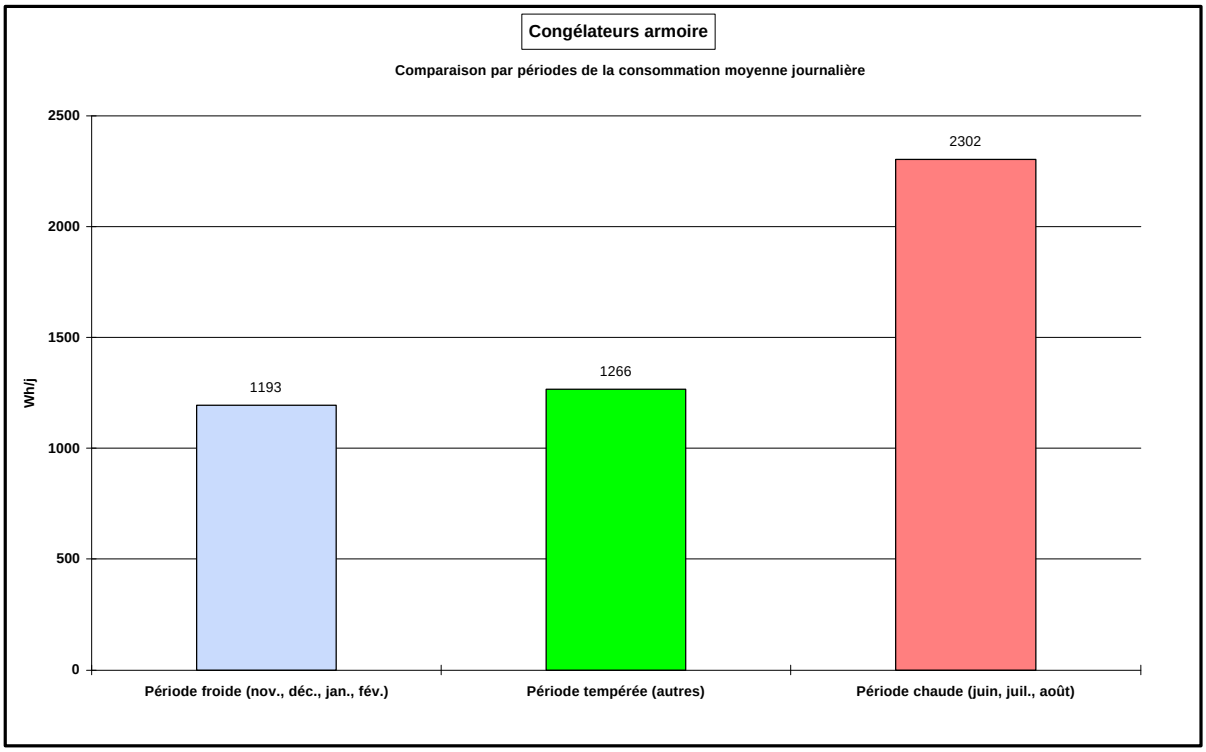


Figure 4.35 : comparaison par périodes des consommations moyennes journalières pour les congélateurs armoire.

la quantité de vapeur d'eau introduite à chaque ouverture de l'appareil est beaucoup plus importante en été qu'en hiver puisque par exemple de l'air à 25°C et 50% d'hygrométrie contient 12 g d'eau/m3 alors que de l'air à 5°C et 90% d'hygrométrie n'en contient que la moitié.

4-3-6 Consommation réelle/Consommation normalisée

Nous nous appuierons une nouvelle fois sur le concept de classe énergétique « mesurée » établie à partir de la consommation réellement observée chez les utilisateurs (au lieu de la consommation normalisée). La figure 4.36 compare la distribution en fonction de la classe d'efficacité énergétique des congélateurs de l'échantillon (classes mesurées) et de l'ensemble des congélateurs vendus en France entre mai et août 1993 (valeurs normalisées).

Il apparaît que 40,7 % des appareils suivis sont de classes énergétiques mesurées A, B, C ou D, contre seulement 30,8 % pour les appareils récemment vendus, et que 59,3 % des appareils de notre échantillon sont en classes E, F ou G contre 69,2 % des ventes de

congélateurs. On constate à nouveau que la classe G joue un rôle particulier puisqu'elle regroupe 37,5 % des appareils de notre échantillon et seulement 24,6 % des appareils vendus.

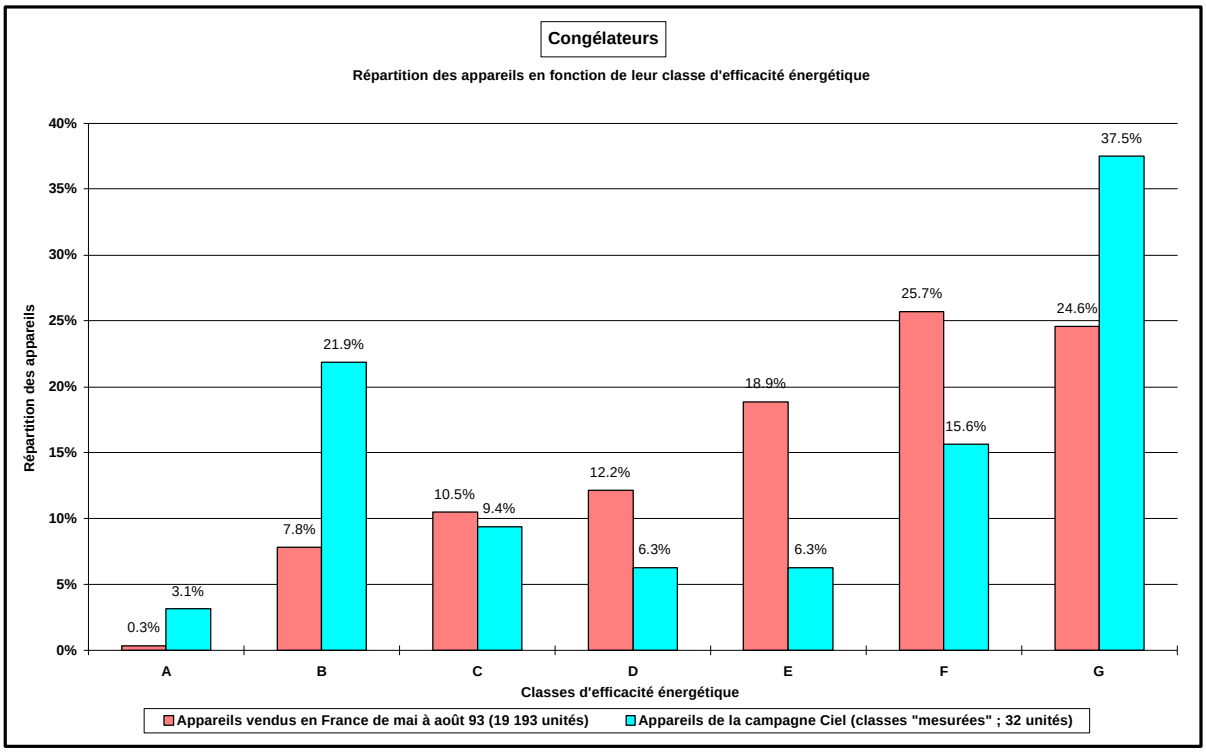


Figure 4.36 : comparaison des classes d'efficacité énergétique des appareils français avec celles "mesurées" sur les appareils de la campagne Ciel

Si l'on considère que les matériels vendus aujourd'hui ne sont pas de moins bonne qualité que ceux vendus par le passé (sans être pour autant forcément meilleurs), alors on peut conclure des observations qui précèdent qu'en moyenne la consommation réelle des congélateurs est toujours inférieure à la consommation normalisée, même si ponctuellement pour certains appareils situés en classe G un doute ne peut être levé. Cette explication serait très plausible à la lumière de ce qui a été dit précédemment sur la situation des congélateurs majoritairement placés dans des locaux non chauffés et se trouvant donc dans des conditions d'exploitation beaucoup plus favorables que celles de la norme. Il faut rappeler que celle-ci impose une température ambiante de +25°C et une hygrométrie située entre 45 et 75%.

En revanche, si l'on admet que la qualité énergétique des matériels récents est moins bonne que celle des matériels anciens, alors il n'est plus possible de conclure quoi que ce soit des observations précédentes. Cette question est abordée dans le § suivant où il sera montré sans ambiguïté que plus les congélateurs sont âgés plus leur consommation augmente, soit à cause d'une moindre qualité d'origine, soit à cause d'une dégradation dans le temps des performances initiales.

On peut donc conclure que sur les appareils observés dans notre échantillon, la consommation réelle des congélateurs est en moyenne toujours inférieure à la consommation normalisée.

4-3-7 Evolution de la consommation en fonction de l'âge des appareils

Il faut d'abord examiner (voir figure 4.37), l'évolution du volume des congélateurs de l'échantillon en fonction de leur âge. Il n'apparaît pas de tendance très claire. Peut-être est-il possible de conclure, en regroupant les appareils de plus de 10 ans et les appareils de moins de 10 ans, que le volume de ces derniers est en diminution de 43 l en moyenne par rapport à l'ensemble des premiers (on passe de 240 l moyen à 197 l moyen) correspondant à une baisse de 18%.

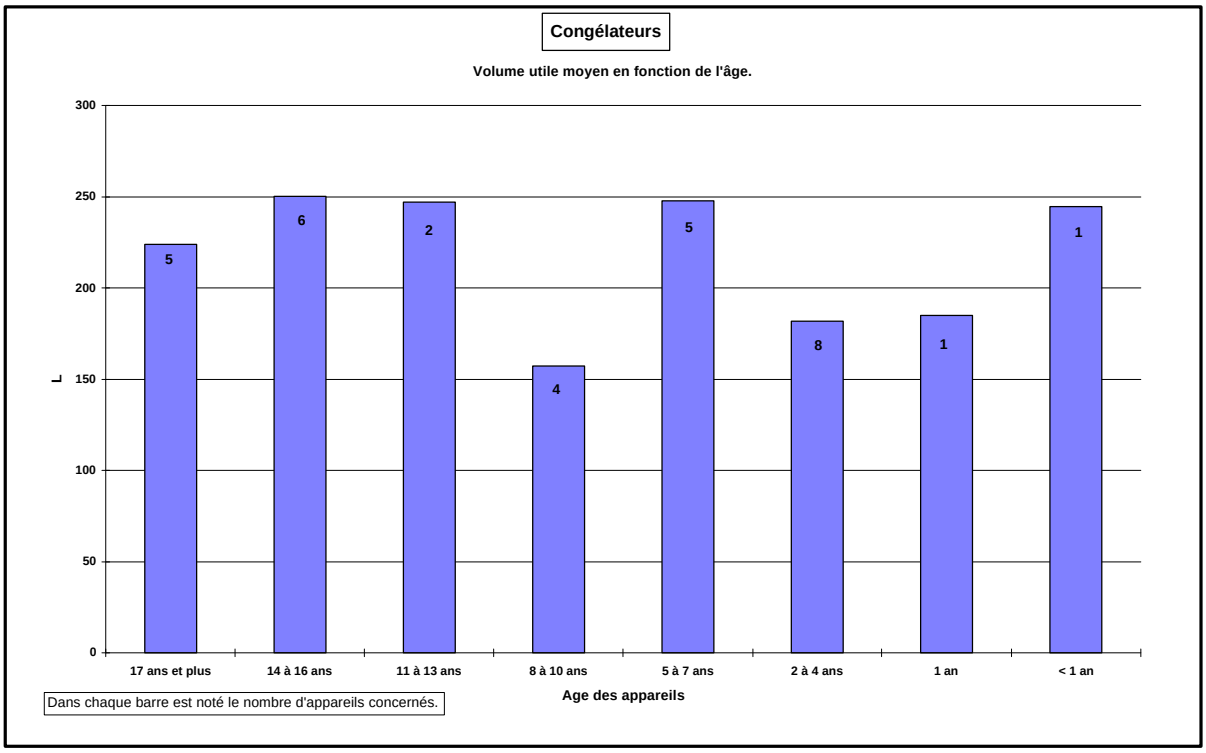


Figure 4.37 : volume utile moyen des congélateurs- par classe d'âge.

La figure 4.38 représente l'évolution de la consommation d'énergie des congélateurs en fonction de leur âge.

On constate une réelle diminution de consommation des appareils les plus récents que la réduction de volume évoquée précédemment ne peut expliquer que très partiellement.

Autant il n'était pas possible de dégager une tendance nette pour les réfrigérateurs et les réfrigérateurs-congélateurs, autant la figure 4.38 laisse apparaître deux possibilités :

✓on peut conclure que les appareils ont connu des améliorations technologiques jusque vers 1985/86, après quoi le niveau de performances s'est stabilisé et n'a pas du tout évolué, en tous cas pour les appareils de l'échantillon,

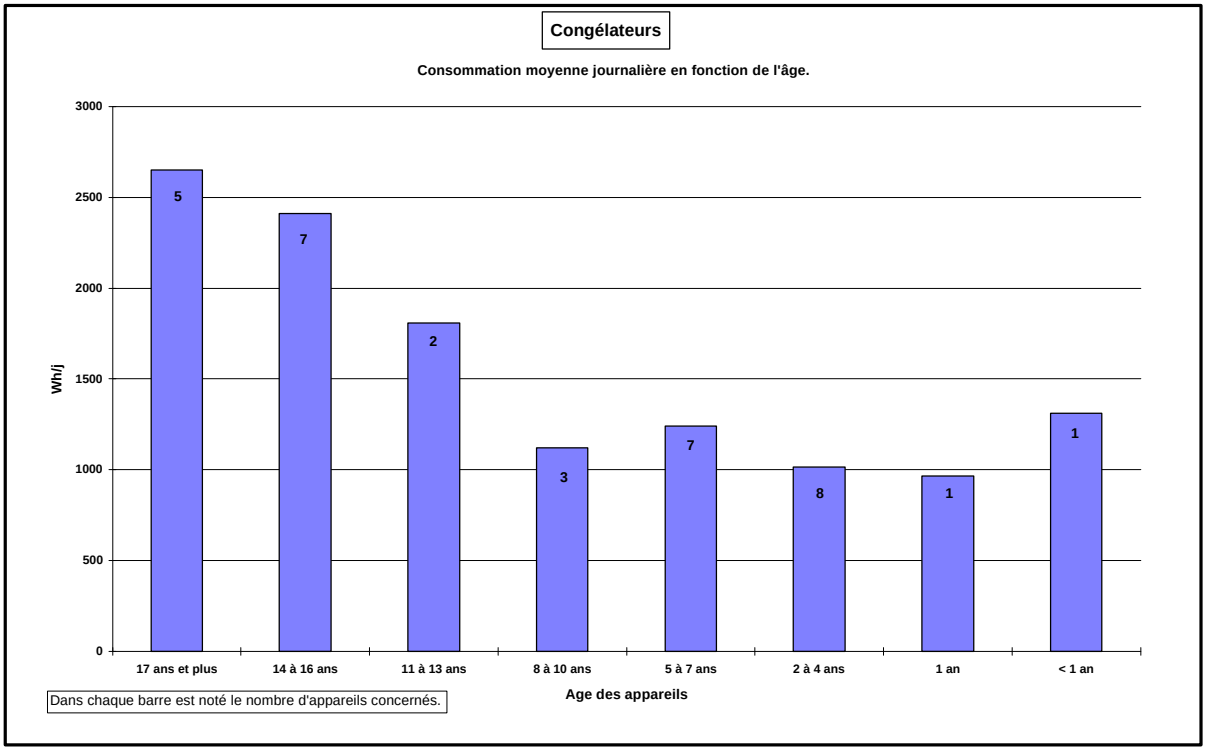


Figure 4.38 : consommation moyenne journalière des congélateurs par classe d'âge.

✓on peut aussi conclure que la qualité des appareils se maintient en moyenne pendant une dizaine d'années, puis qu'après ce délai elle se dégrade. Ce peut être le rendement du compresseur qui chute du fait de l'usure, où l'isolant qui se dégrade (sublimation des mousses ?), ou le joint qui n'est plus étanche, etc.

Ces deux hypothèses ne sont satisfaisantes ni l'une ni l'autre.

L'inconvénient majeur de la figure 4.38 est de ne pas tenir compte du volume des appareils. Si on recourt à la notion de classes énergétiques « mesurées », on peut exprimer celles-ci en fonction de l'âge des appareils, comme le fait la figure 4.39.

On constate cette fois une tendance très nette signifiant soit que les utilisateurs d'appareils récents les utilisent dans des conditions plus favorables que ceux possédant des appareils anciens (locaux à basse température, etc.), ce qui est tout de même fort peu probable, soit que **la qualité effective des congélateurs se dégrade avec l'âge**. Cette dégradation constatée peut être indifféremment le fait d'une amélioration de la qualité ces dernières années, ou celui d'une dégradation régulière des performances, ou plus probablement encore une combinaison de ces deux hypothèses.

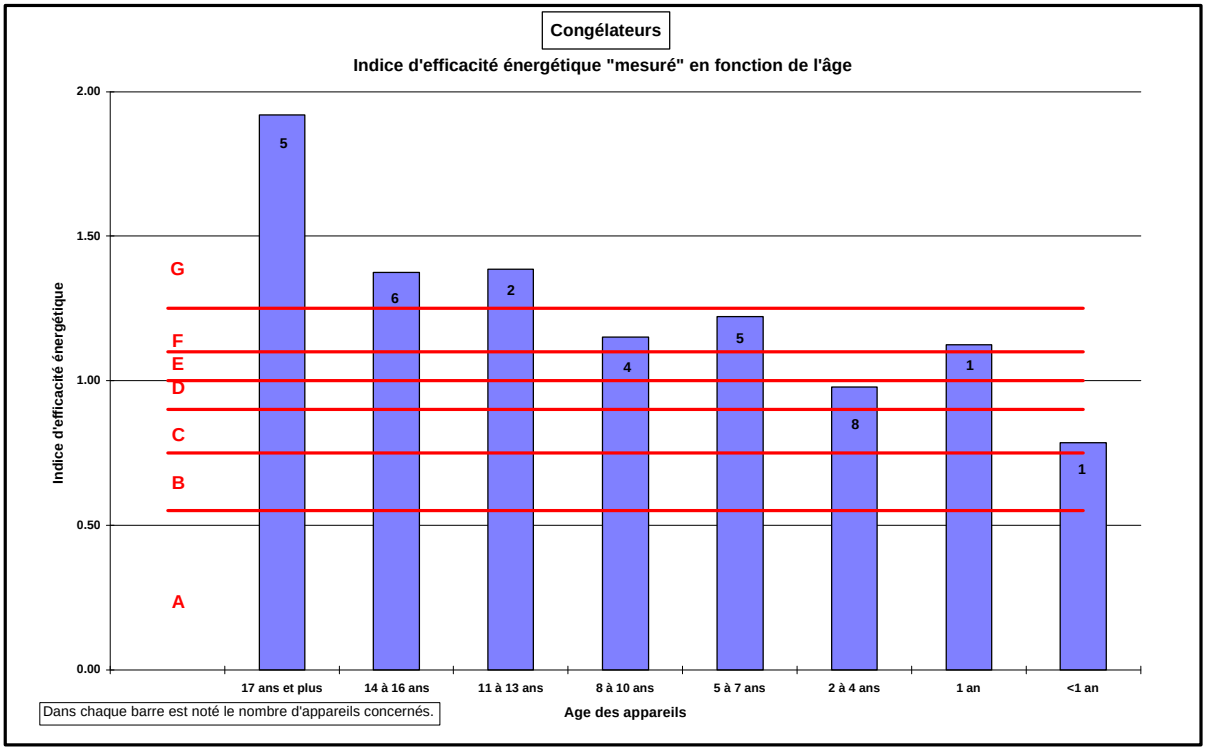


Figure 4.39 : indice d'efficacité énergétique "mesuré" des congélateurs par classe d'âge.

Quoi qu'il en soit, on peut conclure de manière certaine que pour les appareils de l'échantillon étudié, la consommation spécifique est d'autant plus élevée que l'appareil est âgé.

4-3-8 Consommation de veille des congélateurs

Seuls trois congélateurs (soit 8 % de l'échantillon) ont présenté des consommations permanentes en dehors du fonctionnement du compresseur. Ces consommations, assimilables à une veille, se manifestent sous forme de puissances de 20 à 40 W. On n'a jamais observé d'arrêt sur ces appareils : ils sont soit en marche, soit en « veille ». Deux des appareils étaient des congélateurs armoire et un était un congélateur coffre.

L'explication du phénomène observé semble être la suivante : sur quelques rares appareils de type « armoire », il existe encore une résistance chauffante en périphérie de la porte destinée à éviter qu'avec l'humidité il y ait formation de glace interdisant l'ouverture de cette porte. Mais en principe cette technique ne se justifie pas pour les « coffres » où le risque de gel est moins présent puisque l'ouverture se fait par le dessus.

La technologie utilisée aujourd'hui de façon courante pour assurer ce réchauffage périphérique consiste à dériver un tube du condenseur.

Les résistances de porte fonctionnent en principe 24h/24. D'après les mesures que nous avons faites, elles absorbent entre 0,46 et 0,81 kWh/j, la valeur moyenne étant de 0,66 kWh/j, ce qui correspond à 32 % de l'énergie consommée par l'appareil. Ce phénomène est donc

beaucoup plus important que celui des résistances de compensation dans les réfrigérateurs. Il absorbe près du tiers de la consommation d'énergie de l'appareil. Il ne faut pas non plus oublier, comme pour les réfrigérateurs, que cette résistance contribue à réchauffer l'intérieur de l'appareil, ce qui occasionne en retour une surconsommation de la production de froid.

Les résistances de porte semblent aujourd'hui en voie de disparition dans les matériels récents, et les fabricants ont depuis longtemps trouvé le moyen de les éviter. Ce que nous avons observé est probablement un vestige des techniques passées, bien que l'appareil le plus récent ne date que de 1990.

4 - 4 LES REFRIGERATEURS AMERICAINS

Il n'est difficile de tirer une conclusion sur les réfrigérateurs américains car seuls deux appareils ont été suivis. Nous bornerons donc à donner quelques résultats généraux permettant tout au plus de fixer des ordres de grandeurs et relever quelques problèmes spécifiques.

La consommation journalière moyenne de ces appareils est de 4494 Wh/j, soit 1640 kWh/an. Ceci est considérable et nécessiterait d'être confirmée par d'autres mesures. Mais les deux appareils ont des performances assez voisines puisque l'un absorbe 4301 Wh/j et l'autre 4687, et que de surcroît celui dont la consommation est la plus élevée a été suivi en été alors que l'autre l'a été en mi-saison, ce qui explique l'écart.

La puissance appelée est en moyenne de 250 W. Le compresseur fonctionne 18h/j. Les appareils suivis présentent deux niveaux de puissance appelée, comme le montre la figure 4.40 sur laquelle apparaît deux fois par jour un pic situé entre 800 et 1000 W. La durée de cet appel de puissance est supérieur à dix minutes. La fréquence observée est la même pour les deux appareils suivis : deux fois par jour pour l'un (toutes les douze heures), deux fois et demie pour l'autre(toutes les dix heures). Il s'agit du système de dégivrage automatique des évaporateurs, très caractéristique des réfrigérateurs américains. Relevons tout de même **qu'à cause de ce dispositif, les réfrigérateurs américains consomment alors en dix minutes 120 ou 130 Wh, soit le tiers de ce qu'un réfrigérateur actuel de classe A de 350 litres consomme en une journée**.

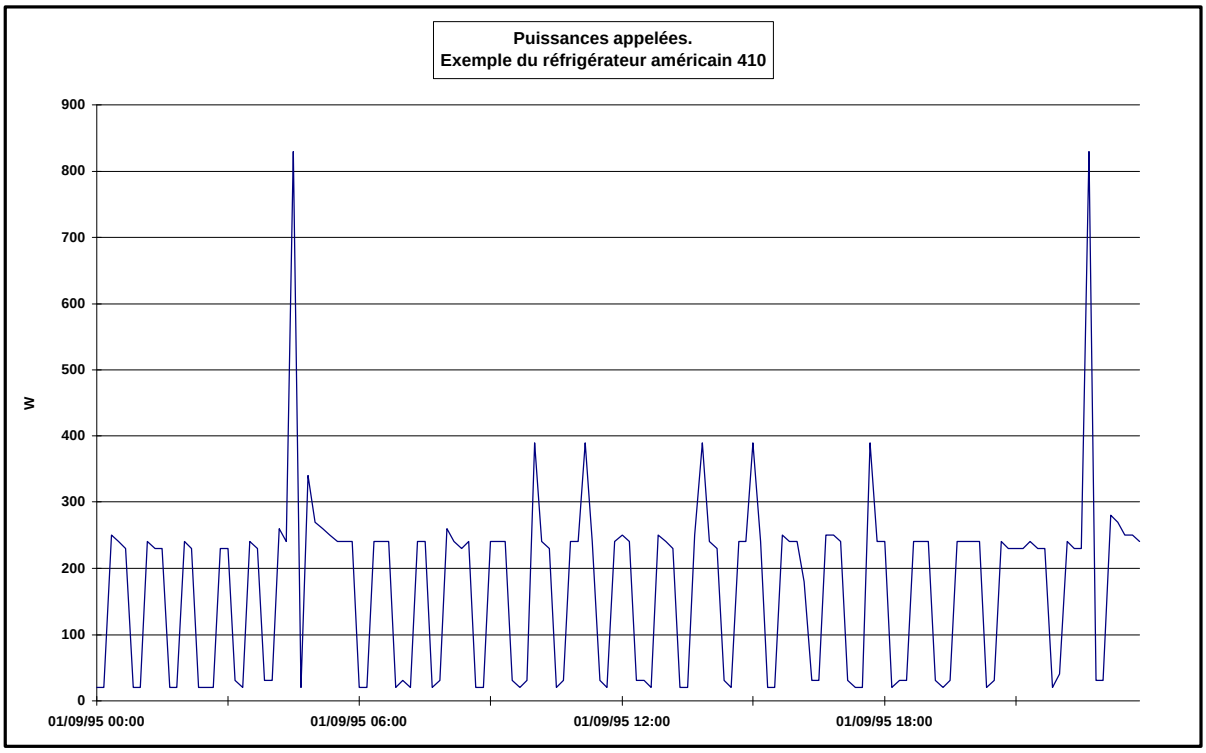


Figure 4.40 : appel de puissance pour un réfrigérateur américain au cours d'une journée.

On remarque aussi la présence d'une puissance de veille à l'arrêt de l'appareil, de l'ordre de 20 ou 30 W. Elle correspond vraisemblablement à une résistance de compensation, ou à une résistance chauffante de porte.

L'analyse de l'évolution de la consommation journalière tout au long de la période de mesures révèle, comme pour tous les autres appareils de production de froid déjà analysés, des variations de 60 % puisqu'on mesure par exemple aussi bien 3650 Wh/j que 5900 Wh/j 9 jours plus tôt.

4 - 5 LES APPAREILS DE FROID VENTILE (NO FROST)

Seul un appareil no-frost a été suivi. Les données collectées à son sujet sont partielles et devront faire l'objet d'un complément d'enquête. Les résultats de cet appareil ne seront donc pas évoqués.

CHAPITRE 5 : LINGE, VAISSELLE ET NETTOYAGE MENAGER

5 - 1 LES LAVE-LINGE

5-1-1 Caractéristiques de l'échantillon

Le nombre d'appareils suivis est de 80 et la durée moyenne du suivi de 25,1 jours.

La figure 5.1 représente l'histogramme des âges de cet échantillon comparé aux statistiques nationales de l'INSEE.

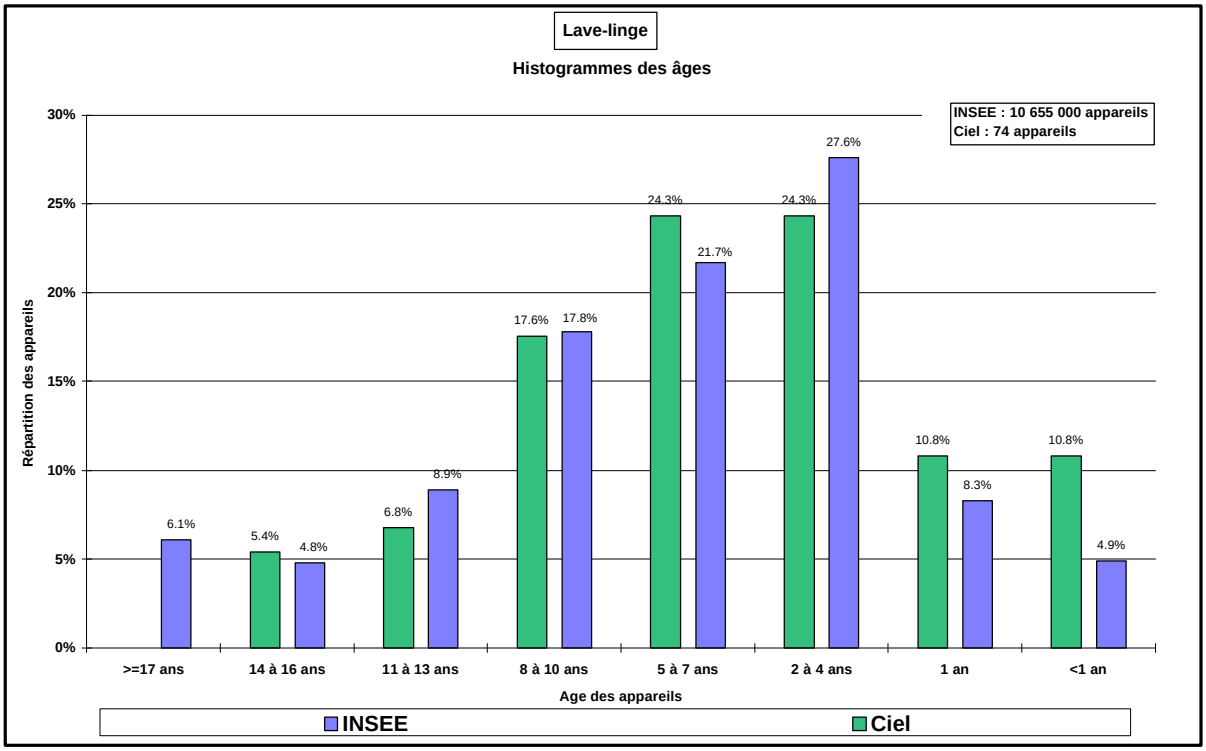


Fig 5.1 : histogramme comparé de l'âge des lave-linge (avec INSEE)

L'échantillon étudié apparaît très légèrement plus jeune que le parc national, surtout pour les appareils de un an et moins. Mais la concordance entre les différentes tranches d'âge est assez bien respectée.

5-1-2 Nature des besoins électriques

La figure 5.2 représente pour une même machine, la courbe des puissances appelées pour les trois principaux cycles (90°C, 60°C, 30/40°C).

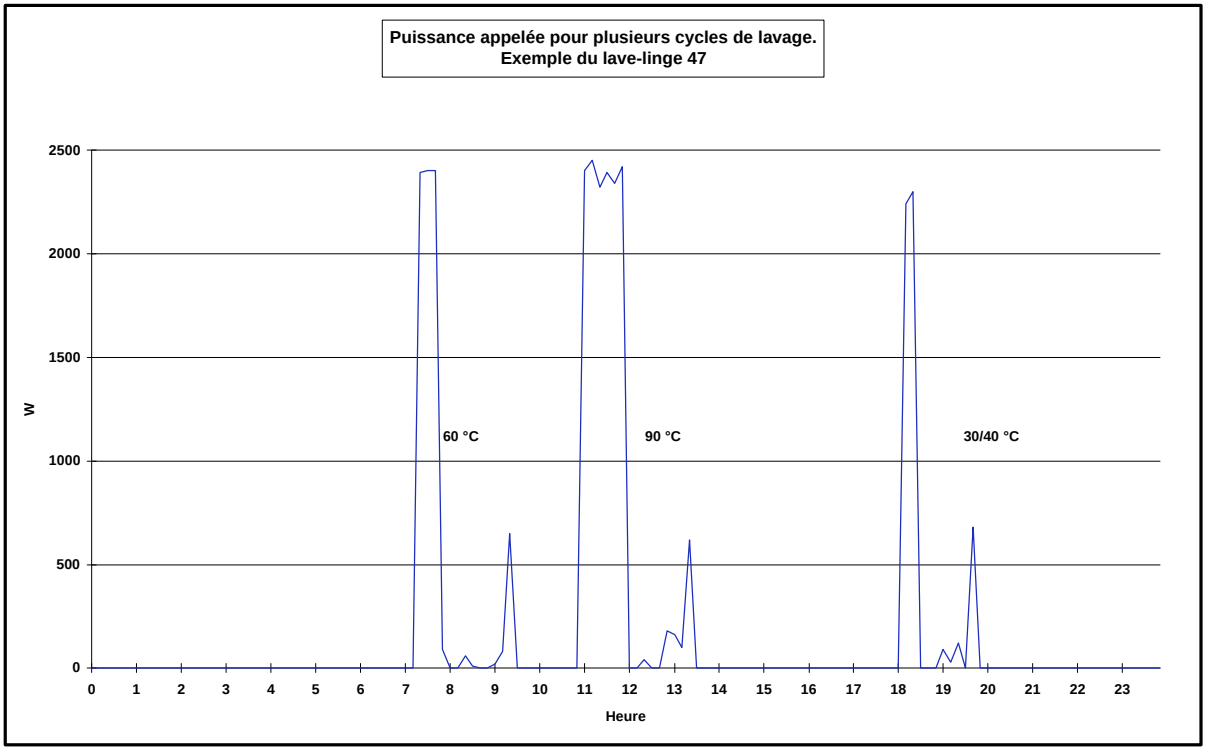


Figure 5.2 : puissance appelée pour différents cycles de lavage (lave-linge).

Toutes les trois présentent la même structure. Il y a d'abord, au démarrage de l'appareil, la phase de chauffage qui correspond à des puissances d'environ 2500 W. La durée de cette phase est évidemment fonction de la température finale du cycle. On note que la période de chauffage s'effectue sans palier : elle s'arrête dès que la température d'eau souhaitée est atteinte. Le temps nécessaire est de 20 à 50 minutes selon le cycle. Puis on observe la phase de lavage du linge caractérisée par la puissance du tambour et de la pompe de vidage. Les besoins de cette phase ne sont pas continus et la puissance observée oscille entre 0 et 100 ou 200 W. La durée est de 45 à 60 minutes. On trouve enfin la phase d'essorage caractérisée par un appel de puissance de 500 à 650 W selon les machines et qui est très bref.

La figure 5.3 représente pour les trois cycles précédents la consommation cumulée d'énergie depuis le démarrage du cycle. La phase initiale de chauffage se traduit par des droites évidemment de même pente (la pente représente la puissance absorbée par la résistance). Puis

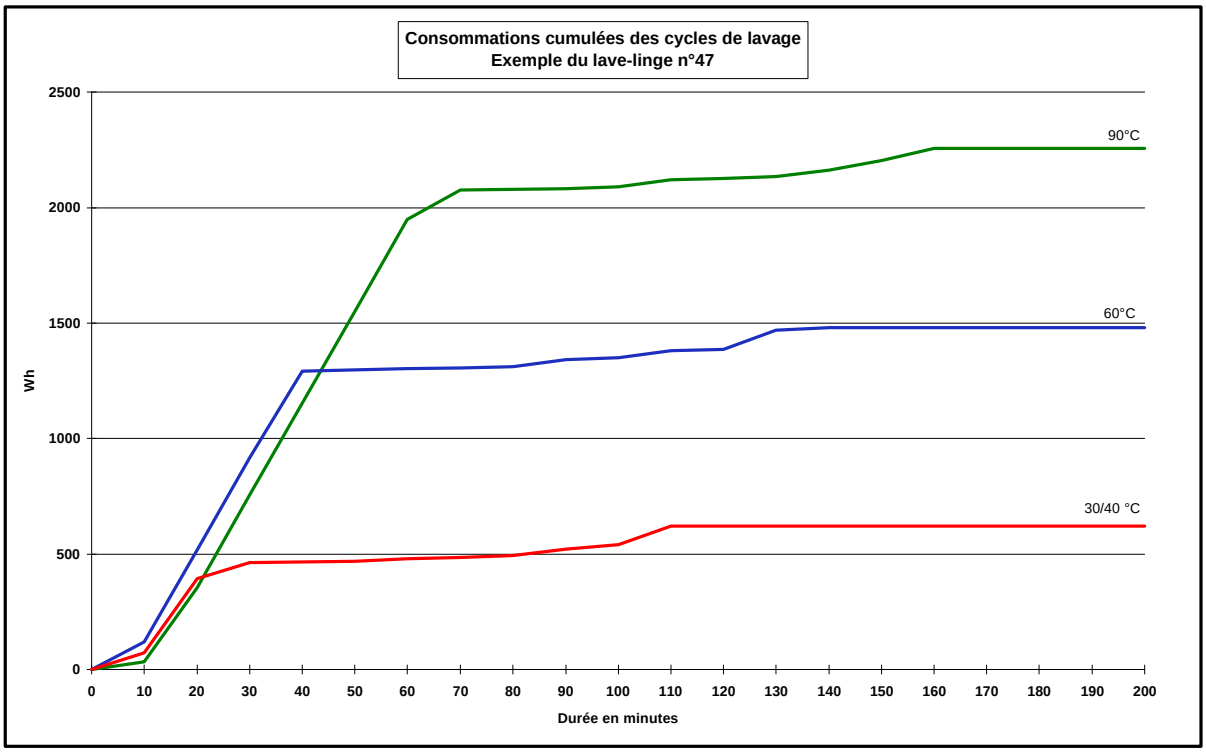


Figure 5.3 : consommations cumulées d'énergie en fonction du temps pour les cycles de la figure 5.2.

on observe une zone de pente douce correspondant à la phase de lavage, et enfin la partie terminale figure l'essorage. Ce type de représentation permet aussi de visualiser la consommation finale pour chaque type de cycle. On peut alors imaginer de représenter l'ensemble des cycles d'une machine pendant la période de suivi. On obtient, toujours pour le même lave-linge que précédemment, les courbes de la figure 5.4. En abscisse, le temps est exprimé en fonction du nombre de périodes de dix minutes (intervalle de temps entre deux mesures).

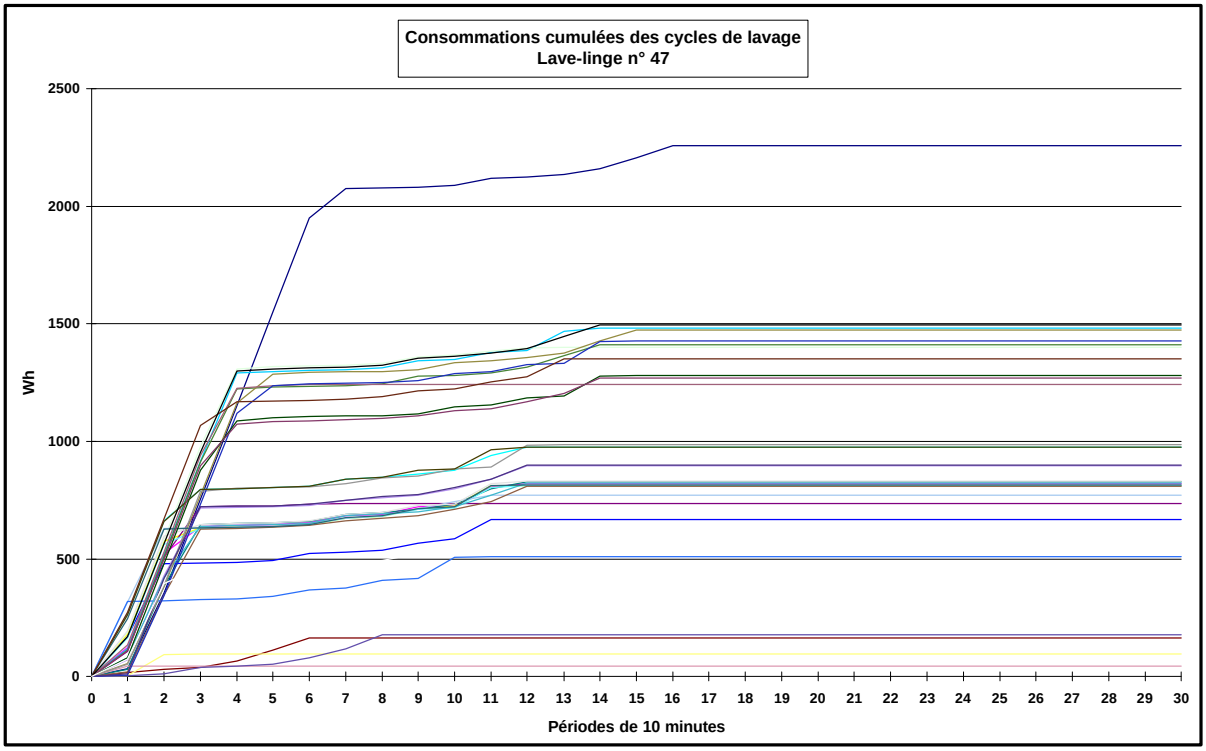


Figure 5.4 : consommations cumulées d'énergie en fonction du temps pour l'ensemble des cycles observés d'un lave-linge.

On distingue parfaitement sur cette figure les différents cycles en fonction de leur niveau de consommation finale. En partie supérieure on observe le seul cycle à 90°C qui ait eu lieu. Puis en dessous, la série des cycles à 60°C (entre 1250 et 1500 Wh), puis les cycles à 30/40°C, la distinction entre 30 et 40°C étant impossible, dont la consommation s'étend de 500 à 950 Wh. Enfin on observe les cycles dits « froid » qui regroupent toutes les opérations individuelles ne comportant pas de recours à la résistance de chauffage. Il s'agit aussi bien d'essorage (après arrêt cuve pleine la veille par exemple), que de lavage à l'eau froide, ou de rinçage, etc. Il est intéressant de remarquer la dispersion des consommations finales pour les cycles d'un même type. L'explication tient dans la variation des masses de linge introduites à chaque lessive, la nature des textiles et peut être dans une moindre mesure l'utilisation de la touche ECO, voire peut-être sur certaines machines récentes l'utilisation d'une touche permettant de fixer le niveau de température d'eau.

Les figures 5.3 et 5.4 permettent aussi de voir l'importance énergétique relative des trois phases d'un cycle de lavage. Ainsi on a pu déterminer la répartition énergétique suivante :

☛ cycle à 90°C
- ❖ chauffage : 92 %
- ❖ lavage : 4 %
- ❖ essorage : 4 %

☛ cycle à 60°C
- ❖ chauffage : 87 %
- ❖ lavage : 6 %
- ❖ essorage : 7 %

☛ cycle à 30/40°C
- ❖ chauffage : 76 %
- ❖ lavage : 11 %
- ❖ essorage : 13 %

La phase de chauffage apparaît de très loin comme la plus importante dans les besoins en énergie d'un lave-linge. Or elle ne constitue pas à proprement parler un usage spécifique de l'électricité.

5-1-3 Consommation d'énergie

La figure 5.5 donne la distribution des lave-linge en fonction de leur consommation journalière. La consommation moyenne est de 643 Wh/j (soit **235 kWh/an**) et l'écart type de 384 Wh/j (soit 140 kWh/an). La consommation médiane est de 580 Wh/j (soit 212 kWh/an). La plage des consommations est très étendue puisqu'elle va de 1 à 7. On verra plus loin que ceci est dû non pas aux machines mais aux habitudes des utilisateurs. La distribution est très asymétrique avec un maximum assez marqué pour la classe centrée sur 500 Wh/j (soit 183 kWh/an).

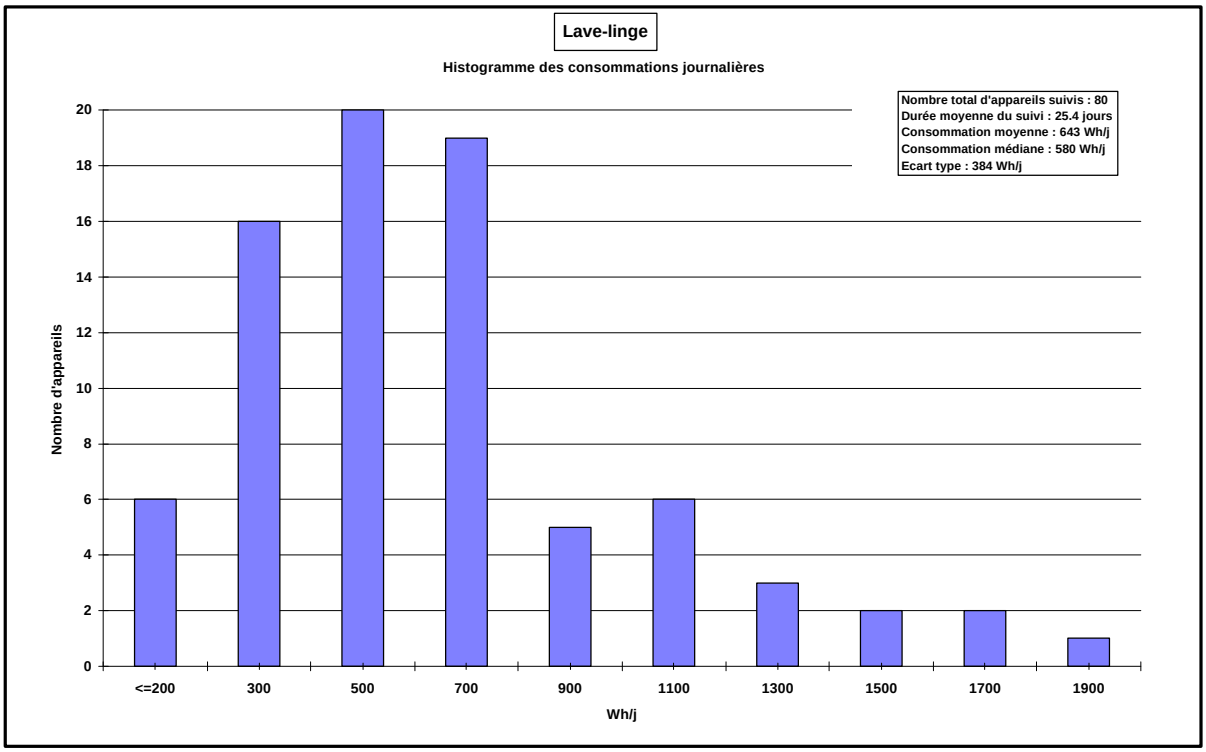


Figure 5.5 : histogramme des consommations journalières moyennes des lave-linge.

La figure 5.6 indique la répartition des consommations par jour et par personne. La distribution est très asymétrique et la classe maximum est celle centrée sur 150 Wh/pers/j. On relève aussi que la valeur moyenne est de 198 Wh/pers/j (soit 72 kWh/pers/an).

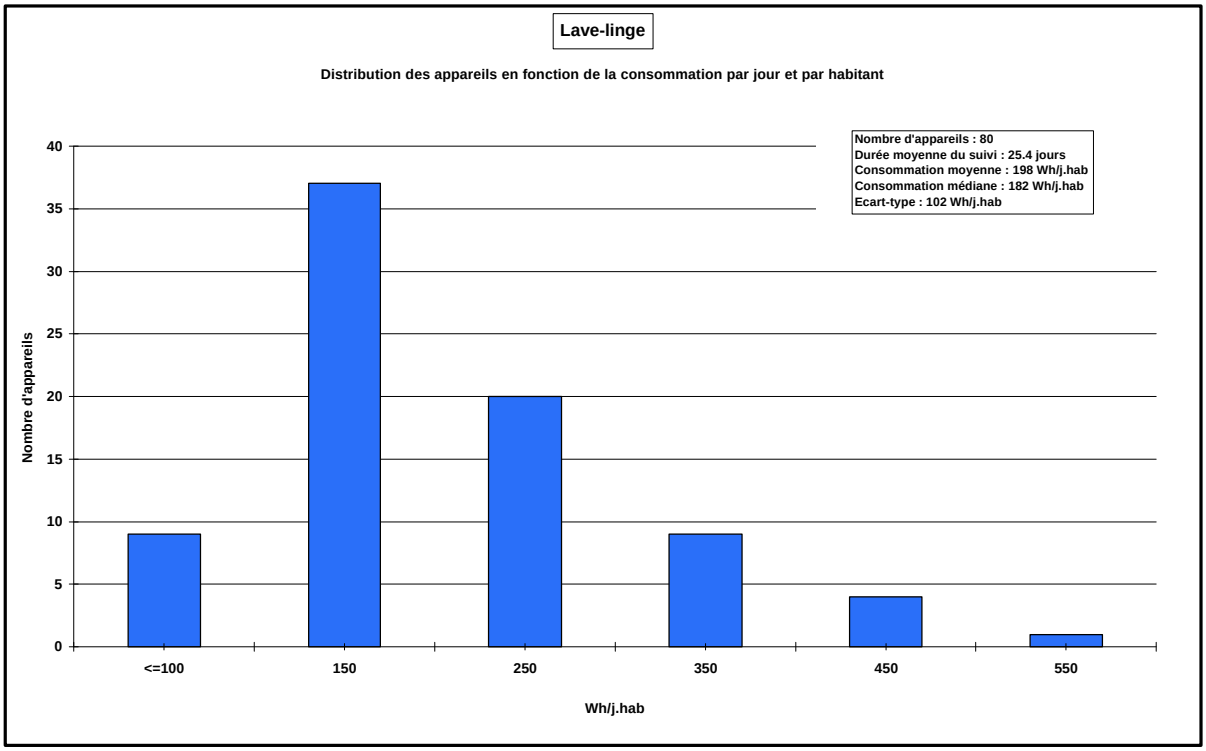


Figure 5.6 : distribution des lave-linge en fonction de la consommation par jour et par habitant.

La comparaison avec les deux autres études européennes disponibles est très intéressante car elle fait apparaître des différences importantes. Ainsi l'étude portugaise du ***CCE*** a mesuré une consommation annuelle de 145 kWh, soit 38.3 % de moins que Ciel, ce qui est extrêmement peu et méritera d'être expliqué (habitudes culturelles, fréquence de lavage, etc.).

Dans l'étude suédoise de ***Nutek*** on relève que la consommation des lave-linge (66 appareils suivis) est de 315 kWh/an, soit 34 % de plus que dans notre échantillon. L'écart type est de 184 kWh/an soit 31 % de plus attestant ainsi d'une dispersion comparable à celle de l'enquête Ciel. L'histogramme des consommations présente un maximum autour de la classe 250 kWh/an finalement assez proche du nôtre. En revanche, il y a beaucoup plus d'appareils dans les classes 350 à 550 kWh/an, ce qui trouvera son explication dans les § qui suivent avec une fréquence d'utilisation supérieure de 10 % et le recours plus important aux cycles de température 60 et 90°C. Enfin, la consommation annuelle par an et par personne est pour l'étude suédoise de 100 kWh, contre 72 dans Ciel, soit 39 % de plus. Ceci illustre assez bien l'existence d'habitudes d'ordre culturel qui conduiront toujours à ce qu'il y ait des différences parfois importantes d'un pays européen à l'autre, et peut-être même parfois d'une région à l'autre à l'intérieur d'un même pays.

5-1-4 Courbe de charge horaire moyenne

La fig. 5.7 représente la consommation horaire moyenne au cours d'une journée pour les lave-linge.

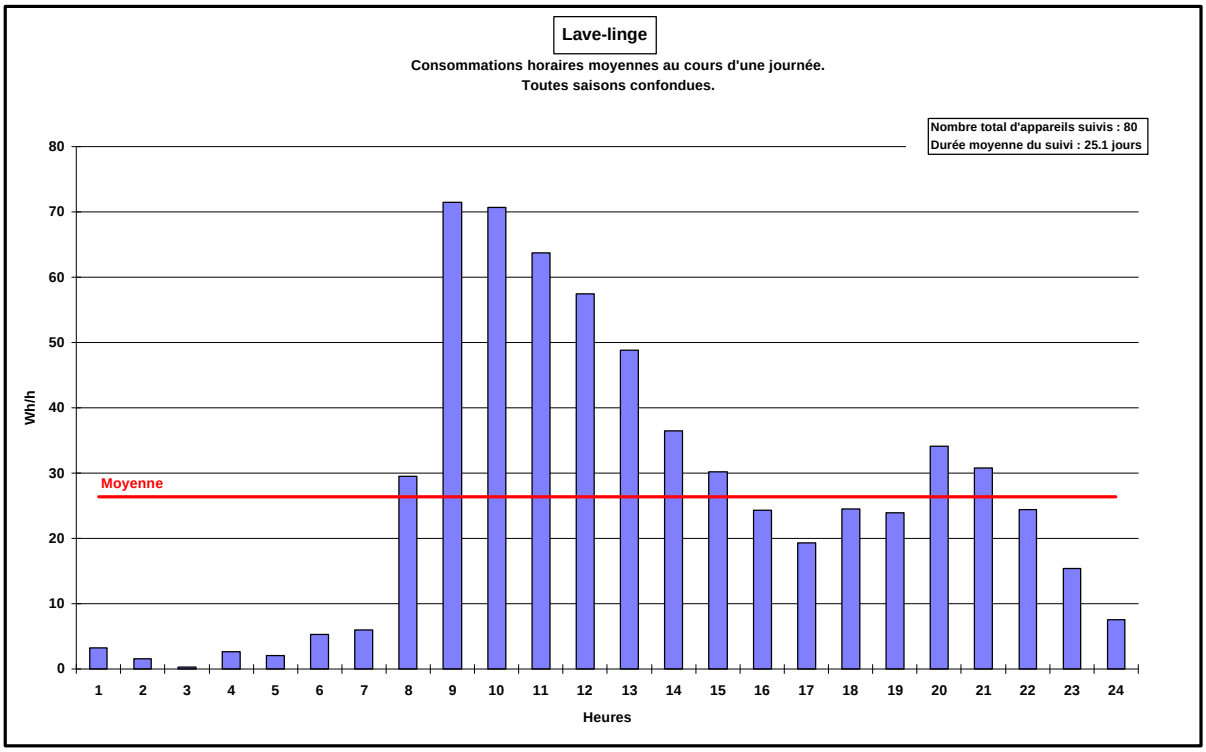


Figure 5.7 : consommation horaire moyenne des lave-linge au cours d'une journée.

La lessive est une opération que l'on fait majoritairement le matin. Vient en second lieu la soirée, mais avec une fréquence deux fois moindre. Quelques appareils semblent profiter du tarif électrique de nuit, plus intéressant, mais ils ne représentent qu'une fraction infime des appareils étudiés. L'explication vient de ce que nous avons éliminé de notre échantillon les logements ayant recours à des usages thermiques de l'électricité (production d'ECS et chauffage) qui sont précisément les usages qui incitent à adopter une tarification double.

On pourra aussi retenir que la puissance moyenne appelée « en continu » par un lave-linge est de 26 W.

5-1-5 Etude des cycles

Le système de mesures DIACE qui a été utilisé a fourni des relevés de consommation et de puissance toutes les dix minutes. Comme on l'a vu au § 5.1.2, la fréquence de ces mesures a permis une analyse extrêmement fine des cycles de lavage. Des algorithmes portant sur la définition d'un cycle de lavage (respect de l'ordre et de la nature des puissances appelées) et sur le niveau de consommation de chaque type de cycle ont permis de faire un tri précis parmi les différents usages du lave-linge. Au total ce sont 1832 cycles qui ont pu être étudiés, dont 1403 cycles « chauds », c'est à dire dont la température était au moins de 30°C.

5.1.5.1 Distribution des cycles en fonction de leur consommation

La figure 5.8 représente cette distribution. On relève d'abord l'importance des cycles de moins de 100 Wh. Il ne s'agit pas à proprement parlé de cycles mais plutôt d'opérations ponctuelles effectuées par les utilisateurs, comme un trempage, une vidange, un essorage, etc., et qui apparaissent isolées dans les relevés de mesures, non rattachées à un cycle constitué.

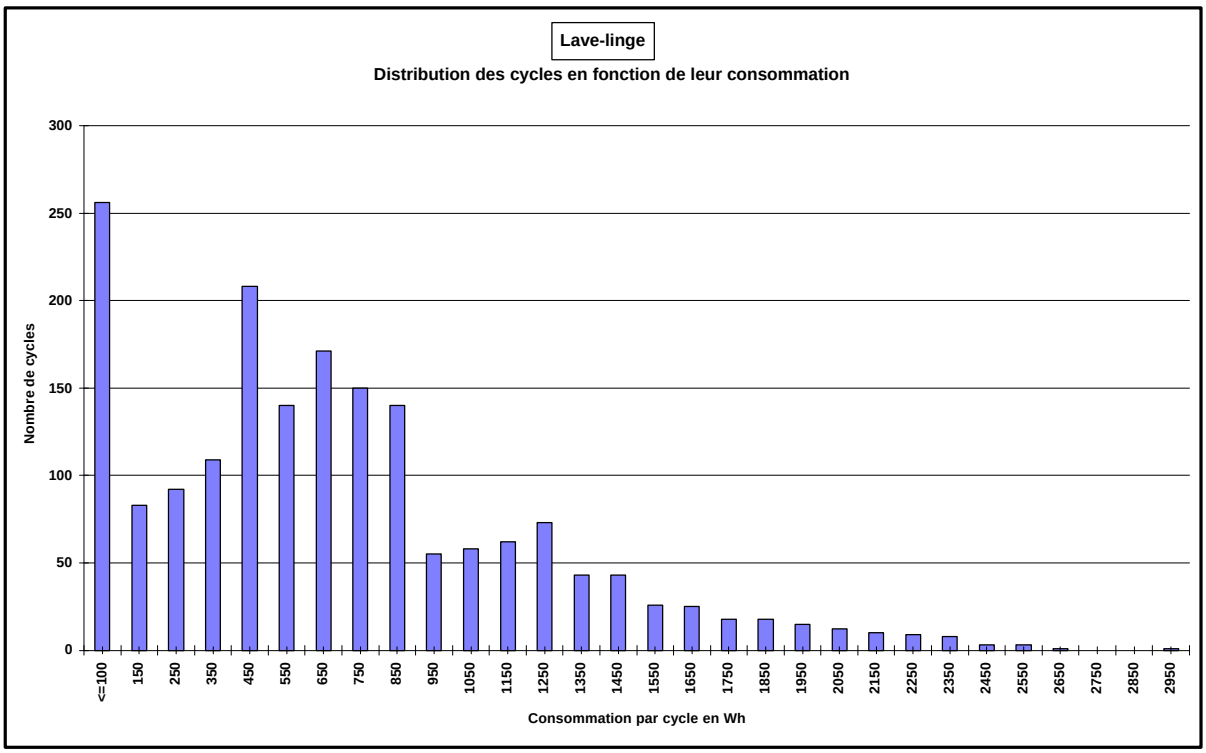


Figure 5.8 : distribution des cycles des lave-linge en fonction de leur consommation.

On note également un premier pic correspondant à la classe 450 Wh. Il s'agit des cycles à 30°C. Ils apparaissent sur ce graphique comme les cycles les plus nombreux. Puis on observe un second pic rapproché (classe 650 Wh) correspondant aux cycles à 40°C et enfin un dernier pic centré sur 1250 Wh qui est celui des cycles à 60°C. Il faut remarquer d'emblée ce qui va être confirmé par la suite : la très faible représentation, en terme de fréquence, des cycles à 90°C, celle relativement importante des cycles 30/40°C.

5.1.5.2 Caractéristiques de chaque type de cycle

Le tableau de la figure 5.9 donne pour chaque type de cycle les principales caractéristiques qui ont pu être déterminées à partir des informations de consommation et de durée fournies par les relevés de mesures. Compte tenu du très grand nombre de cycles froids correspondant en fait à des opérations ponctuelles des utilisateurs, il a paru nécessaire de traiter séparément les cycles baptisés « froids », c'est à dire consommant moins de 300 Wh, et les autres cycles qui correspondent à de vrais cycles de lavage et dont la température est supérieure ou égale à 30°C.

	Tous cycles confondus	chauds (≥30°C)	froids	30/40°C	60°C	90°C
Nombre de cycles étudiés	1832	1403	429	974	340	89
Répartition des cycles chauds (%)		100		69,5	24,2	6,3
Conso. moyenne par cycle (Wh)	695	875	105	619	1298	2065
Durée moyenne (minutes)	74,3	86,3	34,6	77,0	101,9	129,3
Conso. annuelle des lave-linge (kWh/an)	234.3	225,4	8,9	110,4	82,2	32,8
Répartition de la consommation annuelle (%)	100	96,2	3,8	47,1	35,1	14,0

Figure 5.9 : Caractéristiques principales des différents cycles et consommations des lave-linge

Les valeurs remarquables de ce tableau sont les suivantes :

- près de 70 % des cycles chauds sont des cycles à 30/40°C, et ces cycles absorbent près de la moitié (47,1 %) de l'énergie totale consommée par les lave-linge.
- les cycles à 90°C ne représentent plus que 6% des cycles de lavage. Ceci est un changement important sur le passé. Il s'explique par l'évolution profonde de la nature des textiles. Compte tenu de leur consommation unitaire d'énergie importante, ces cycles représentent encore 14 % de l'énergie annuelle d'un lave-linge.
- la consommation moyenne d'un cycle (chaud), tout cycle confondu, est de 875 Wh, ce qui est finalement assez peu, et en tous cas beaucoup moins que ce à quoi on s'attendait.
- la consommation annuelle d'un lave-linge est de 234 kWh, ce qui est relativement peu mais s'explique par le recours important aux cycles à 30/40°C.

On peut par ailleurs donner le rapport des consommations entre les différents types de cycles (figure 5.10) :

	30/40°C	60°C	90°C
30/40°C	1		
60°C	0,477	1	
90°C	0,300	0,629	1

Figure 5.10 : Valeurs relatives des consommations entre les différents cycles

Si l'on se réfère aux valeurs données dans le § 5.1.2 pour le partage entre usage thermique et usage spécifique de l'électricité dans chaque type de cycle et que l'on utilise les informations du tableau de la figure 5.9, on peut donner les consommations d'électricité spécifique et non spécifique pour chaque type de cycle (figure 5.11) :

	Froid	**30/40°C**	**60°C**	**90°C**
Usage électrique spécifique (Wh)	105	149	169	175
Usage électrique thermique (Wh)	0	470	1129	1890

Figure 5.11 : Répartition des consommations d'électricité entre usages spécifique et non spécifique en fonction de chaque type de cycle.

Si on utilise ces valeurs à l'échelle des consommations annuelles données dans le tableau de la figure 5.9 on obtient les consommations annuelles d'électricité spécifique et non spécifique pour chaque type de cycle et pour l'ensemble des usages du lave-linge (fig. 5.12) :

	Froid	**30/40°C**	**60°C**	**90°C**	**Total**
Usage électrique spécifique (kWh/an)	8,9	26,5	10,7	2,6	48,7 (20,8%)
Usage électrique thermique (kWh/an)	0	83,9	71,5	30,2	185,6 (79,2%)
Total (kWh/an)	8,9	110,4	82,2	32,8	234,3 (100,0)

Figure 5.12 : Consommation annuelle d'électricité spécifique et non spécifique totale et par type de cycle.

On constate que la consommation d'électricité spécifique d'un lave-linge est annuellement de seulement 49 kWh, soit 21 % de sa consommation totale, le reste de l'énergie étant de type thermique, et donc susceptible d'être fourni par de nombreuses autres sources d'énergie. C'est probablement là que se trouve la principale source d'amélioration des lave-linge dans une optique de MDE.

L'étude suédoise de ***Nutek*** a abordé quelques uns des thèmes examinés dans ce paragraphe. La fréquence d'utilisation des différents cycles diffère essentiellement dans la part relative des cycles à 30/40°C et à 60°C. Les valeurs mesurées sont :

-cycles à 30/40°C : 57 % (69,5 % dans Ciel)
- cycles à 60°C : 38 % (24,2 % dans Ciel)
- cycles à 90°C : 5 % (6,3 % dans Ciel)

La consommation moyenne d'une lessive, tous cycles chauds confondus, est en Suède de 1,20 kWh (soit 37 % de plus que dans Ciel). Pourtant, lorsqu'on applique les taux ci-dessus aux consommations unitaires des cycles mises en évidence dans le tableau de la figure 5.9, on trouve 950 Wh pour un cycle moyen. Cela voudrait dire que la consommation unitaire des cycles est plus élevée sur les machines suédoises que sur celles de notre échantillon (de 26 % en moyenne). Une des explications de cet écart pourrait tenir dans la température de l'eau froide introduite dans les machines. En supposant que la température de l'eau soit en moyenne de +5°C en Suède et de +12°C dans Ciel, la consommation moyenne d'un cycle serait de 1030 Wh. Ceci n'explique donc pas tout. Les autres causes d'explication sont les performances intrinsèques des machines, la quantité de linge à chaque lessive, la nature des textiles, et peut-être aussi la précision du système de mesures qui ne relevait les consommations que toutes les heures dans le système suédois. Il est alors possible que des cycles enchaînés par les utilisateurs (ce qui est fréquent) ne puissent pas être distingués, ce qui conduit à augmenter la consommation moyenne.

5.1.5.3 Fréquences d'utilisation mesurées et estimées

L'analyse des fichiers permet de connaître avec une grande précision la fréquence d'utilisation de chaque type de cycle. La figure 5.13 représente la distribution des lave-linge en fonction du nombre de cycles « chauds » effectués chaque semaine. On observe un maximum centré autour de 5 cycles/semaine. L'étendue de la plage (de 1 à 12) traduit bien des différences d'habitudes voire de culture très importantes. Neuf familles (soit environ 10 %) utilisent leur machine plus de 10 fois par semaine et 43% l'utilisent plus de 5 fois par semaine. Ces valeurs surprennent par leur importance, mais vont être confirmées et précisées dans ce qui suit.

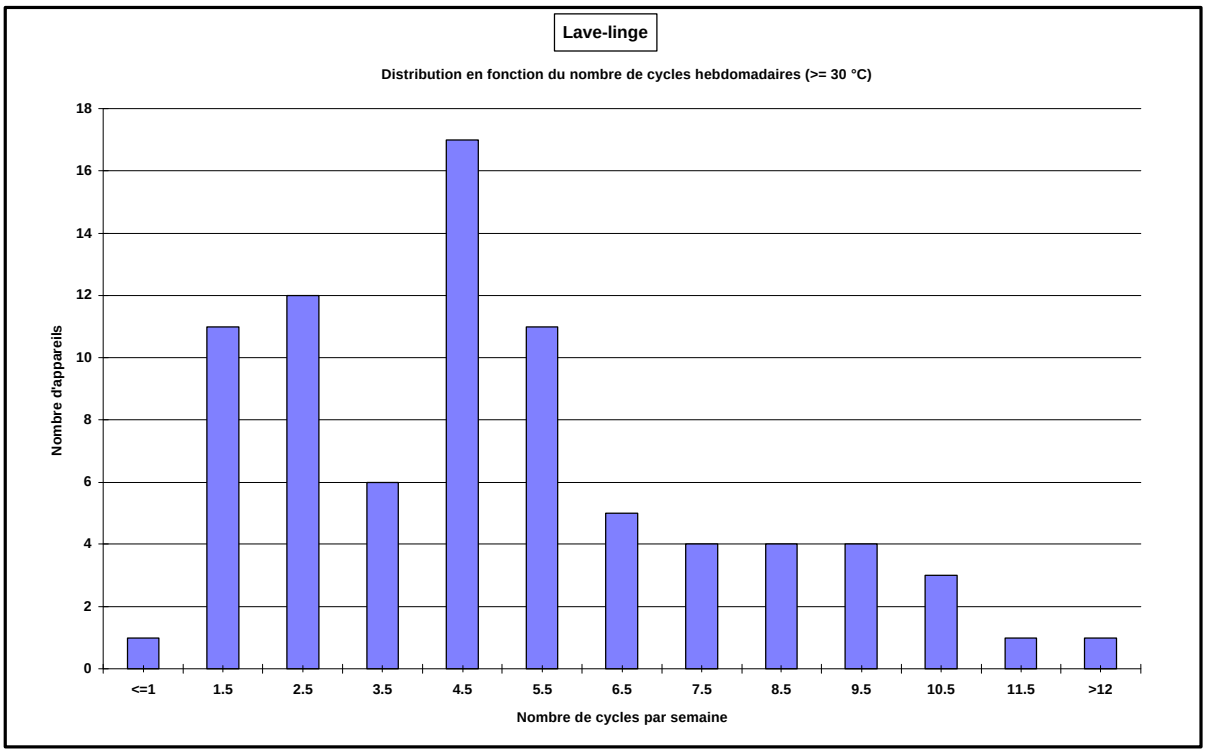


Figure 5.13 : fréquence d'utilisation hebdomadaire des lave-linge (tous cycles "chauds").

L'étude sur la fréquence des cycles a permis de déterminer la fréquence hebdomadaire pour chaque type de cycle. Il était intéressant de comparer ces valeurs avec celles estimées par les usagers dans le questionnaire associé à la campagne de mesures. La figure 5.14 donne les fréquences d'utilisation hebdomadaire mesurées et estimées pour les différents cycles.

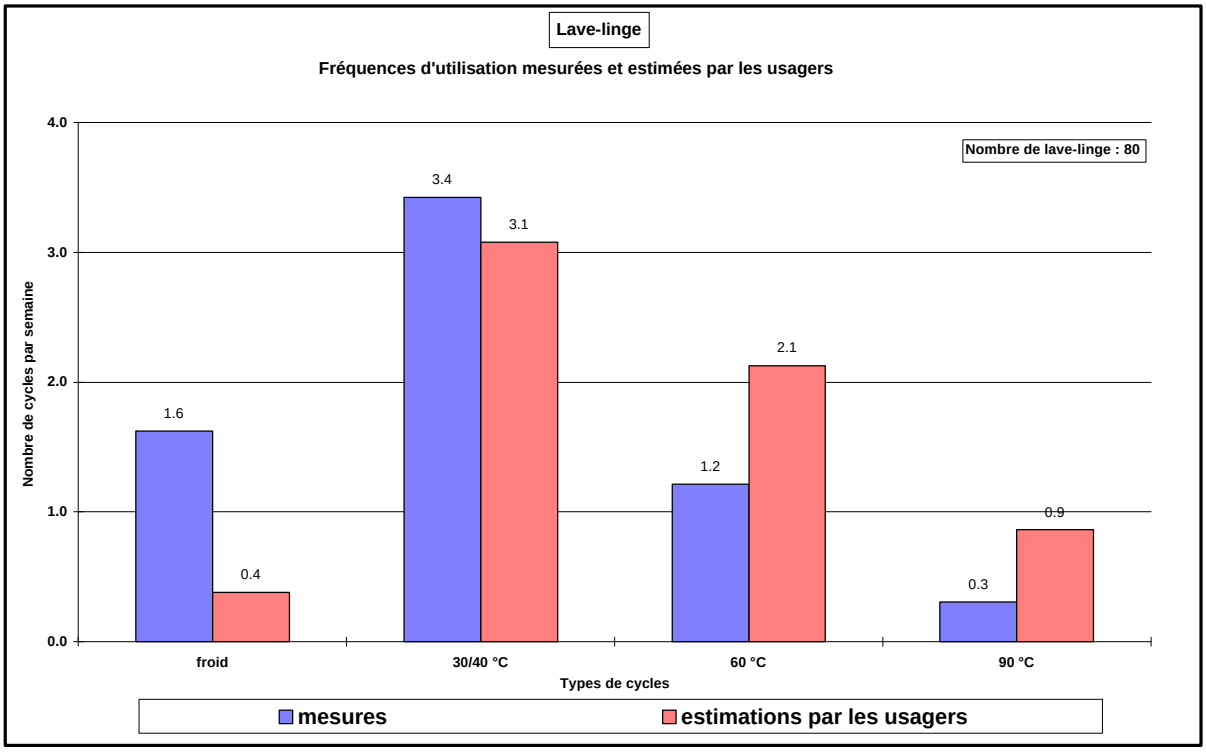


Figure 5.14 : fréquences d'utilisation hebdomadaire mesurées et estimées.

De cette représentation on retiendra que :

☛ le nombre de cycles « chauds » mesuré est de 4.9 par semaine, ou de 258/an. Cette valeur n'était pas attendue, mais elle confirme l'observation de la figure 5.13.

☛ le nombre de cycles « chauds » estimé par les usagers est de 6,1 par semaine, soit 23 % de plus que dans la réalité. Cette valeur accrédite celle mesurée.

☛ le nombre de cycles froids mesuré est très supérieur à celui estimé car il regroupe toutes les opérations qui ont consommé parfois d'infimes quantités d'énergie et qui ne constituent pas à proprement parlé un cycle.

☛ Les estimations des utilisateurs sont à peu près exactes pour les cycles à 30/40°C, mais elles divergent fortement avec les cycles à température élevée qui sont tous surestimés. Or ces cycles sont précisément ceux qui consomment le plus d'énergie.

On en vient donc à se demander quel est l'impact réel, en terme énergétique, de l'erreur d'estimation des usagers lorsqu'on veut, à partir d'une enquête, reconstituer la consommation d'un appareil. Cette question est pertinente car la quasi-totalité des investigations faites jusqu'à présent dans le domaine énergétique du secteur résidentiel est basée sur des enquêtes portant sur la fréquence d'utilisation, doublées d'évaluations sur la consommation spécifique (par cycle, ou par jour, etc.) des matériels analysés.

La figure 5.15 montre cet impact en représentant cycle par cycle, puis pour la totalité des usages d'un lave-linge, la consommation réelle et celle qui aurait résulté d'une utilisation des fréquences estimées par les utilisateurs.

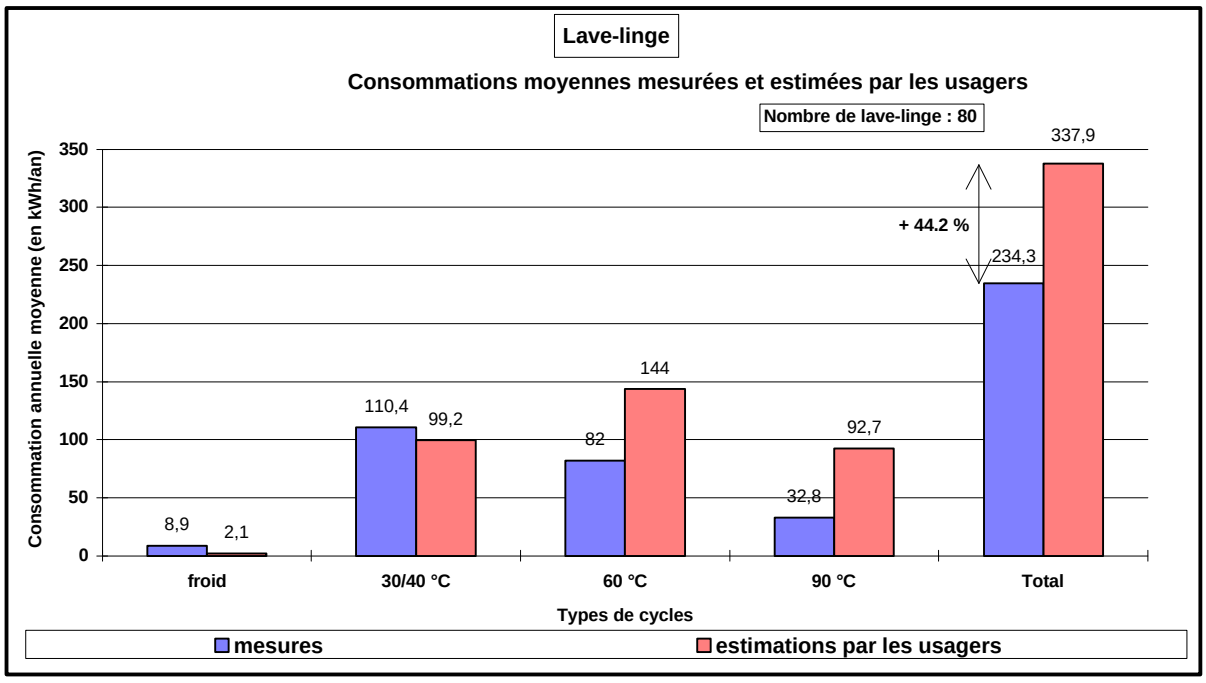


Figure 5.15 : Consommation des cycles mesurées, et estimées à partir des réponses des usagers

Il apparaît que si l'écart est acceptable sur les cycles 30/40°C, il devient exorbitant pour les cycles plus chauds comme les cycles à 90°C pour lesquels la consommation estimée est près de trois fois supérieure à la consommation réelle. Le cumul de toutes ses imprécisions conduit finalement à une surestimation de 44% de la consommation annuelle d'un lave-linge lorsqu'on s'appuie sur les informations de l'enquête.

La conclusion est claire : il reste extrêmement aléatoire et peu fiable de s'appuyer sur des enquêtes auprès des usagers pour déterminer les consommations énergétiques d'un usage ou d'un secteur d'activité quelconque. Rien ne remplacera un suivi avec appareils de mesures.

Pour finir, nous nous référerons à nouveau à l'enquête de ***Nutek***. Les mesures effectuées ont montré que la fréquence d'utilisation du lave-linge était de 5,5 par semaine. Cette valeur conforte celle que nous avons trouvée, soit près de 5, et crédibilise son niveau inattendu et élevé.

5-1-6 Evolution de la consommation en fonction de l'âge

Il est peut-être plus facile d'étudier l'évolution de la consommation des lave-linge avec l'âge que pour les appareils de production de froid, car le lave-linge exécute des tâches qui sont toujours les mêmes : des cycles à 60 ou à 90°C par exemple. Il suffit donc d'étudier l'évolution de la consommation d'électricité pour les cycles à 60 et à 90°C en fonction de l'âge des appareils.

La figure 5.16 fournit ces consommations pour les cycles à 60°C et la figure 5.17 celles pour les cycles à 90°C.

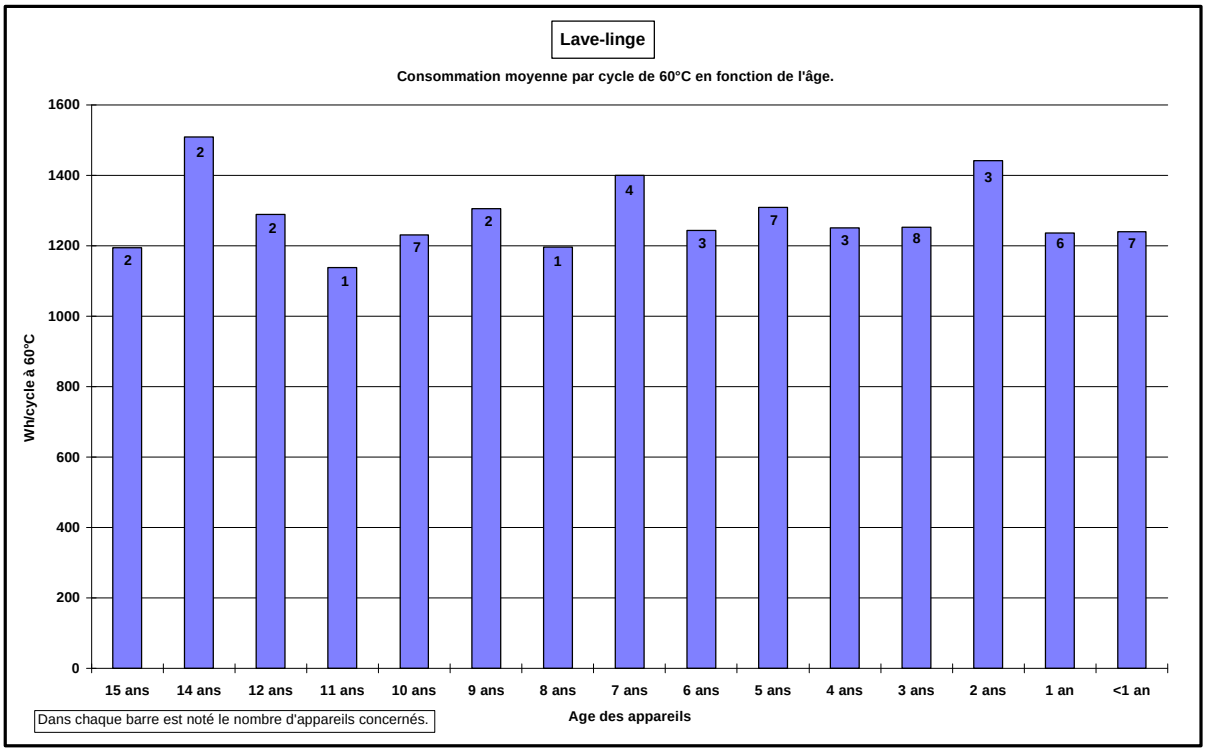


Figure 5.16 : consommation moyenne des lave-linge en fonction de l'âge (cycles à 60°C).

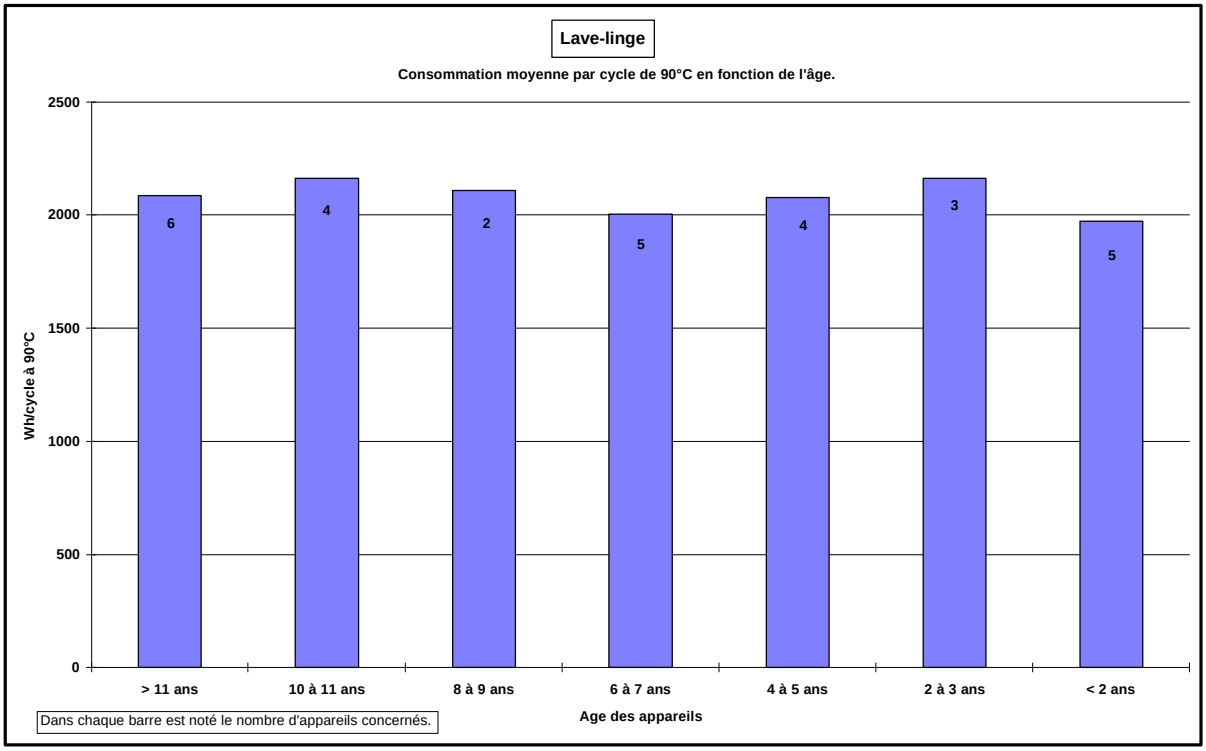


Figure 5.17 : consommation moyenne des lave-linge en fonction de l'âge (cycles à 90°C).

Il apparaît d'une façon absolument indiscutable que la consommation des lave-linge ne dépend pas de leur âge. Que ce soit pour les cycles à 60°C ou pour les cycles à 90°C on ne voit aucune tendance, ce qui signifie tout à la fois que la consommation des machines n'est pas affectée par leur âge, et qu'aucune amélioration technique n'a été faite récemment, en tous cas sur les machines de l'échantillon examiné. Les machines à faible consommation d'eau n'ont fait qu'une apparition récente sur le marché, et elles n'ont pas encore diffusé massivement chez les utilisateurs. Cette observation est donc assez logique.

5 - 2 LES LAVE-VAISSELLE

5-2-1 Caractéristiques de l'échantillon

Le nombre d'appareils suivis est de 36 et la durée moyenne du suivi de 25,1 jours.

5-2-2 Nature des besoins électriques

La figure 5.18 représente pour une même machine, la courbe des puissances appelées pour un cycle de lavage ordinaire.

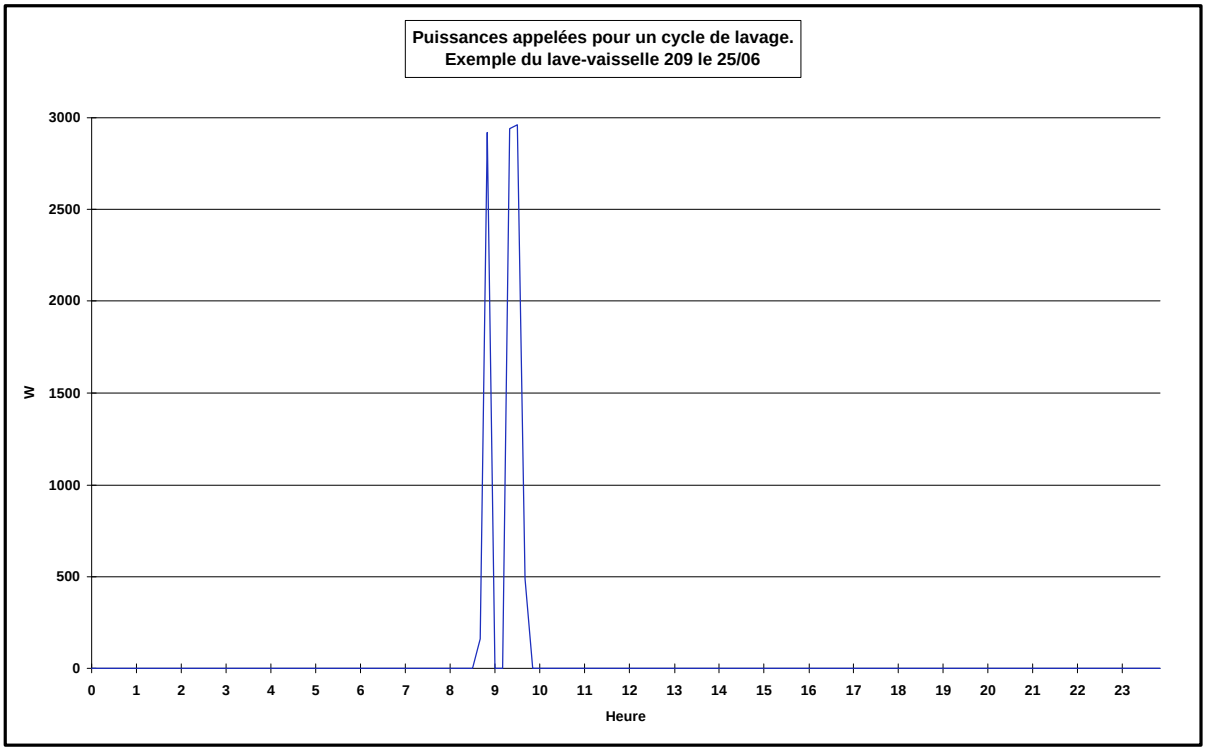


Figure 5.18 : puissance appelée pour un cycle de lavage (lave-vaisselle).

Elle est très caractéristique du fonctionnement d'un lave-vaisselle. Il y a d'abord un bain de lavage qui se fait à l'eau chaude, ce qui correspond au premier pic de puissance, lui même suivi d'un appel de puissance plus faible (non visible sur la figure 5.18) et correspondant à la phase de lavage (où seule fonctionne la pompe). Puis on trouve un ou deux rinçages à l'eau froide suivis enfin d'un rinçage à l'eau chaude et d'une courte phase de séchage qui correspondent au second pic apparaissant sur le graphique.

La figure 5.19 représente la consommation d'énergie cumulée du même cycle de lavage. On voit parfaitement les trois phases décrites précédemment et correspondant à des pentes, donc à des niveaux de puissance différents.

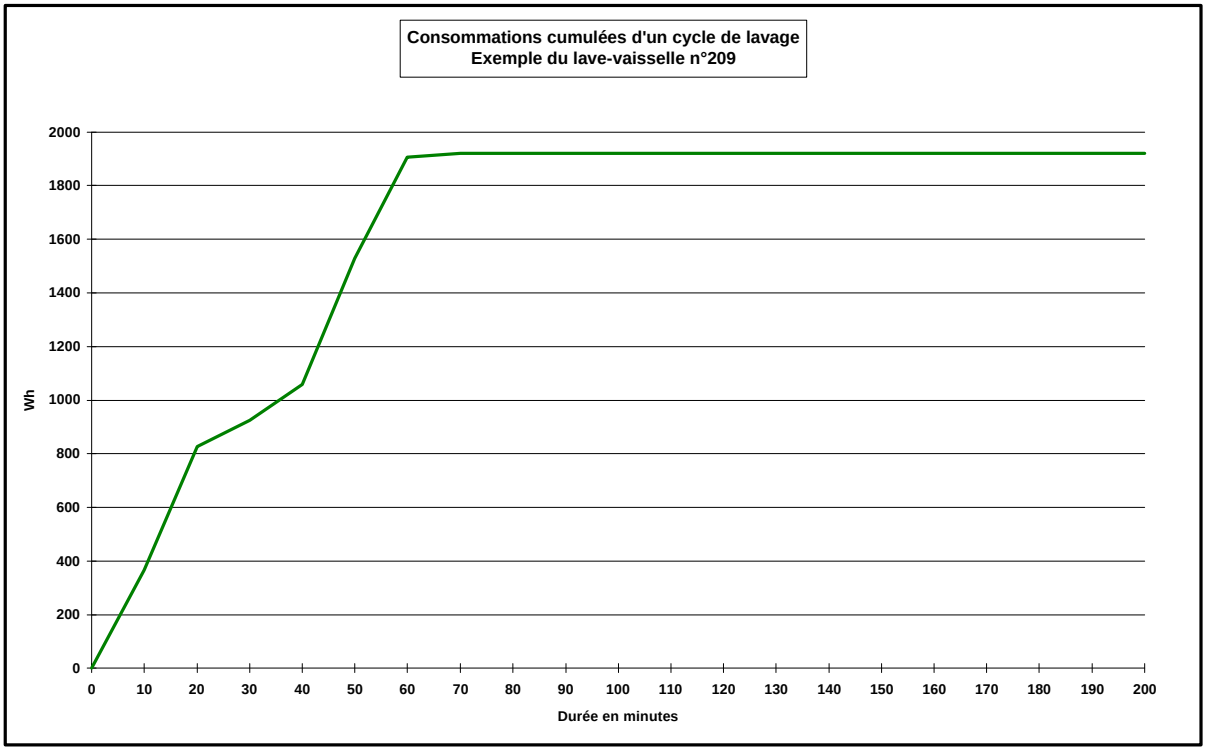


Figure 5.19 : consommation cumulée en fonction du temps pour le cycle de la figure 5.17.

On a porté sur la figure 5.20 l'ensemble des cycles effectués par le même appareil pendant toute la durée du suivi.

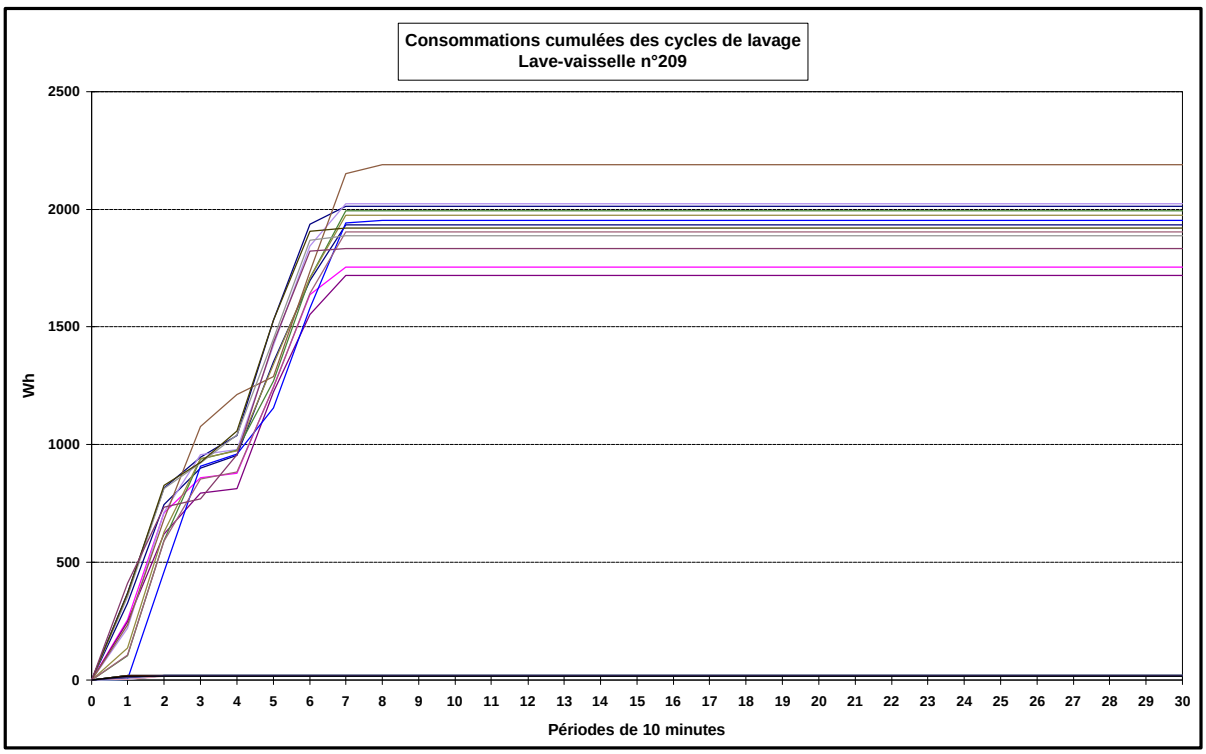


Figure 5.20 : consommations cumulées en fonction du temps de tous les cycle d'un même lave-vaisselle.

On constate que:

- cette machine utilise un seul programme, vraisemblablement à 65°C,
- la consommation d'énergie peut varier selon les lavages, et pour un même type de cycle, de 20 à 25 %. L'explication ne vient pas de la température de l'eau froide puisque tous les cycles ont été suivis à la même époque de l'année. Elle réside peut-être dans l'utilisation de la touche ECO, ou dans la nature et la quantité de la vaisselle à laver.

La répartition entre usage spécifique et usage thermique de l'électricité dans un lave-vaisselle est plus difficile à effectuer que pour un lave-linge. L'électricité sert à alimenter la pompe de vidange, la pompe de lavage et la résistance électrique destinée au chauffage en fin d'opération. Mais l'intervalle de temps de dix minutes dans le relevé de nos mesures ne permet pas une dissociation suffisamment fine des différentes étapes du processus. L'examen des fichiers montre toutefois que la puissance des pompes se situe entre 120 et 200 W. Quant au séchage, on ne peut déterminer sa durée avec précision. Néanmoins, si l'on suppose que les pompes (200 W) fonctionnent toute la durée du cycle, que celui-ci dure une heure, que le séchage s'effectue à pleine puissance (3000 W) et qu'il dure cinq minutes, on arrive à une valeur maximale de la consommation électrique de 450 Wh/cycle, la valeur réelle étant certainement très en deçà. Sur cette base, et à partir des valeurs de consommation moyenne des cycles telles qu'elles apparaissent au § 5.2.5.1 on peut déduire la répartition suivante (tous cycles confondus) :

☛ chauffage : 73 %
☛ usages spécifiques : 27%

La phase de chauffage est de très loin la phase la plus consommatrice d'électricité, bien qu'elle ne constitue pas du tout un usage spécifique de celle-ci.

5-2-3 Consommation d'énergie

La figure 5.21 donne la distribution des lave-vaisselle en fonction de leur consommation journalière. La consommation moyenne est de 718 Wh/j (soit **262 kWh/an**) et l'écart type de 382 Wh/j (soit 139 kWh/an). La consommation médiane est de 649 Wh/j (soit 237 kWh/an). La plage des consommations est très étendue puisqu'elle va de 1 à 7. La distribution est plutôt légèrement dissymétrique, avec un maximum centré sur la classe de 650 Wh/j (soit 237 kWh/an).

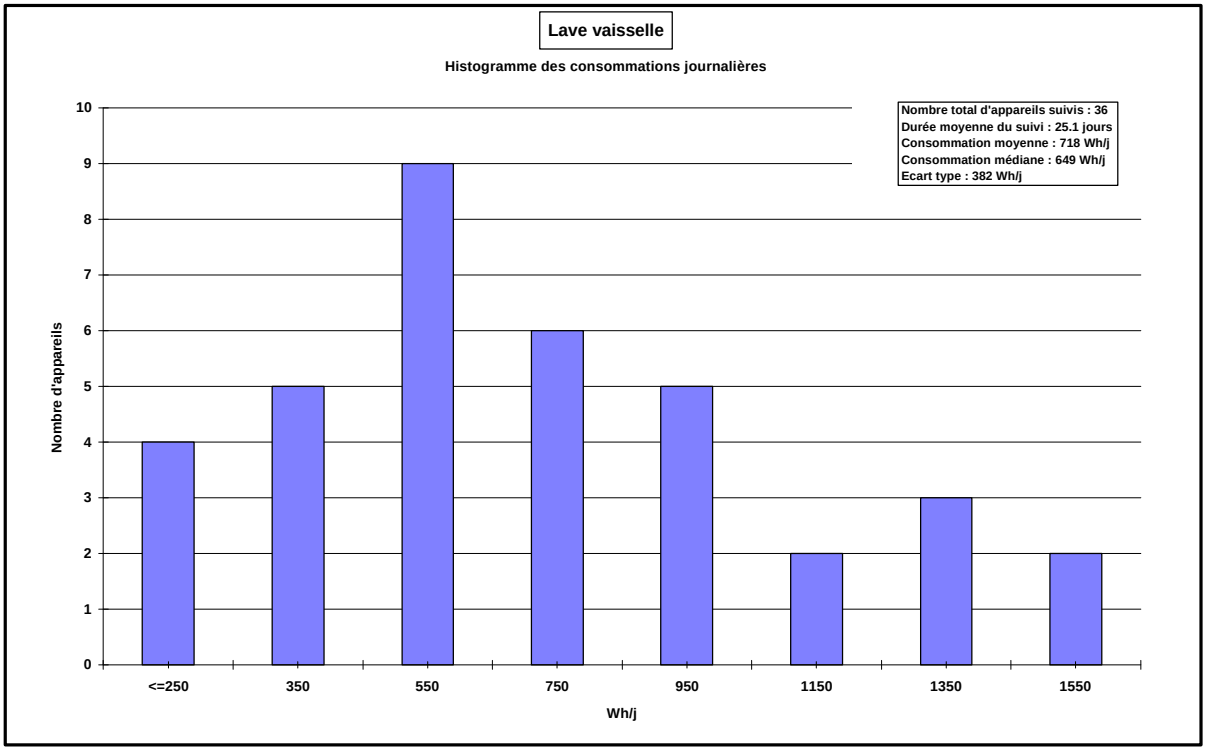


Figure 5.21 : histogramme des consommations journalières moyennes des lave-vaisselle.

La distribution des appareils en fonction de la consommation par jour et par personne est donnée par la figure 5.22. Cette distribution est très asymétrique avec un regroupement dans les valeurs les plus faibles. La classe maximum est celle centrée sur 175 Wh/pers/j. On relève aussi que la valeur moyenne est de 194 Wh/pers/j (soit 70,8 kWh/pers/an), soit pratiquement la même valeur que pour les lave-linge (198 Wh/pers/j).

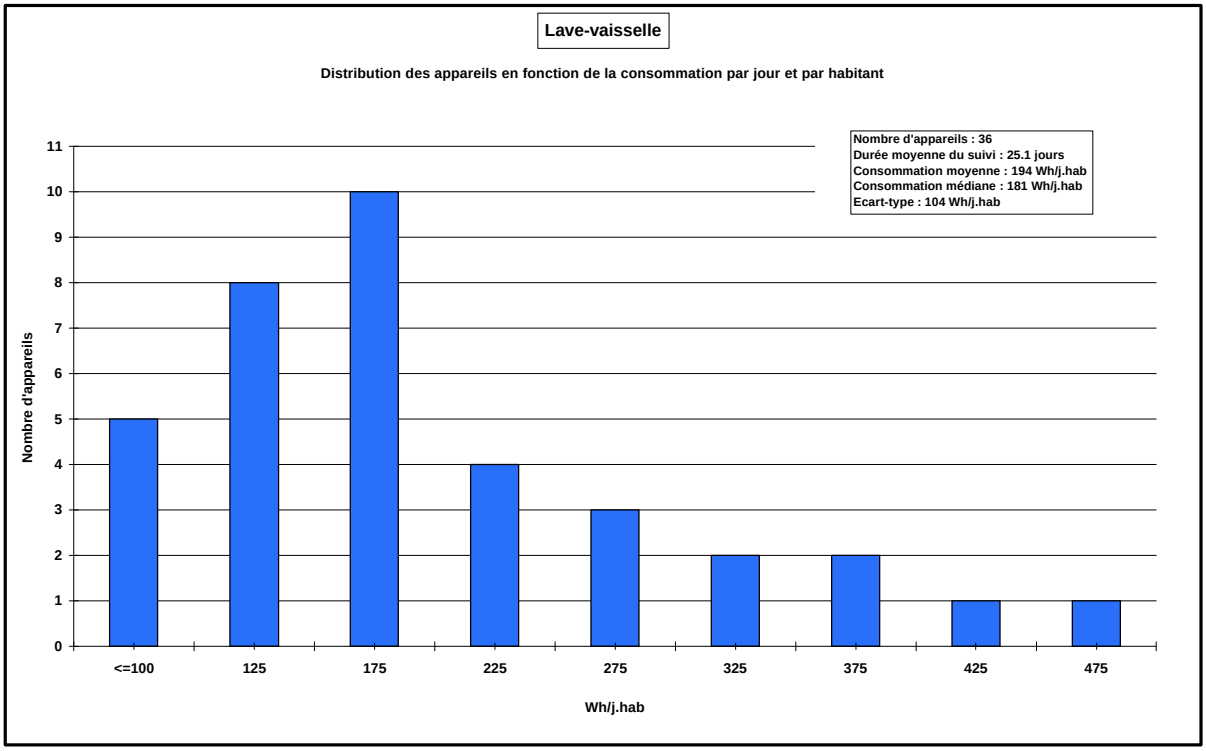


Figure 5.22 : distribution des lave-vaisselle en fonction de la consommation par jour et par habitant.

La figure 5.23 donne une autre représentation du même phénomène : la consommation par jour et par personne a été portée pour chaque machine en ordre croissant. On remarque la très grande dispersion des consommations spécifiques qui vont de 1 à 15.

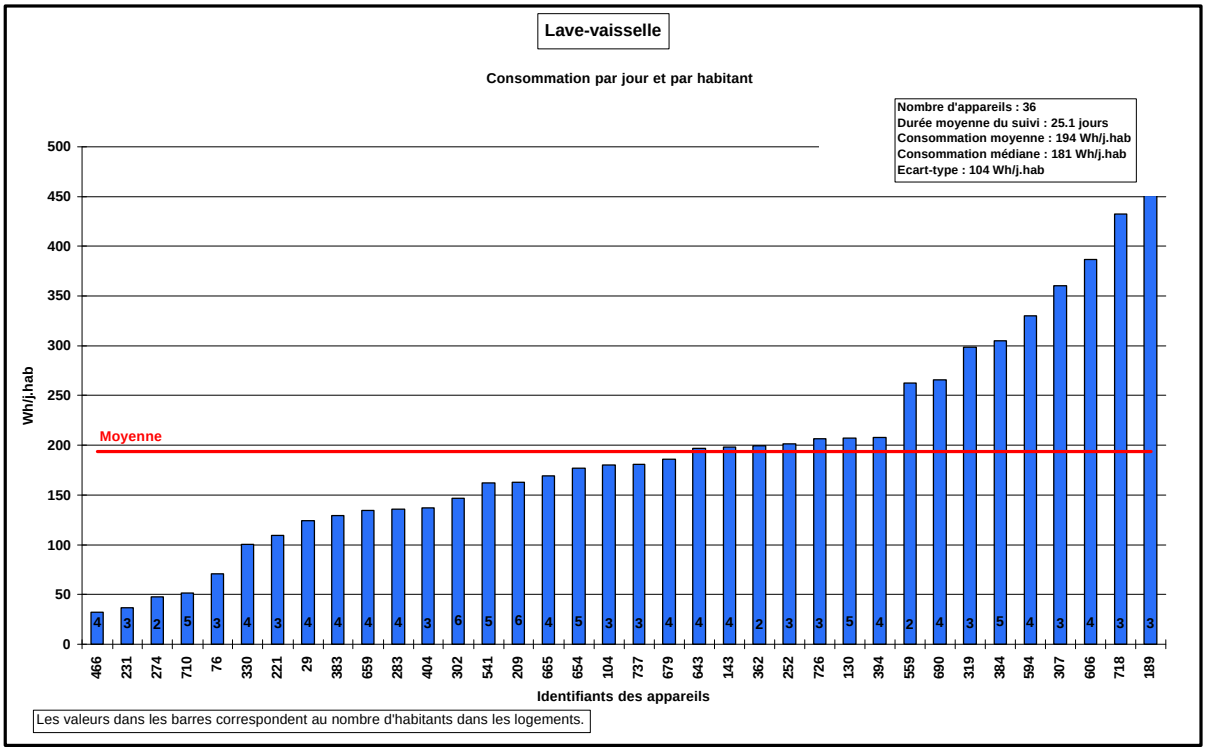


Figure 5.23 : consommation par jour et par habitant pour chaque lave-vaisselle.

Pour chaque foyer on a fait figurer le nombre d'habitants. Cela permet de voir que la taille moyenne des foyers dont la consommation par personne et par an est inférieure à la moyenne est de 3,95 personnes, alors que les foyers dont la consommation spécifique est supérieure à la moyenne abritent 3,5 personnes. **La consommation spécifique par personne est donc d'autant plus faible que la famille est nombreuse**, ce dont on pouvait se douter.

L'équipe portugaise du ***CCE*** a trouvé une consommation annuelle de 284 kWh, soit 8.4 % de plus que dans Ciel. Mais on ignore encore dans quelles conditions a été obtenu ce résultat (nombre de personnes, fréquence des lavages, etc.).

Il est intéressant de se référer à l'étude suédoise de ***Nutek*** dans le cas des lave-vaisselle car les habitudes semblent à ce sujet très différentes en France et en Suède. D'abord parce qu'en Suède la plupart des lave-vaisselle sont alimentés en eau chaude et non pas en eau froide. Mais paradoxalement la majorité des systèmes de production d'eau chaude sanitaire sont des ballons électriques. On ne comprend donc pas très bien l'intérêt de cette solution qui consomme en définitive plus d'électricité qu'une alimentation directe du lave-vaisselle (à cause des pertes de chaleur du ballon de stockage et de la distribution d'eau chaude), à moins qu'une incitation tarifaire à base d'heures préférentielles donne un intérêt économique à cette disposition.

En second lieu, il est intéressant de relever que le taux d'équipement des ménages est assez différent dans les deux pays. En France il plafonne depuis de nombreuses années à 31%, alors qu'en Suède il doit être de 70 ou 80 %. Dans les échantillons suivis par ***Nutek*** et par nous même, il est respectivement de 85 et 38 %. Cette différence est importante car elle illustre le fait que l'usage des lave-vaisselle est généralisé en Suède depuis longtemps. C'est la raison pour laquelle l'échantillon suivi par ***Nutek*** est beaucoup plus vieux que le notre, donc que les matériels sont moins performants parce qu'ils consomment plus d'eau (on se reportera pour cela à la figure 5.24 qui montre que 76 % des appareils de Ciel ont moins de 9 ans contre seulement 35 % dans l'échantillon suédois dont 52 % des appareils ont plus de 14 ans).

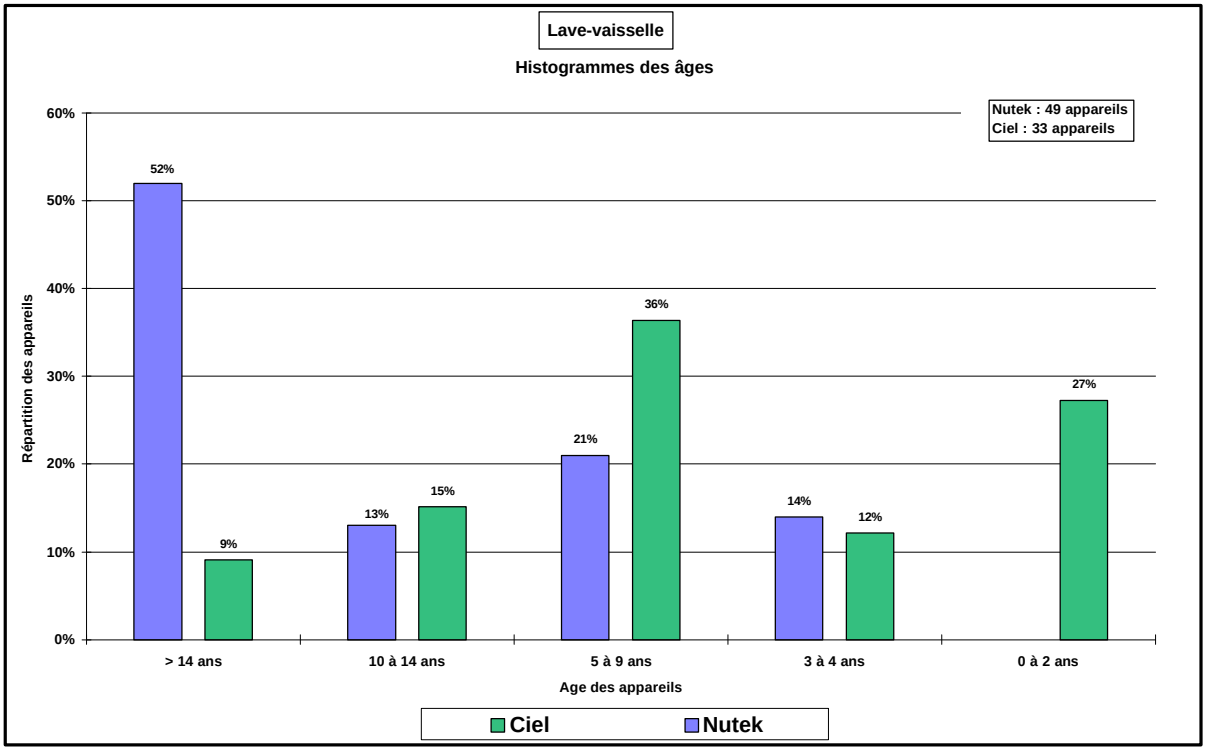


Fig 5.24 : distribution des lave-vaisselle en fonction de l'âge pour les échantillons des campagnes Ciel et Nutek

La comparaison des résultats laisse en effet assez perplexe : la consommation d'électricité spécifique des lave-vaisselle suédois alimentés en eau chaude est de 191 kWh/an (ce qui inclut outre l'électricité à usage spécifique, l'énergie nécessaire pour faire l'appoint sur la température d'eau chaude dans la machine). Quant à la consommation totale, déterminée en tenant compte de l'énergie nécessaire à la production d'eau chaude, elle s'élève à 568 kWh/an, valeur à comparer aux 262 kWh/an de notre enquête, soit 2,17 fois plus.

Les causes de ces écarts sont multiples. Il y a d'abord le mode d'évaluation suédois de l'énergie consommée par la production d'eau chaude : par mesure du volume d'eau chaude à l'entrée du lave-vaisselle et en supposant, sans la mesurer, que la différence de température entre eau chaude et froide est de 50°C. A ce propos, il faut garder à l'esprit que la température moyenne de l'eau froide en Suède est de plusieurs degrés inférieure à celle de la France (où elle est généralement prise égale à 12°C), ce qui peut justifier un écart d'environ 10 % sur la consommation d'énergie destinée à la production d'eau chaude. Il y a aussi, et c'est peut-être la principale explication, la surconsommation d'eau (et donc d'énergie) induite par l'alimentation de la machine directement en eau chaude. En effet, cette solution conduit à ce que l'intégralité des cycles soit assurée par de l'eau chaude, alors que certaines phases sont normalement accomplies avec de l'eau froide. Lorsque la production d'eau chaude est assurée par une source d'énergie plus économique que l'électricité cette disposition peut se comprendre, mais dans l'exemple suédois on ne saisit pas très bien ce qui, en première analyse, apparaît comme une source de surconsommation peu justifiée.

Parmi les explications possibles des écarts constatés, il y a aussi l'âge des machines qui conduit à penser que la consommation spécifique de l'échantillon suédois est supérieure à celle de notre échantillon. Il y a enfin les habitudes. Mais malheureusement ***Nutek*** n'a pas mesuré la fréquence d'utilisation des lave-vaisselle. On sait seulement que la consommation par personne et par an est de 174 kWh, alors qu'elle n'est dans Ciel que de 70,8 kWh, soit 2,46 fois moins. Même si les personnes de l'échantillon français ne déjeunaient jamais chez elles à midi, alors que celles de l'échantillon suédois le feraient systématiquement, on n'arriverait pas à expliquer cette différence. Il est probable que la fréquence des lavages est supérieure en Suède, bien que la taille des familles soit légèrement inférieure (3,3 pers./famille contre 3,75). Peut-être que les casseroles et les plats sont lavés au lave-vaisselle, ce qui est moins fréquent en France. Or cette technique prend de la place dans la machine. Elle souligne aussi que le bilan énergétique est peut-être à faire sur l'ensemble des équipements lave-vaisselle et évier.

5-2-4 Courbe de charge horaire moyenne

La figure 5.25 donne pour les lave-vaisselle la consommation horaire moyenne. On constate que les lave-vaisselle sont utilisés bien évidemment après les repas, en majorité le soir à 22 h, avec une seconde pointe vers 14-15 h, et une pointe mineure vers 10 h.

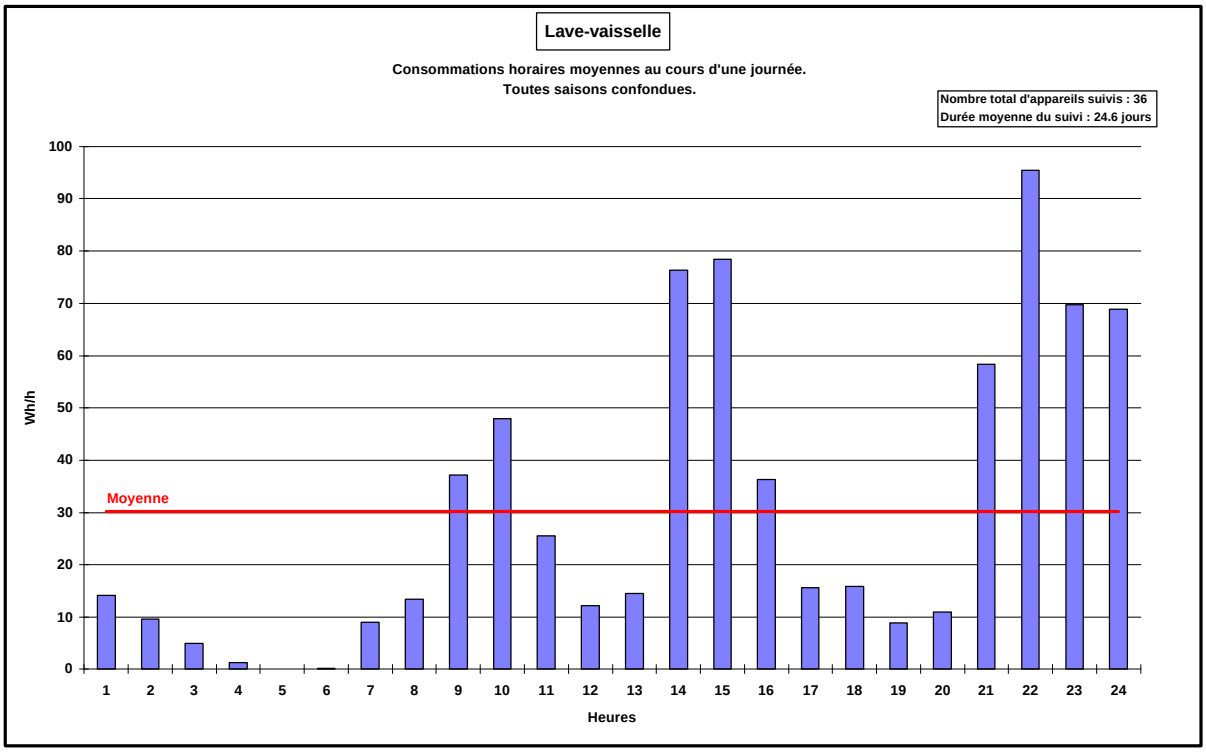


Figure 5.25 : consommation horaire moyenne des lave-vaisselle au cours d'une journée.

On relève aussi des utilisations de nuit correspondant vraisemblablement à des usagers qui utilisent la double tarification. Le lave-vaisselle est un appareil utilisé à toute heure du jour et de la nuit (hormis à 5 h du matin). On retiendra enfin que son usage est équivalent à une puissance appelée continue de 30 W.

5-2-5 Etude des cycles

L'évolution récente des lave-vaisselle et la réduction des consommations d'eau qu'elle a induite ont conduit à une grande dispersion des consommations d'énergie nécessaires aux cycles d'un même type (65°C par exemple). Parallèlement l'arrivée, ou l'utilisation, des cycles à température réduite ne semble pas encore très marquée. Mais tous ces changements récents ont rendu très difficile l'identification des cycles comme cela a été fait pour les lave-linge. Il n'a pas été jugé possible de regrouper les cycles en familles d'un même type, et ce n'est pas la multiplicité des programmes désormais offerts qui rendra la tâche plus aisée.

Au total ce sont 457 cycles qui ont pu être observés. Des algorithmes de sélection et de tri ont été mis au point comme pour les lave-linge. On s'est d'abord aperçu que de très nombreux cycles, 63 exactement, devaient être distingués des autres car ils ne faisaient pas ou peu appel au chauffage de l'eau. Qu'ils n'y fassent pas appel se conçoit très bien : il s'agit des programmes de rinçage ou de prélavage. Mais qu'ils y fassent peu appel se comprend mal (il n'existe pas de programme 30°C) de même que l'on est surpris d'observer un logement dans lequel la durée des cycles est normale (environ 40 à 50 minutes), mais qui ne fait jamais appel à la résistance chauffante. Comme il ne dispose pas d'une entrée eau chaude, très peu répandue en France, il s'agit peut-être simplement d'une machine dont la résistance est détériorée, ce que les usagers semblent ignorer...

Tout ceci a donc amené à dissocier les cycles consommant moins de 500 Wh, considérés comme froids, et les autres cycles considérés comme chauds.

5.2.5.1 Distribution des cycles (chauds) en fonction de leur consommation

La figure 5.26 montre une distribution des cycles présentant un maximum pour la classe centrée sur 1650 Wh/j et une dissymétrie vers les valeurs les plus faibles où les classes sont plus importantes. La plage des consommations est assez étendue puisqu'elle va de 1 à plus de deux, et on note l'amorce d'une classe autour de 1000 Wh correspondant vraisemblablement à l'utilisation de cycles à 50°C avec touche ECO. Pour le reste, la distinction entre cycles à 50°C, cycles à 65°C avec leurs variantes et les différents types de machines n'a pas pu être faite.

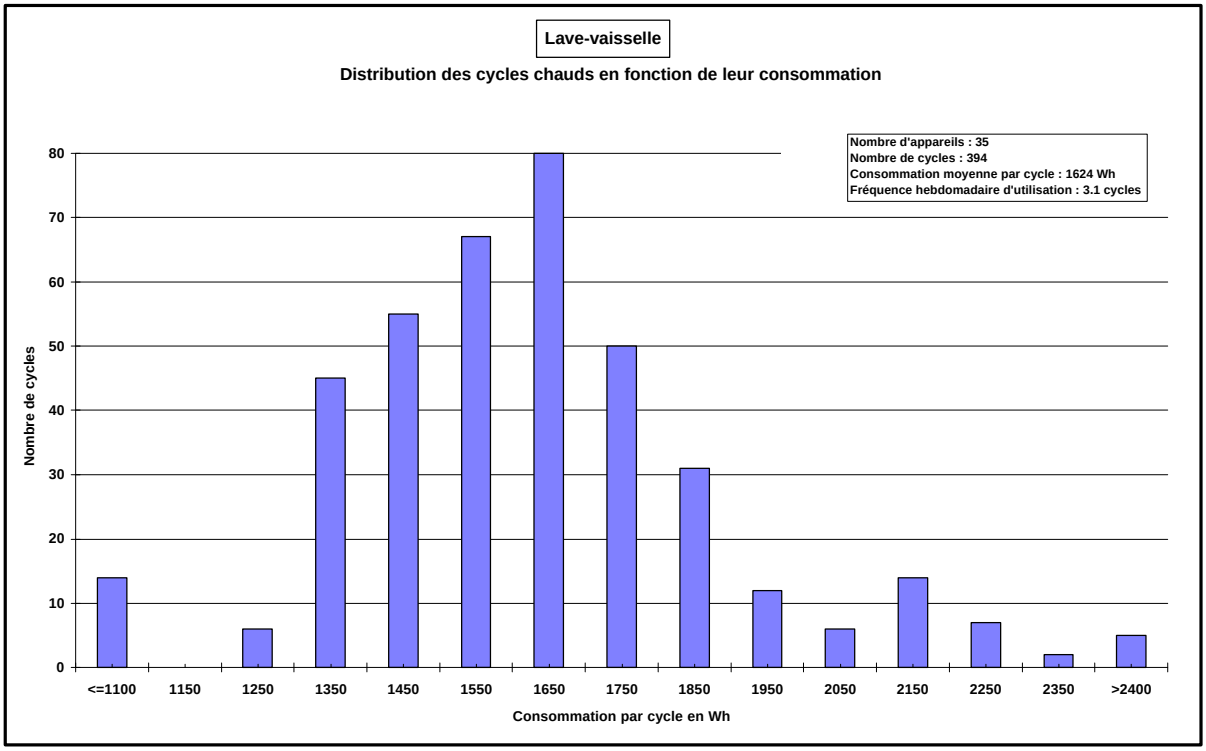


Figure 5.26 : distribution des cycles "chauds"des lave-vaisselle en fonction de leur consommation.

La consommation moyenne, tous cycles chauds confondus est de 1624 Wh/cycle. Cette valeur signifie que les utilisateurs de l'échantillon ont abondamment recours aux cycles à température intermédiaire. En effet les machines les plus performantes utilisent aujourd'hui 1,5 à 1,6 kWh pour le cycle normal à 65°C, et 1,8 kWh pour le cycle le plus consommateur. Pour les machines plus âgées de notre échantillon les consommations de ces cycles doivent donc être plus élevées, ce qu'attestent les classes supérieures de l'histogramme. Il est donc effectivement très vraisemblable que le recours aux programmes « intermédiaires », lorsqu'ils existent, soit fréquent.

5.2.5.2 Caractéristiques générales des cycles

Le tableau de la figure 5.27 regroupe les principales caractéristiques des cycles des lave-vaisselle.

	Tous cycles confondus	**Cycles froids <500 Wh**	**Cycles chauds ≥500 Wh**
Nombre de cycles étudiés	457	63	394
Consommation moyenne par cycle (Wh)	1409	64	1624
Durée moyenne (minutes)	69,7	26,5	76,6
Consommation annuelle des lave-vaisselle (kWh/an)	261,4	1,6	259,9
Répartition de la consommation annuelle (%)	100	0,6	99,4

Figure 5.27 : Principales caractéristiques des cycles de lave-vaisselle

Les principaux enseignements de ce tableau sont :

☛ **la consommation d'un cycle chaud de lave-vaisselle est en moyenne de 1624 Wh,**

☛ **la consommation annuelle des lave-vaisselle est de 261,4 kWh**

Si l'on se réfère aux valeurs données dans le § 5.2.2 pour le partage entre usage thermique et usage spécifique de l'électricité, on peut en déduire que la consommation annuelle d'un lave-linge se partage en 190 kWh/an minimum pour des usages électriques non spécifiques et 72 kWh/an pour des usages électriques spécifiques.

Tout comme pour les lave-linge, les principales sources d'améliorations des lave-vaisselle, d'un point de vue MDE, résident donc dans la substitution d'énergie, mais il serait intéressant que cette substitution puisse s'opérer de façon sélective afin que seules les phases de lavage qui le nécessitent soient alimentées en eau chaude.

5.2.5.3 Fréquences d'utilisation mesurées et estimées

La figure 5.28 représente la distribution des lave-vaisselle en fonction de la fréquence d'utilisation hebdomadaire (cycles chauds uniquement). L'allure est fortement dissymétrique et présente un maximum centré sur la classe 1,5 cycle/semaine.

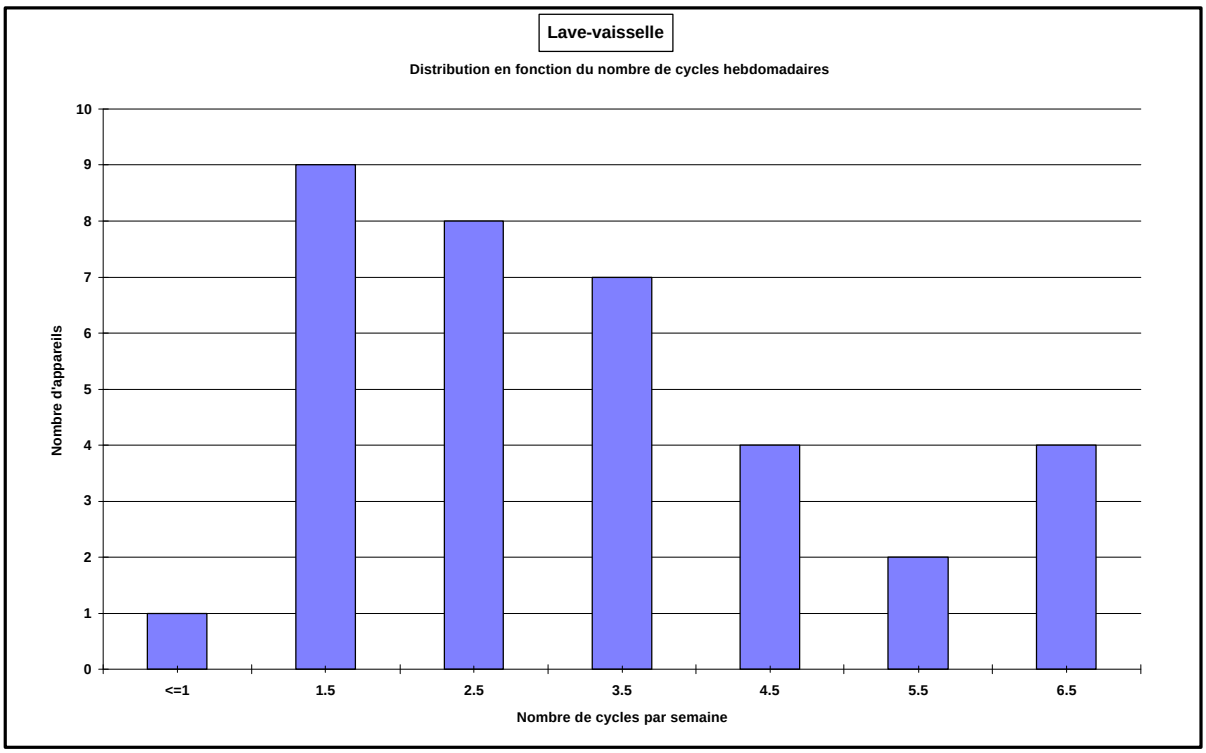


Figure 5.28 : fréquence hebdomadaire d'utilisation des lave-vaisselle.

Les fréquences moyennes d'utilisation qui ont été mesurées sont :

- ☛ tous cycles confondus : 3,6 cycles / semaine
- ☛ cycles froids : 0,5 « «
- ☛ cycles chauds : 3,1 « «

Le questionnaire accompagnant les mesures permet de connaître les fréquences estimées par les usagers. Comme pour les lave-linge, l'impact de ces estimations a ensuite été traduit en termes de consommation annuelle. La figure 5.29 montre que la fréquence estimée par les usagers est de 4.7 cycles/semaine, soit une surestimation de 31 %.

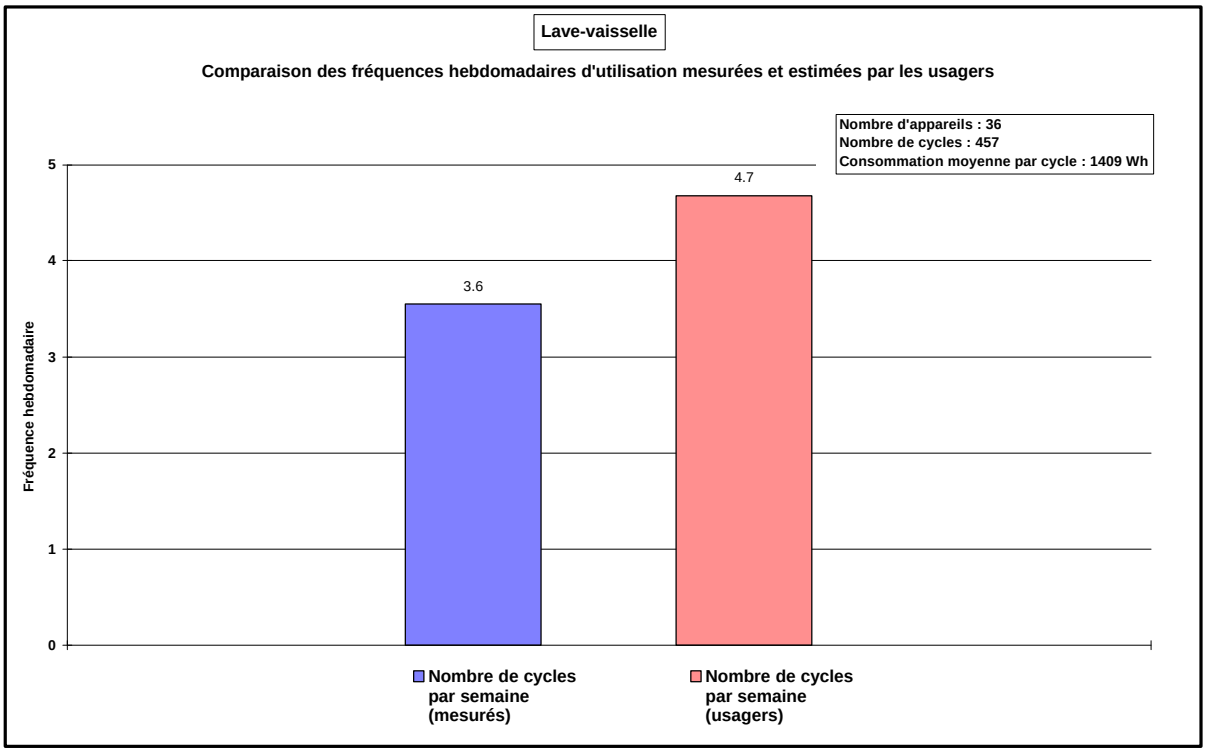


Figure 5.29 : fréquences d'utilisation hebdomadaire mesurées et estimées.

En se référant à la consommation moyenne tous cycles confondus telle qu'elle apparaît dans le tableau de la figure 5.27, on arrive à une consommation estimée de 345 kWh/an au lieu des 262 kWh mesurés.

On constate à nouveau que les estimations faites conduisent à des évaluations qui dérivent fortement de la réalité, en l'occurrence par une hausse de 31%.

5.2.6 Evolution de la consommation en fonction de l'âge

L'étude de l'évolution de la consommation des lave-vaisselle en fonction de leur âge est beaucoup moins simple que pour les lave-linge. En effet pour ceux-ci il existait un dénominateur commun au cours du temps : la température des cycles. Il suffisait donc d'étudier la consommation des cycles à 60 ou à 90°C. Pour les lave-vaisselle, ceci n'est pas possible, du moins dans un passé proche. En effet les cycles ont longtemps été à 65°C. Mais aujourd'hui l'usager a le choix entre plusieurs températures et plusieurs types de cycles que nous n'avons pas pu distinguer, ce qui rend leur comparaison impossible

Nous avons malgré tout représenté sur la figure 5.30 la consommation moyenne d'un cycle chaud observée sur l'ensemble des appareils d'une même classe d'âge.

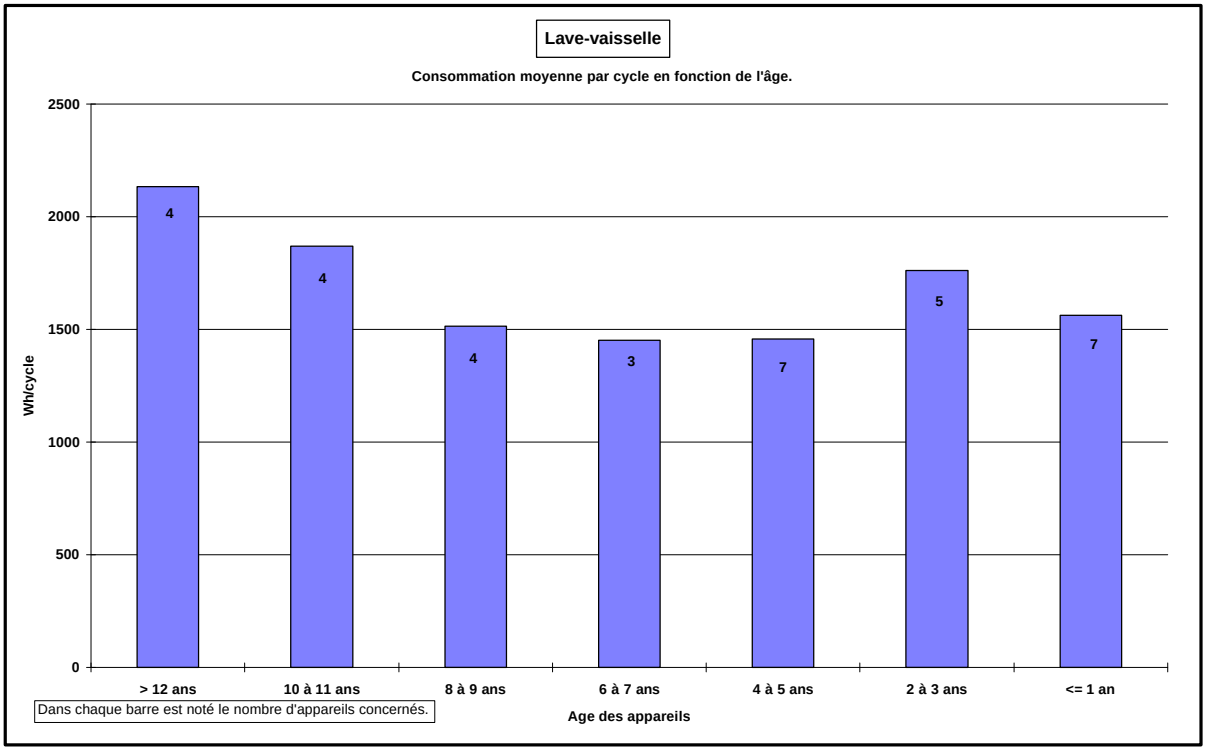


Figure 5.30 : consommation moyenne des lave-vaisselle en fonction de l'âge.

On constate ce qui est l'illustration de la mise en garde qui précède, à savoir que la consommation des appareils de dix ans et plus est effectivement supérieure à celle des appareils plus récents. Pour ceux-ci, la consommation semble d'ailleurs pratiquement indépendante de l'âge.

On peut se risquer à conclure que les performances énergétiques des lave-vaisselle ne sont *a priori* pas affectées par l'âge de l'appareil. En revanche, les appareils récents offrent des alternatives plus économiques à l'unique programme à 65°C des machines anciennes, ce qui permet une réduction de la consommation unitaire des cycles.

5 - 3 LES SECHE-LINGE

5-3-1 Caractéristiques de l'échantillon

Le nombre d'appareils suivis est de 30, se décomposant en 14 sèche linge à condensation et 16 sèche linge à évacuation. La durée moyenne du suivi a été de 26,6 jours pour les sèche-linge à condensation et de 23,7 jours pour les sèche-linge à évacuation. Dans la plupart des analyses qui vont suivre la distinction entre les deux types d'appareils sera abandonnée afin de constituer un échantillon suffisamment représentatif.

5-3-2 Nature des besoins électriques

La figure 5.31 représente pour une même machine, la courbe des puissances appelées pour différents cycles. La notion de cycle n'existe pas pour les sèche-linge puisque la régulation, qu'elle soit manuelle (il s'agit alors plutôt d'une programmation) ou automatique, adapte la durée de fonctionnement aux besoins spécifiques de la charge.

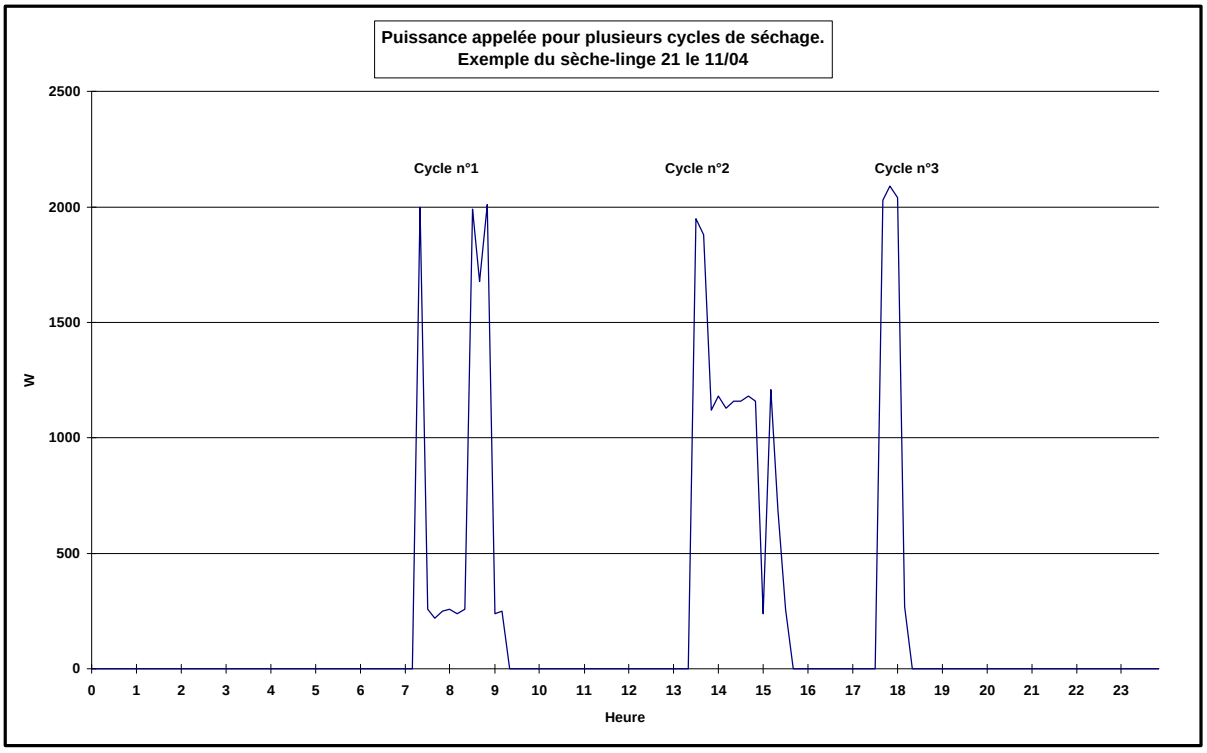


Figure 5.31 : puissance appelée pour différents cycles de séchage (sèche-linge).

La puissance appelée par un sèche-linge est la même tout au long d'un cycle. Certains appareils disposent d'une touche pour puissance intermédiaire qui conduit à un appel de puissance plus faible et à une durée de séchage plus longue. Il peut aussi arriver que le traitement de certains textiles synthétiques nécessite des puissances intermédiaires moins importantes. L'appareil choisi pour la représentation de la figure 5.31 semble disposer de cette fonction à mi-puissance.

La figure 5.32 donne l'évolution dans le temps de la consommation cumulée d'énergie mesurée au cours des trois cycles observés sur la figure 5.31. Elle constitue un bon complément pour la compréhension des phénomènes.

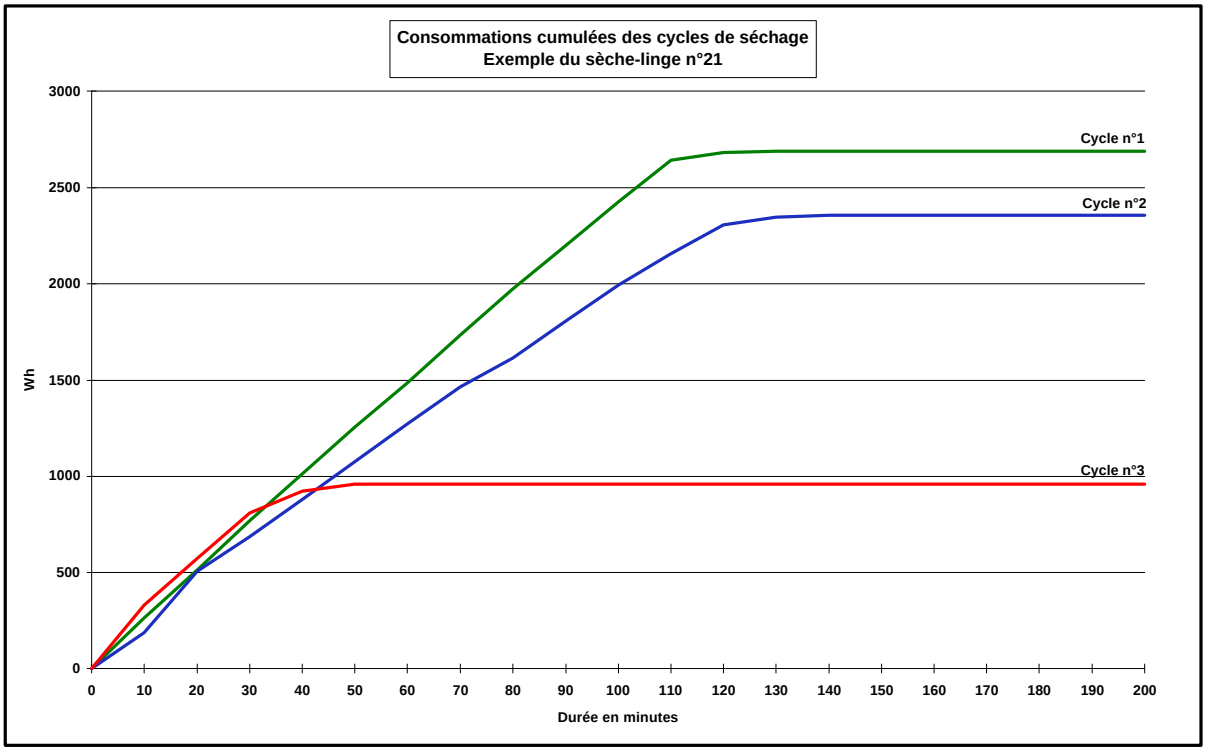


Figure 5.32 : consommations cumulées en fonction du temps pour les cycles de la figure 5.31.

En effet, on remarque parfaitement bien la différence de pente entre les cycles n°1 et 2 correspondant à des appels de puissance de niveaux différents. On remarque aussi qu'en apparence, à la lecture de la figure 5.31, l'appel de puissance n'est pas constant, alors que la figure 5.32 nous montre le contraire. L'explication tient dans le principe du système de mesures : la puissance est calculée à partir de l'énergie absorbée pendant les dix secondes qui précèdent l'interrogation de la prise compteuse. L'appareil régulant en tout ou rien, il peut arriver qu'au moment de l'interrogation la puissance se trouve réduite à celle du moteur du tambour, ce qui n'était probablement pas le cas quelques secondes avant ou après.

La figure 5.33 représente l'ensemble des cycles observés pendant un mois sur le même appareil. On constate la grande dispersion des consommations unitaires qui vont de 900 à 4500 kWh.

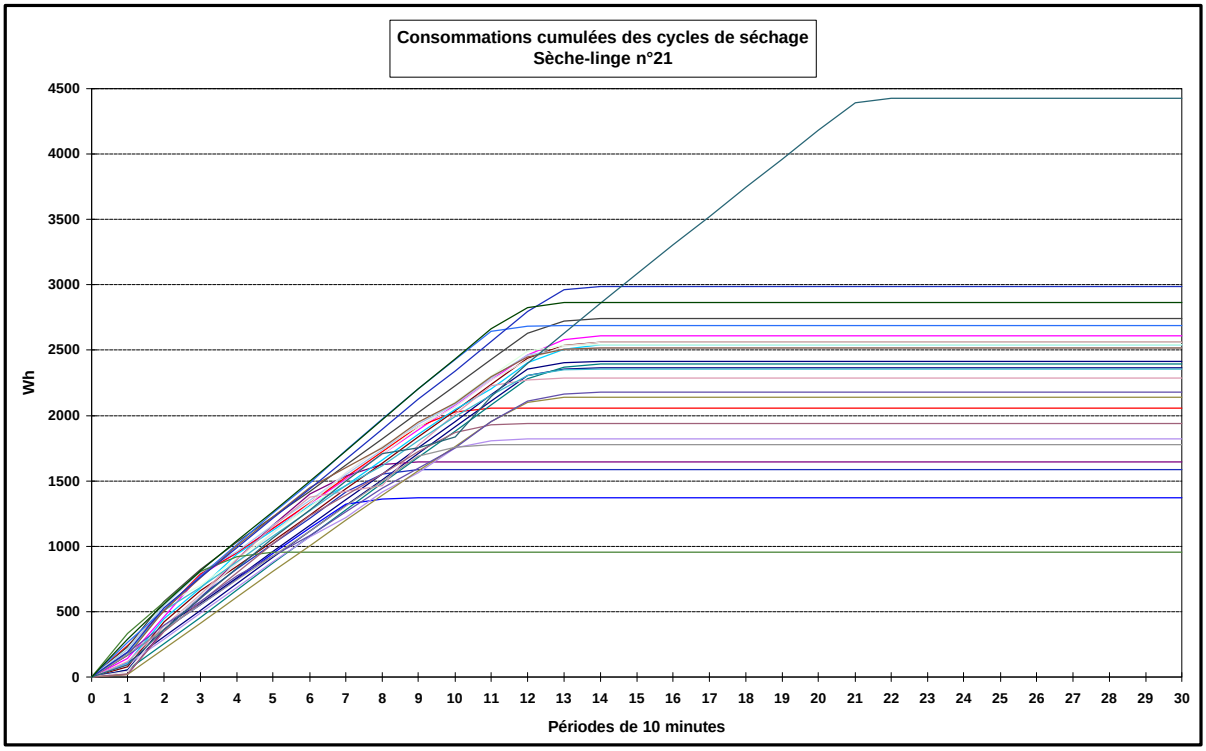


Figure 5.33 : consommations cumulées en fonction du temps pour l'ensemble des cycles d'un même sèche-linge.

Il n'a pas été possible de mesurer directement la répartition des consommations électriques à usages spécifique et non spécifique. Toutefois, on peut évaluer cette répartition à partir de représentations semblables à celles des figures 5.32 et 5.33. si on suppose, ce qui est assez pessimiste, que la puissance appelée en continue par le ventilateur et le moteur du tambour est de 200 W et qu'elle fonctionne en permanence pendant toute la durée du cycle. On arrive alors à la conclusion que **la part de la consommation d'électricité spécifique d'un sèche-linge dans sa consommation totale est au maximum de 15%**, le reste étant destiné au chauffage qui n'est pas un usage captif de l'électricité. Cette part est en principe indépendante de la longueur du cycle de séchage.

5-3-3 Consommation d'énergie

La figure 5.34 donne la distribution des sèche-linge (tous types confondus) en fonction de leur consommation journalière. La consommation moyenne est de 1315 Wh/j (soit **480 kWh/an**) et la consommation médiane est de 900 Wh/j (soit 329 kWh/an). **On notera qu'en moyenne un sèche-linge consomme exactement le double d'un lave-linge.**

Ouvrons une parenthèse pour signaler que la consommation moyenne des appareils à condensation est de 1131 Wh/j (413 kWh/an), alors que celle des modèles à évacuation est de 1476 Wh/an (539 kWh/an). Mais ceci cache la réalité car en fait **ce sont les appareils à condensation dont la consommation par cycle est la plus élevée, 2570 Wh/cycle, contre seulement 2161 Wh/cycle pour les appareils à évacuation (soit un écart de 19 %).**

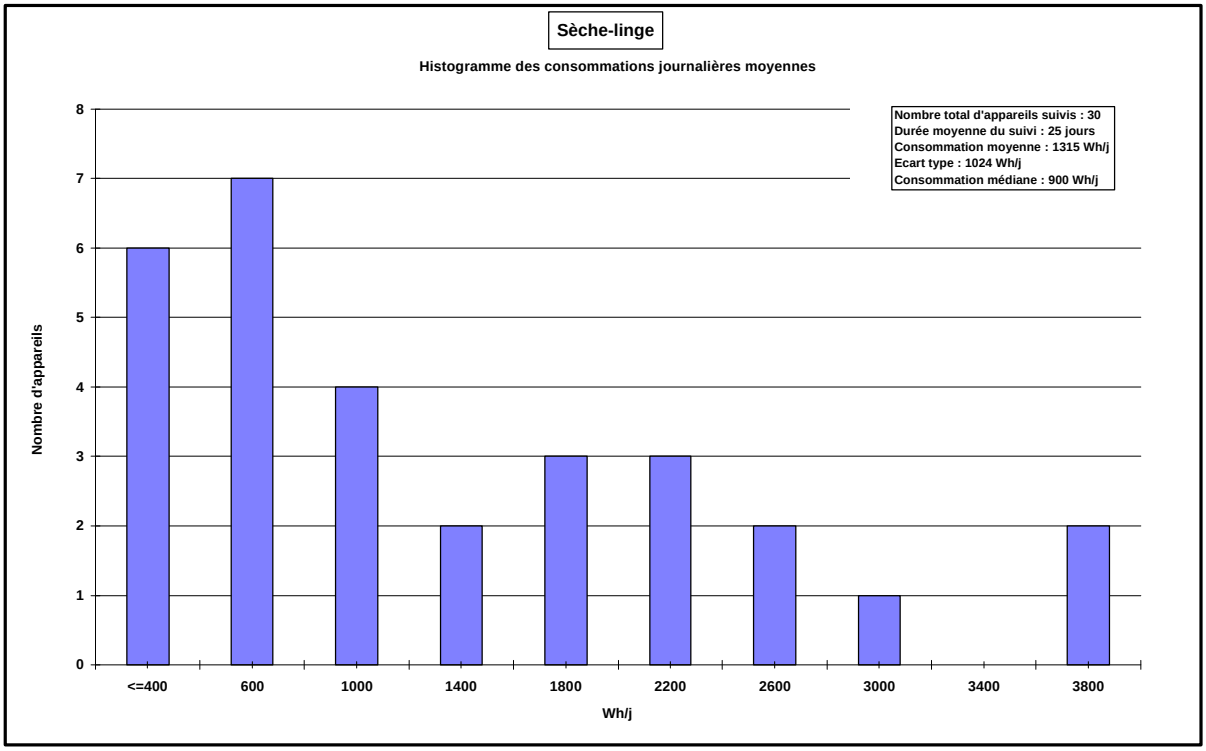


Figure 5.34 : histogramme des consommations journalières moyennes des sèche-linge.

La plage des consommations est très étendue puisqu'elle va de 1 à 10. L'écart type est de 1024 Wh/j (soit 374 kWh/an), valeur qui atteste d'une très grande dispersion assez caractéristique de cet appareil. On peut avancer à cela plusieurs explications. D'abord, comme le montre la figure 5.33, il existe de grands écarts dans la consommation unitaire des cycles dus aux variations du poids de linge à sécher, à sa nature et à son degré d'humidité. Il y a ensuite une explication de caractère plus sociologique. On remarque en effet, et d'autres enquêtes en cours le confirment, que le sèche linge est un appareil plutôt controversé par ses propriétaires, à l'inverse de tous les autres appareils étudiés dans ce chapitre. Les inconditionnels du sèche-linge l'utilisent systématiquement, alors qu'à l'inverse certains lui reprochent son coût d'exploitation qu'ils pressentent élevé sans pouvoir donner de précisions, et ont recours à des techniques d'utilisation « déviantes » allant du présèchage à l'air libre (finition au sèche-linge) à l'utilisation très confidentielle de l'appareil (on a ainsi observé 2,8 kWh en une année!).

Remarquons le caractère très asymétrique de cette distribution, avec une valeur maximale centrée sur la classe 600 Wh/j (219 kWh/an).

La figure 5.35 fournit la répartition des appareils en fonction de la consommation par personne et par jour. L'allure de cette distribution est similaire à la précédente, avec un maximum centré sur la classe 200 Wh/j/hab. La valeur moyenne est de 364 Wh/j/pers (soit 133 kWh/an/pers), ce qui situe toujours la consommation spécifique du sèche-linge dans un rapport sensiblement de 1 à 2 avec le lave-linge, comme pour la consommation annuelle.

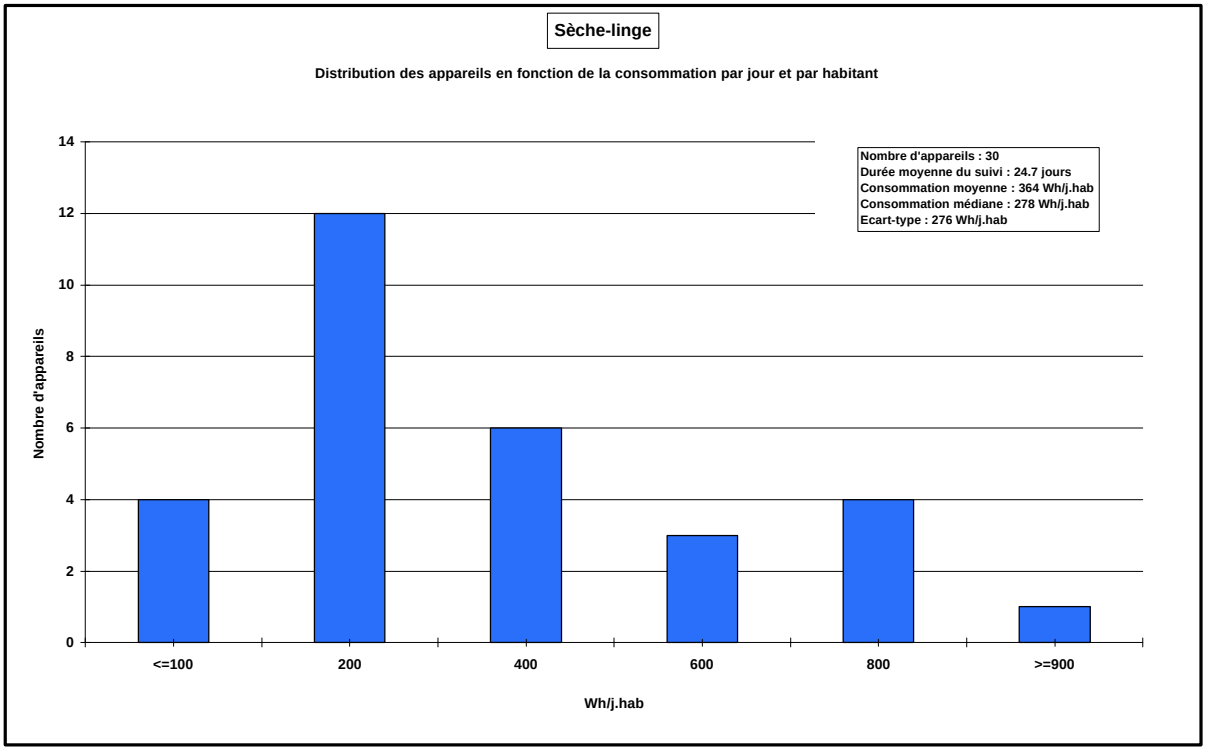


Figure 5.35 : distribution des sèche-linge en fonction de la consommation par jour et par habitant.

L'étude suédoise de ***Nutek*** a également examiné le séchage du linge. Mais les techniques utilisées sont plus nombreuses en Suède qu'en France et l'ensemble des résultats ne peut être comparé aux valeurs trouvées dans la campagne Ciel. En effet, « tous modes de séchage confondus », la consommation électrique annuelle pour le séchage du linge est de 255 kWh/an, soit beaucoup moins que dans notre enquête (480 kWh/an). En revanche si on s'intéresse aux appareils qui correspondent aux sèche-linge de notre expérience, la consommation annuelle est de 372 kWh/an, soit encore 23 % de moins que dans Ciel.

Cet écart reste très important et mérite d'être expliqué. D'autant plus que la fréquence des lessives dans l'échantillon ***Nutek*** est supérieure à celle de l'échantillon Ciel, comme on l'a vu au § 5.3, donc qu'il a aussi plus de linge à sécher. L'écart de consommation réelle est donc supérieur aux 23% évoqués précédemment.

Quelles explications peut-on avancer?

On a observé (voir figure 5.33) que la consommation d'un cycle de séchage peut énormément varier. Ceci est uniquement dû au poids de linge à sécher, à sa nature et à son état d'humidité. Le coton retient des quantités d'eau beaucoup plus importantes que les tissus synthétiques (de l'ordre de 30% en plus). L'état d'humidité renvoie quant à lui à la qualité d'essorage du lave-linge en amont, et donc à la vitesse de rotation à ce moment là. Passer de 400 à 1100 t/min permet de réduire d'environ 30% le poids d'eau dans les tissus, donc de réduire d'autant la consommation d'énergie due au séchage. A défaut de connaître la nature des vitesses d'essorage et des textiles majoritairement utilisés par les usagers des échantillons français et suédois, on ne pourra rien conclure de définitif. Mais on voit que les marges de variation sont considérables.

Autre facteur explicatif : la nature de la régulation des machines : les plus courantes en France ne comportent qu'une minuterie commandée par l'usager. Le temps minimum de séchage est donc toujours dépassé. Mais il existe désormais d'autres systèmes de régulation basés sur une analyse indirecte de l'humidité du linge qui permettent d'optimiser réellement le temps de séchage. Nous ignorons là aussi la nature des systèmes utilisés en Suède et en France et ne pourrons donc conclure.

5-3-4 Courbe de charge horaire moyenne

La figure 5.36 donne pour les sèche-linge la « courbe de charge horaire ». La différence entre les types de sèche-linge n'ayant pas d'incidence sur ce type de courbe, l'ensemble des appareils a été pris en compte.

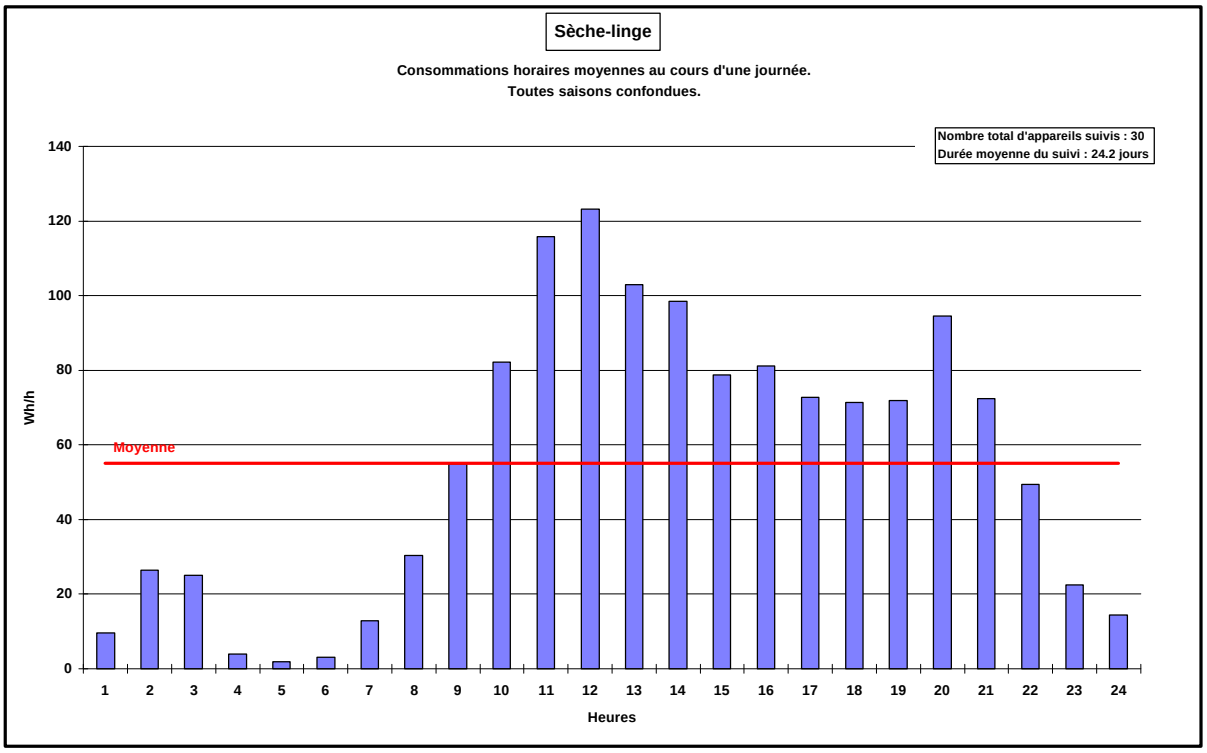


Figure 5.36 : consommation horaire moyenne des sèche-linge au cours d'une journée.

Lorsqu'on superpose cette courbe avec celle des lave-linge on observe qu'elles sont à peu de chose près identiques et déphasées d'environ deux heures, à l'exception du soir pour lequel le déphasage entre les lavages faits vers 20 h et le séchage est beaucoup plus important.

Il est donc normal de constater que **le séchage du linge est majoritairement une opération de fin de matinée et qui se situe, pour le distributeur d'électricité, dans la pointe importante du matin réputée la plus délicate**. Mais contrairement au lavage, il n'y a pas de véritable ralentissement en cours d'après midi. A noter également une activité assez soutenue la nuit jusqu'à 3 h du matin qui s'explique certainement par le recours au tarif de nuit.

Pour l'utilisateur d'un sèche-linge, celui-ci est équivalent à un puisage continu d'environ 55 W.

5.3.5 Variation de la consommation en fonction des saisons

Il est intéressant de savoir si le sèche-linge est plutôt utilisé en hiver, ou peut-être même surtout en mi-saison, quand le degré hygrométrique et la température de l'air ne sont pas favorables, ou bien si les usagers l'ont adopté indifféremment en toutes saisons.

La figure 5.37 a été établie en créant des sous-ensembles regroupant les appareils en fonction de la saison pendant laquelle ils ont été suivis. Comme prévu, **les sèche-linge sont majoritairement utilisés en hiver, période pendant laquelle ils consomment 36,4 % de plus qu'en mi-saison et 75,2 % de plus qu'en été. Leur caractère très saisonnier est ainsi confirmé. Leur impact au regard de la charge du réseau est maximum en hiver à l'heure de la pointe matinale, c'est à dire au plus mauvais moment de l'année pour les producteurs d'électricité.**

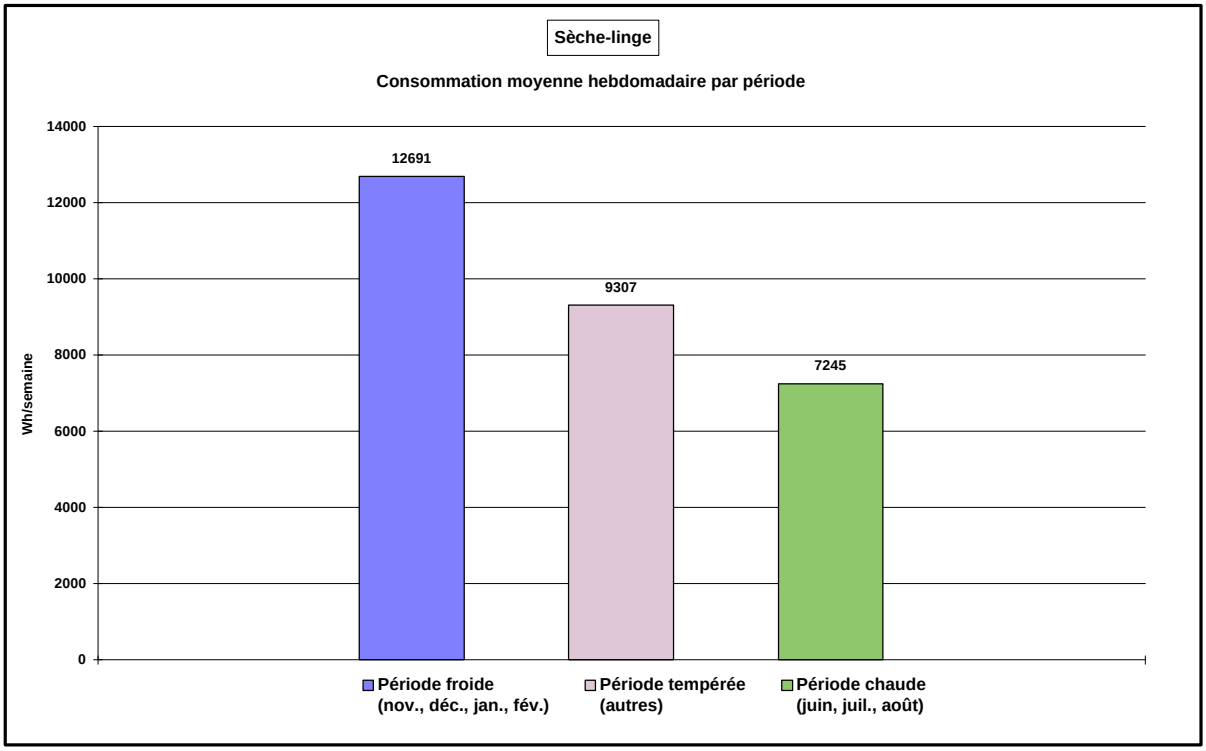


Figure 5.37 : consommation hebdomadaire moyenne des sèche-linge en fonction de la période de l'année.

5.3.6 Etude des cycles

Au total, 532 cycles de séchage ont pu être étudiés. La figure 5.38 donne la distribution des cycles en fonction de leur consommation.

On observe une plage de résultats extrêmement étendue, plus que pour tous les autres appareils déjà étudiés : de 1 à 15. En réalité les fichiers font état de « cycles » de quelques Wh, et à l'autre extrémité de cycles d'environ 7500 Wh. On doit donc considérer dans les faits, que la plage est quasiment infinie.

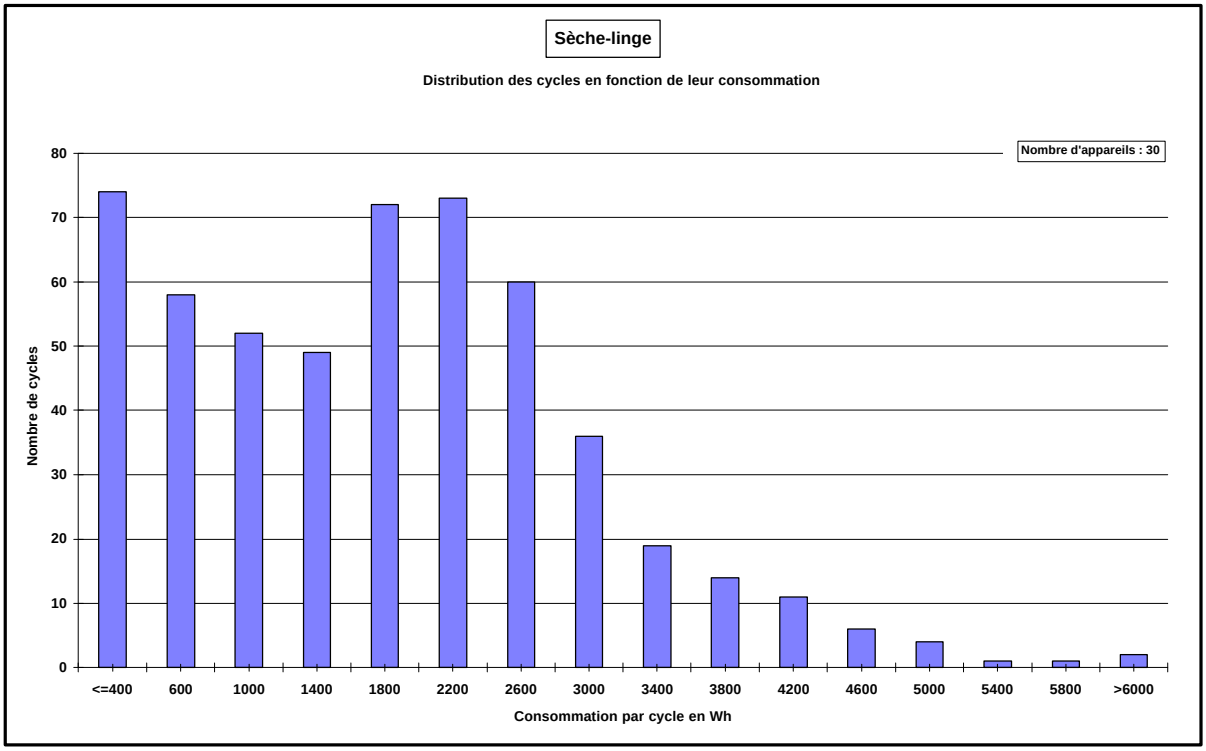


Figure 5.38 : distribution des cycles des sèche-linge en fonction de leur consommation.

Mais comment interpréter de tels niveaux de consommation, en tous cas pour un appareil fonctionnant de manière conventionnelle? Ainsi à quoi correspondent des consommations de quelques Wh? Un démarrage suivi d'un arrêt pour des raisons inconnues, ou une fonctionnalité propre à cet usager? On a vu que certaines personnes préséchent le linge à l'extérieur pour faire des économies. Faut-il comptabiliser comme un cycle normal les 4 ou 500 Wh consommés dans le séchage final? De même observe-t-on des cycles dont le niveau de consommation est beaucoup plus important que les 4500 ou 5000 Wh que peut nécessiter au maximum le séchage de 5 kilos de coton essorés à 400 t/mn. S'agit-il de linge lavé à la main, donc très mal essoré, et passé ensuite au sèche-linge? S'agit-il de charges exceptionnelles? Ou encore d'objets spéciaux comme des carpettes lavées à la main et gorgées d'eau?

La présentation des résultats, et notamment l'expression de valeurs moyennes, nécessitait de faire un tri et de ne pas prendre tous les cycles lorsque leur consommation ne pouvait manifestement pas s'apparenter à un cycle de séchage conventionnel. Pour cela nous avons fait trois types de tri et de calcul en prenant :

- tous les cycles sans distinction de consommation,
- seulement les cycles dont la consommation dépasse 500 Wh. On peut considérer que l'on est encore là dans le domaine des utilisations marginales du sèche-linge,
- seulement les cycles dont la consommation est supérieure à 900 Wh, ce qui peut être considéré comme le seuil minimal d'un cycle de séchage conventionnel (peu de linge, constitué de tissu synthétique très bien essoré).

Le tableau de la figure 5.39 donne les principales caractéristiques des cycles ainsi définis.

	Tous cycles confondus	Cycles ≥ 500 Wh	Cycles ≥ 900 Wh
Nombre de cycles étudiés	532	447	388
Consommation moyenne par cycle (Wh)	1807	2106	2319
Durée (minutes)	85,6	96,2	104,0
Consommation totale en kWh/an	479,9 (100 %)	469,1 (97,7 %)	446,6 (93,1 %)

Figure 5.39 : Principales caractéristiques des cycles de sèche-linge

La consommation des sèche-linge place cet appareil en tête des appareils à cycles. Nous admettrons qu'un cycle conventionnel répond aux caractéristiques définies dans la colonne de droite du tableau (avec 900 Wh on sèche environ un kilo de coton mouillé). **On peut donc considérer que la consommation moyenne d'un cycle conventionnel est de 2320 Wh, toutes charges confondues**.

5.3.7 Fréquences d'utilisation mesurée et estimée par les usagers

La figure 5.40 compare la fréquence d'utilisation telle qu'elle a été mesurée par le système DIACE et telle qu'elle a été estimée par les usagers. Comme à l'habitude il ressort un écart.

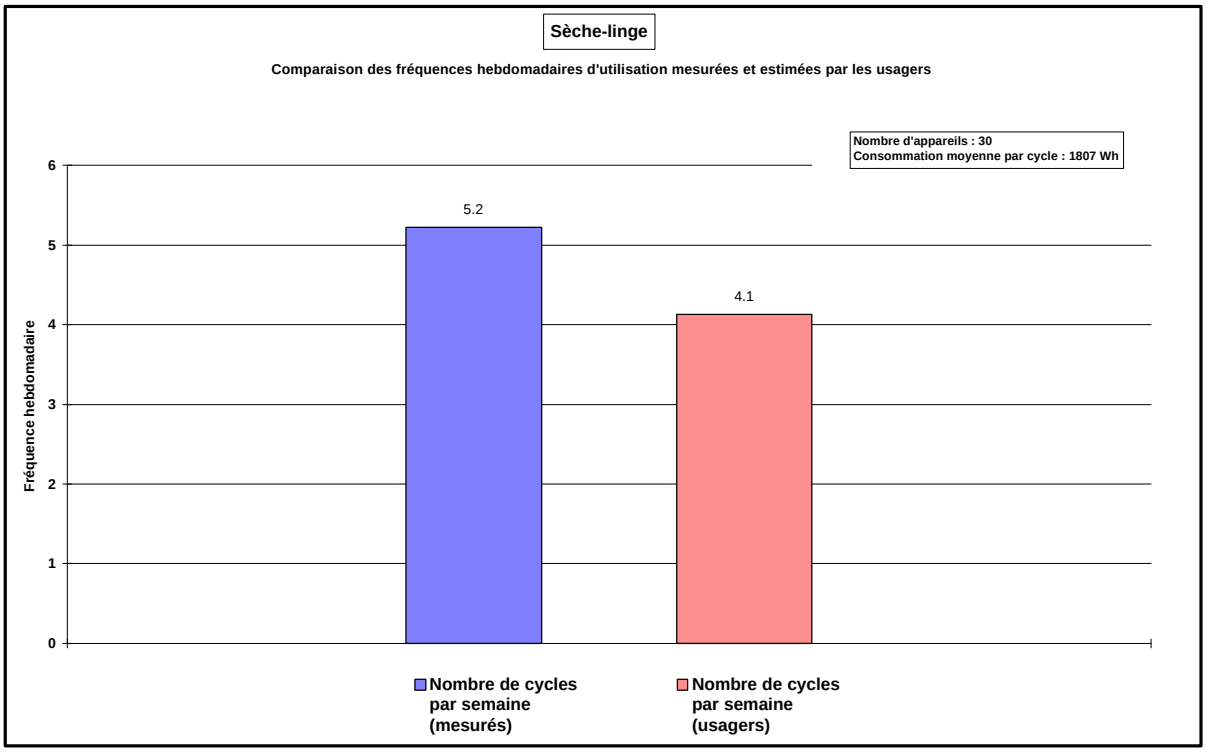


Figure 5.40 : fréquences d'utilisation hebdomadaire mesurées et estimées.

Il correspond cette fois ci à une sous-estimation de 21 % de la part des usagers. Mais ceci est à nuancer car de quels cycles parle-t-on? Nous avons vu que de nombreuses opérations ne pouvaient pas porter le nom de cycle. Est-ce que les utilisateurs les ont intégrées dans leur estimation, ou bien n'ont-ils évalué que les véritables cycles complets? Ceci constitue une nouvelle source d'incertitude et d'approximation propre à l'évaluation par enquête.

En effet la valeur que nous donnons comme mesurée est la fréquence tous cycles confondus. Mais si nous ne considérons que les opérations consommant plus de 500 Wh, la fréquence n'est plus que de 4,3 cycles/semaine. Et si nous n'envisageons que les cycles dignes de ce nom (consommation ≥ 900 Wh) la fréquence devient 3,7 cycles/semaine! Quelle est la bonne valeur? On peut tenter de répondre en partant du nombre de cycles de lave-linge, *a priori* fiable, que l'on suppose identique en toute saison et que l'on pondère par les variations de consommation saisonnière des sèche-linge (voir figure 5.37) : on trouve 3,86 cycles/semaine, ce qui est en bonne cohérence avec la valeur mesurée ci-dessus (3,7). Dans ce cas, l'estimation faite par les usagers (si elle porte, comme on peut le penser, sur les cycles réels) conduit à une surestimation de 11 % de la valeur mesurée!

Dans la technique d'évaluation des consommations par enquête auprès des usagers, il reste une dernière étape très délicate dans le cas des sèche-linge : quelle consommation choisir pour un cycle? En effet, puisqu'il persiste une incertitude dans ce que l'usager a considéré comme un cycle, il est difficile de savoir s'il faut choisir la consommation tous cycles confondus ou bien la consommation des cycles dignes de ce nom (baptisés précédemment « cycles conventionnels »). Or dans un cas la fréquence d'utilisation annoncée par les usagers conduit à 386 kWh/an (et cela inclut tous les usages possibles du sèche linge), et dans l'autre à 496 kWh/an (mais cela exclut tous les usages marginaux qui représentent pourtant un supplément de 7,5 %). Rappelons que la consommation réelle est de 479,9 kWh/an.

En conclusion, la comparaison des fréquences mesurée et estimée pour les sèche-linge révèle un nouveau type de difficultés lié à l'usage de cet appareil pour lequel la notion de cycle est en réalité extrêmement floue. On ne sait donc pas ce que les usagers ont inclus dans leurs estimations. Il en résulte, dans l'évaluation des consommations, une double imprécision due à l'erreur de l'usager d'une part, et à l'incertitude affectant d'autre part la consommation de référence qu'il convient d'adopter pour un cycle moyen.

5 - 4 LES FERS A REPASSER

Le nombre d'appareils suivis est de 46, et la durée moyenne du suivi de 25,8 jours.

Les fers à repasser, comme beaucoup d'appareils un peu secondaires qui ont été étudiés dans ce rapport, ont peu fait l'objet d'expérimentations en Europe jusqu'à maintenant. Mais tous ensemble, ces appareils représentent annuellement plusieurs dizaines de % dans le bilan des consommations d'électricité spécifique. C'est pourquoi nous allons présenter rapidement les résultats obtenus avec chacun d'eux afin de donner désormais plus de consistance au poste « autres » dans les bilans énergétiques....

5-4-1 Nature des besoins électriques

Le profil de la demande d'un fer à repasser est des plus banals, puisqu'il s'agit d'une simple résistance thermostatée. La puissance maximale appelée est en moyenne d'environ 1000 W mais il a été observé jusqu'à 2170 W. La figure 5.41 donne la distribution des puissances appelées sur l'ensemble des cycles observés.

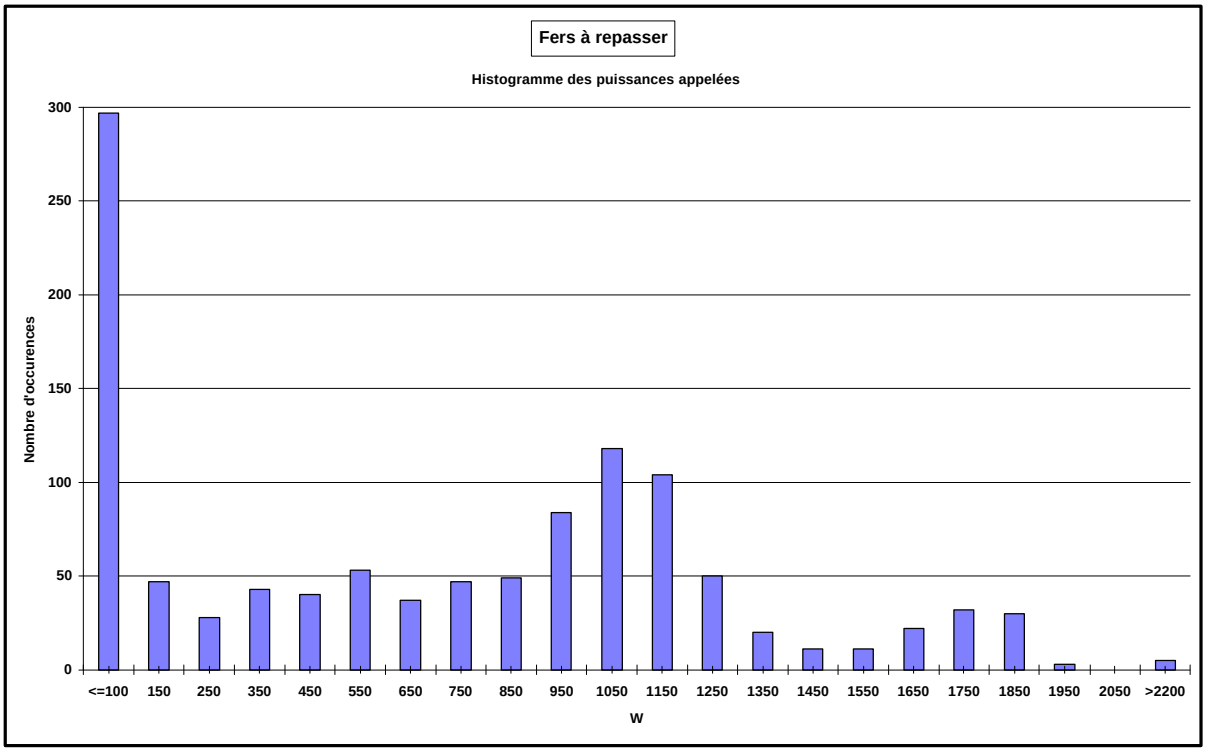


Figure 5.41 : histogramme des puissances appelées par les fers à repasser.

On remarque que toutes les puissances jusqu'à environ 1400 W sont appelées sensiblement avec la même fréquence, sauf pour une pointe centrée autour de 1100/1200 W. On pourrait penser que les fers à repasser disposent d'un rhéostat réglant le niveau de puissance en fonction du textile à traiter, la régulation par thermostat tout ou rien agissant ensuite pour affiner le réglage de la température. En fait il n'en est rien. Le système de mesures utilisé donne la puissance toutes les dix minutes en transformant en puissance l'énergie consommée dans les dix dernières secondes. Cette fréquence de mesures est tout à fait

impropre à rendre compte des rythmes de démarrage et d'arrêt d'un fer à repasser. Ceux-ci se produisent environ toutes les 30 secondes ou toutes les minutes, si bien que les valeurs observées correspondent à des arrêts ou des démarrages (très fréquents) à l'intérieur de la période de mesures de dix secondes.

La pointe observée autour de 1100/1200 W correspond à la puissance nominale de la plupart des fers à repasser. Il est donc normal qu'elle apparaisse statistiquement plus souvent que les autres dans l'histogramme. Enfin, l'importance de la classe « moins de 100 W » correspond aux périodes d'arrêt imposées par la régulation thermostatée.

La figure 5.42 représente l'appel de puissance pour un appareil. C'est une illustration du mode de régulation décrit ci-dessus : on voit parfaitement que le fonctionnement s'effectue à pleine puissance, et que l'appareil régule par marche/arrêt.

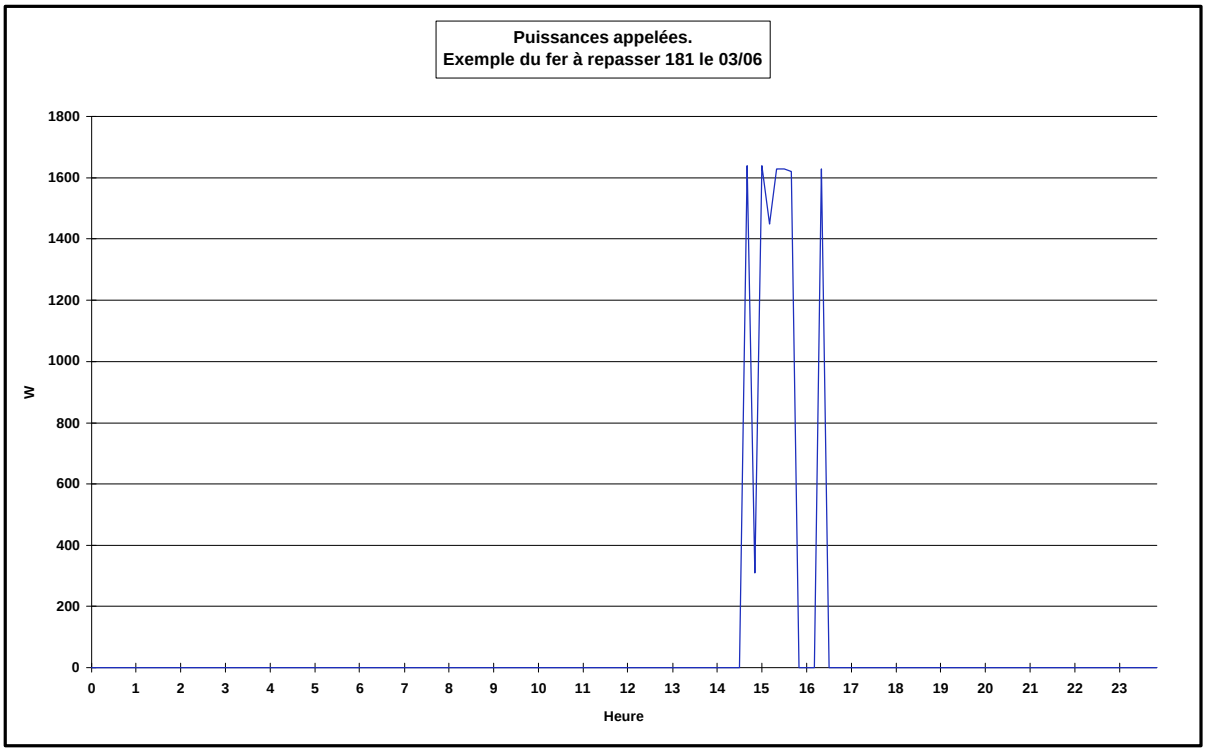


Figure 5.42 : puissance appelée pour un fer à repasser au cours d'une journée.

5.4.2 Consommation d'énergie

L'histogramme des consommations journalières de la figure 5.43 fait apparaître une distribution asymétrique regroupant les appareils plutôt dans les classes de consommation les plus faibles, le maximum étant centré sur la classe 75 Wh/j. La consommation journalière moyenne est de 116 Wh (soit **42,3 kWh/an**), soit plus de 5 fois moins que la consommation des lave-linge. A noter la consommation médiane qui ne dépasse pas 74 Wh/j (soit 27 kWh/an).

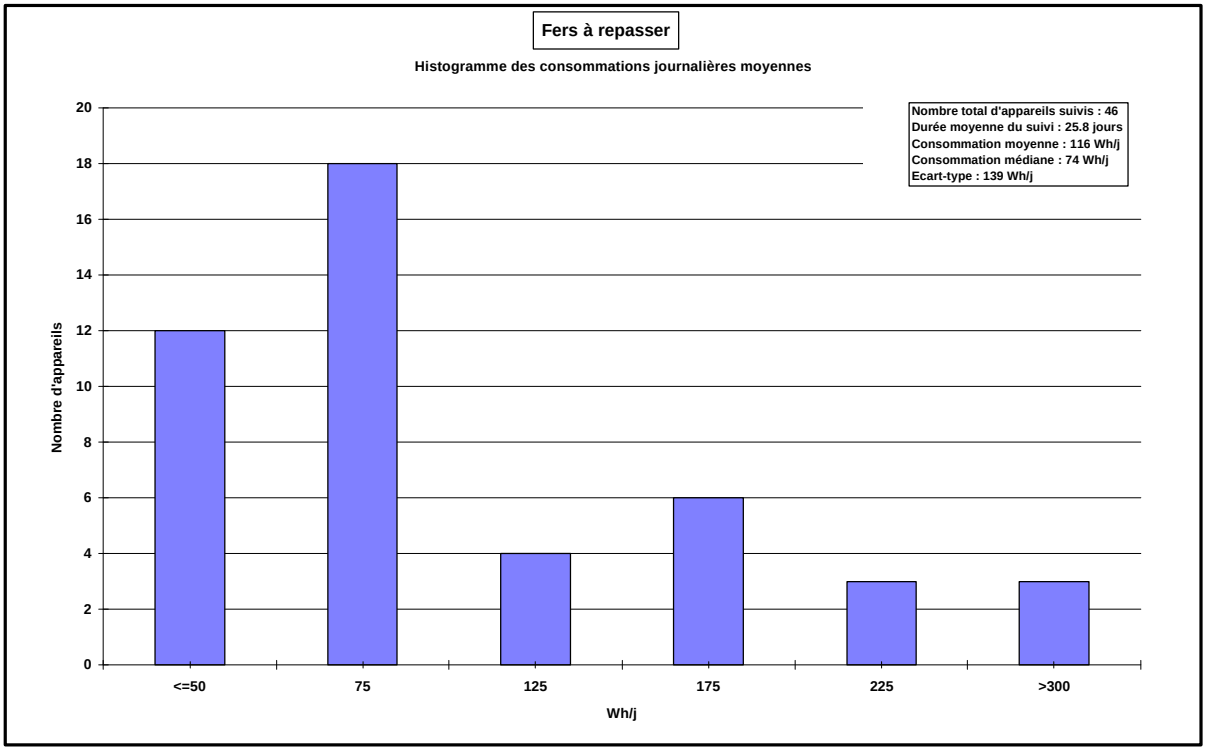


Figure 5.43 : histogramme des consommations journalières moyennes des fers à repasser.

La distribution des appareils en fonction de la consommation journalière par personne est très semblable à la précédente comme le montre la figure 5.44 sur laquelle on note qu'il existe un maximum centré sur la classe 30 Wh/pers/jour. En moyenne la consommation par personne et par jour est de 40 Wh (soit 14,6 kWh/an/pers.) et la valeur médiane de 28 Wh/pers/j. Ces valeurs sont cohérentes avec celles qui précédent.

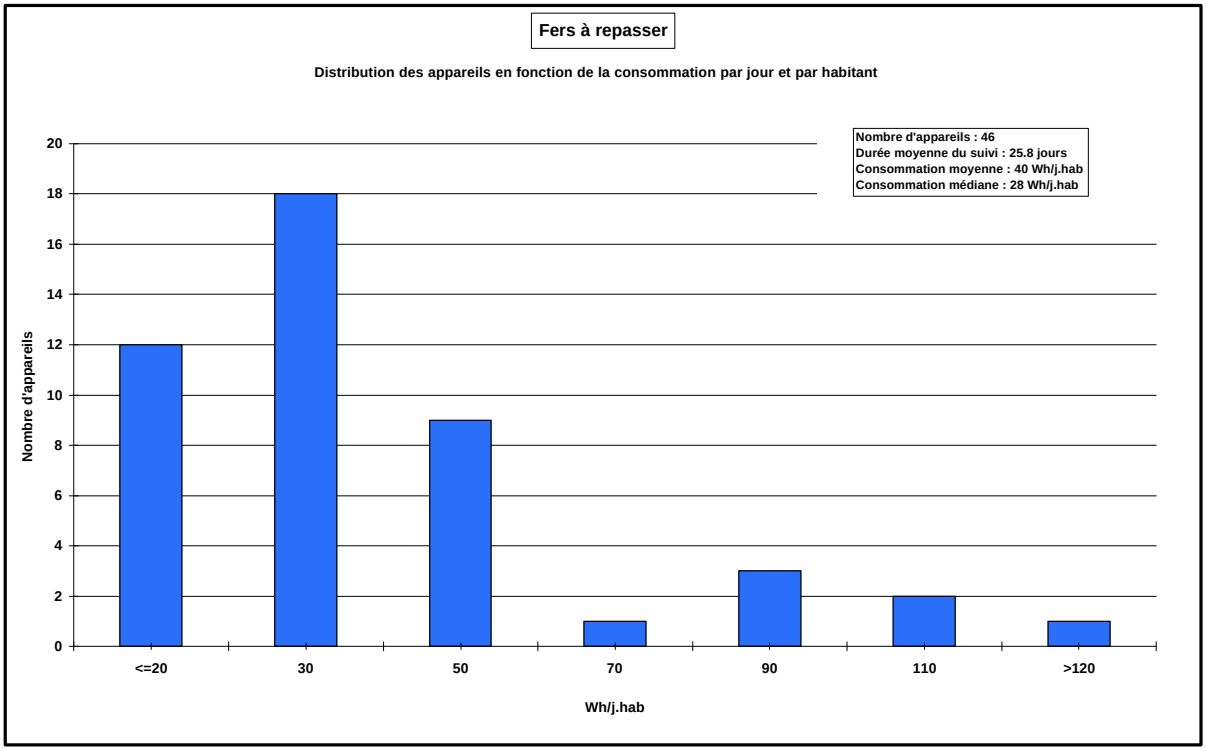


Figure 5.44 : distribution des fers à repasser en fonction de la consommation par jour et par habitant.

Le graphique de la figure 5.45 est donné à titre anecdotique. Il représente la consommation par habitant et par jour pour l'ensemble des appareils suivis. On voit l'impact considérable des habitudes et des cultures puisque, pour une famille, le repassage absorbe 285 Wh/j/personne, alors qu'à l'autre extrémité d'autres familles ne consomment que 1 Wh/jour/personne. On a pu observer sur d'autres expériences des cas extrêmes où la consommation annuelle du fer à repasser est de 10 % supérieure à celle du lave-linge.

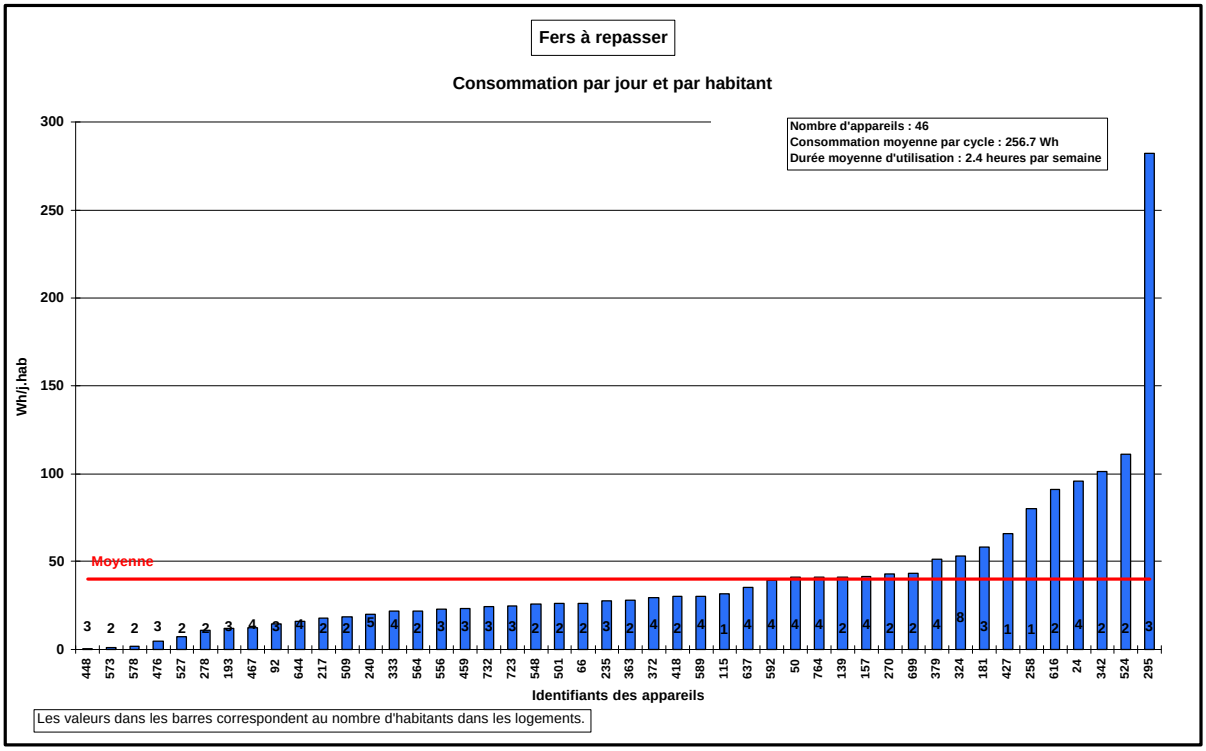


Figure 5.45 : consommation par jour et par habitant pour chaque fer à repasser de l'échantillon.

Sur certains appareils, qui ne sont pas autant indispensables qu'un réfrigérateur ou qu'un lave-linge, on observe presque toujours des plages de consommation extrêmement étendues. La représentativité des valeurs moyennes est donc plus problématique que pour les machines dont le mode d'utilisation, d'un foyer à l'autre, ne diffère qu'assez peu.

5.4.3 Courbe de charge horaire moyenne

La figure 5.46 appelle plusieurs commentaires :

☛ on est surpris de voir qu'en pleine nuit il existe encore une puissance consommée par des fers à repasser. C'est vraisemblablement parce qu'un certain nombre d'appareils restent branchés par oubli après le repassage. Ceci est confirmé par l'étude des cycles dans laquelle apparaissent des durées de fonctionnement tout à fait anormales (qui peuvent dépasser 12 h). On est d'ailleurs en droit de penser que ce phénomène ne se produit pas que la nuit, et si l'on admet qu'il a la même importance le jour que la nuit cela signifie que **la consommation des fers à repasser laissés branchés après la fin du repassage représente environ 7 % de la consommation totale de cet appareil**.

☛ l'usage du fer à repasser semble assez bien réparti tout au long de la journée, même si on observe une pointe d'utilisation à 11 h et une seconde à 18 h.

☛ le fer à repasser est équivalent à une charge continue de 5 W.

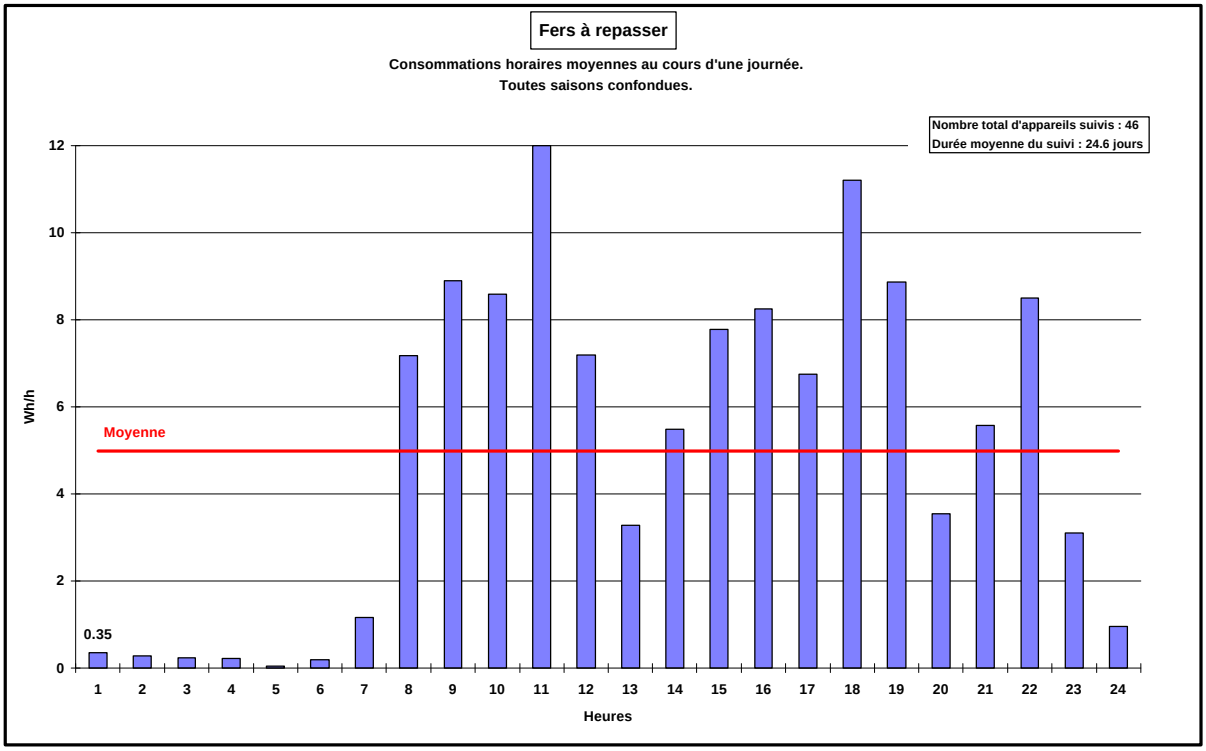


Figure 5.46 : consommation horaire moyenne des fers à repasser au cours d'une journée.

5.4.4 Variation de la consommation en fonction des saisons

En examinant la consommation des appareils après les avoir regroupés en fonction de la période de l'année où s'est effectué le suivi, on constate sur la figure 5.47, que la consommation des fers à repasser serait deux fois plus importante en période chaude que dans tout le reste de l'année. Cette conclusion s'explique difficilement et devra donc être confirmée par d'autres observations.

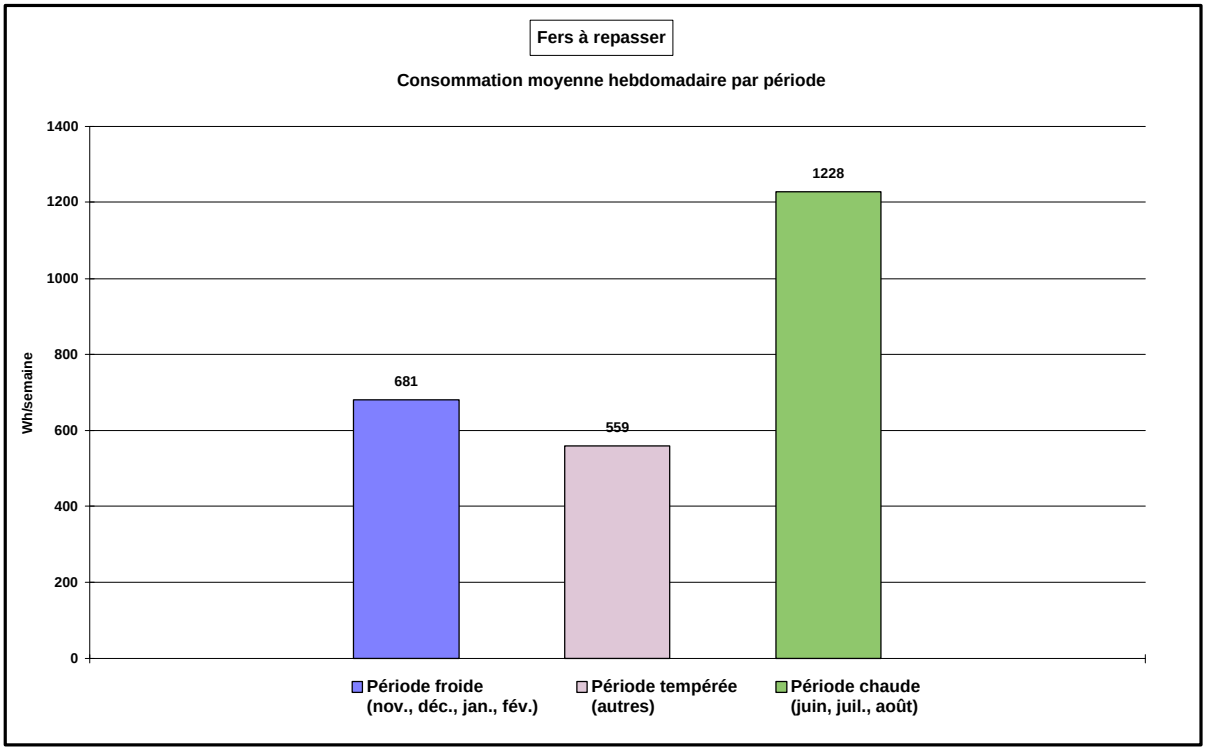


Figure 5.47 : consommation hebdomadaire moyenne des fers à repasser en fonction de la période de l'année.

Une première explication est donnée par la présence d'un appareil anormalement consommateur déjà observé sur la figure 5.45 (celui consommant 285 Wh/j/hab). Sans sa présence, la consommation moyenne en été est ramenée à 892 Wh/semaine au lieu de 1228, si bien que l'écart entre l'été et le reste de l'année n'est plus que de 44 %.

On peut avancer une première hypothèse à ce phénomène mais elle doit être prise avec une extrême précaution car les échantillons observés ne touchent pas nécessairement les mêmes familles. On a vu en effet que les sèche-linge sont deux fois moins utilisés en été qu'en hiver. Or l'usage du sèche-linge réduit en partie, ou facilite, l'opération de repassage. Ainsi en été, utiliser deux fois moins les sèche-linge pourrait peut-être conduire à utiliser plus les fers à repasser. Mais ceci mérite d'être confirmé car 46 fers à repasser et seulement 30 sèche-linge ont été suivis, et les familles possédant ces appareils ne sont pas forcément les mêmes.

5.4.5 Etude des cycles de repassage

On ne peut pas vraiment parler de cycle pour les fers à repasser, mais par analogie nous avons décidé de considérer comme un cycle toute mise en marche d'un appareil.

La figure 5.48 donne la distribution des cycles en fonction de leur consommation. Si l'on refuse de définir une consommation seuil, comme pour les sèche-linge, on voit que la classe la plus importante est celle qui regroupe toutes les consommations de moins de 100 Wh.

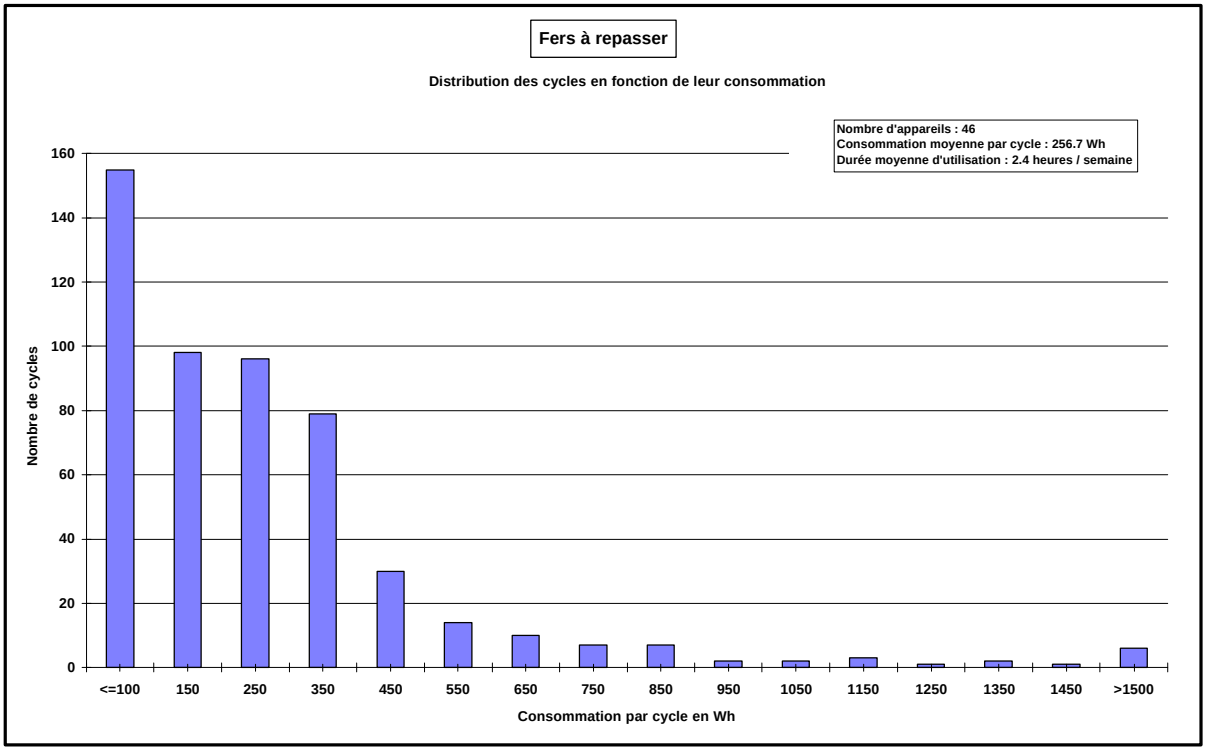


Figure 5.48 : distribution des cycles des fers à repasser en fonction de leur consommation.

On ne peut pas fixer un seuil pour cet appareil car les opérations de repassage peuvent consommer très peu, par exemple si elles durent peu (repassage d'un seul vêtement), ou si elles concernent des textiles très fragiles nécessitant des températures ne dépassant pas 30°C.

Dans ces conditions la consommation moyenne d'un cycle, tous cycles confondus, est de 257 Wh et sa durée moyenne de 51 minutes. Notons que ceci correspond à une puissance appelée moyenne continue, en période d'utilisation, d'environ 300 W. Mais cette durée (et donc cette puissance « continue ») doivent être pondérées puisqu'elles incluent les durées anormalement longues de « fonctionnement » des appareils que l'on a oubliés de débrancher. En réalité le temps de fonctionnement d'un cycle est donc un peu inférieur à la valeur donnée ci-dessus, et la puissance moyenne appelée est supérieure.

La durée hebdomadaire d'utilisation du fer à repasser est de 2,4 heures (même remarque que précédemment).

5.4.6 Fréquences d'utilisation mesurée et estimée par les usagers

La figure 5.49 donne les valeurs mesurées et estimées par les usagers de la durée hebdomadaire de marche du fer à repasser. Les utilisateurs pensent recourir 3,5 h/semaine au fer à repasser alors que nous avons mesuré seulement 2,4 heures. **Il s'agit d'une surestimation de 46 %.** Sur l'ensemble des réponses, 23 % des familles sous estiment leur réponse et 77 % la surestiment.

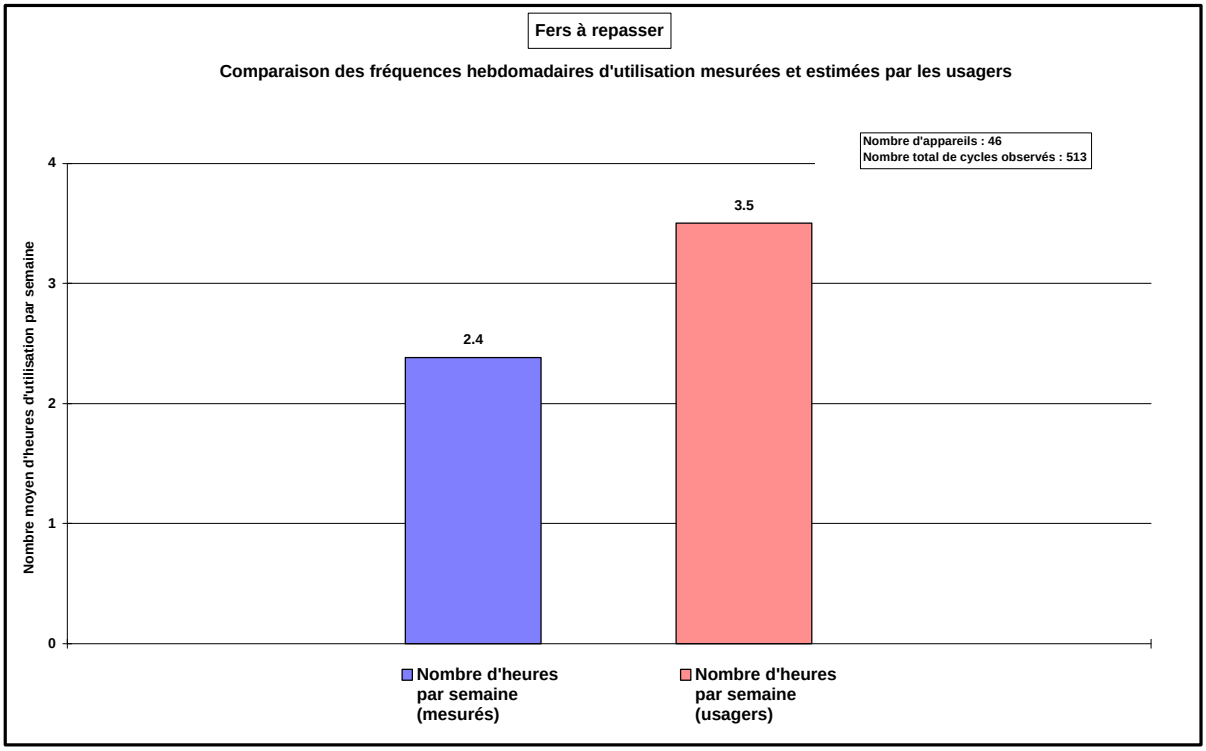


Figure 5.49 : fréquences d'utilisation hebdomadaire mesurées et estimées.

L'impact sur les consommations est difficile à évaluer, car il suppose aussi de choisir correctement la puissance moyenne appelée pendant le repassage. On vient de voir précédemment qu'elle était de 300 W *a minima*, et un peu plus si on retire les périodes où l'on a oublié de débrancher les fers à repasser.

5 - 5 LES ASPIRATEURS

Le nombre d'appareils suivis est de 24, et la durée moyenne du suivi de 24,4 jours.

La figure 5.50 représente la distribution des aspirateurs en fonction de leur consommation journalière. Distribution assez symétrique avec un maximum centré sur la classe 50 Wh/j. En moyenne la consommation des aspirateurs est de 49 Wh/j (soit **17,9 kWh/an**). L'écart type est de 40 Wh/j ce qui traduit une dispersion importante. On va retrouver avec l'aspirateur les mêmes problèmes de dispersion que ceux évoqués pour le fer à repasser.

La consommation médiane est de 42 Wh (soit 15,3 kWh/an). La plage de variation des consommations journalières est d'environ 1 à 20 d'un logement à l'autre.

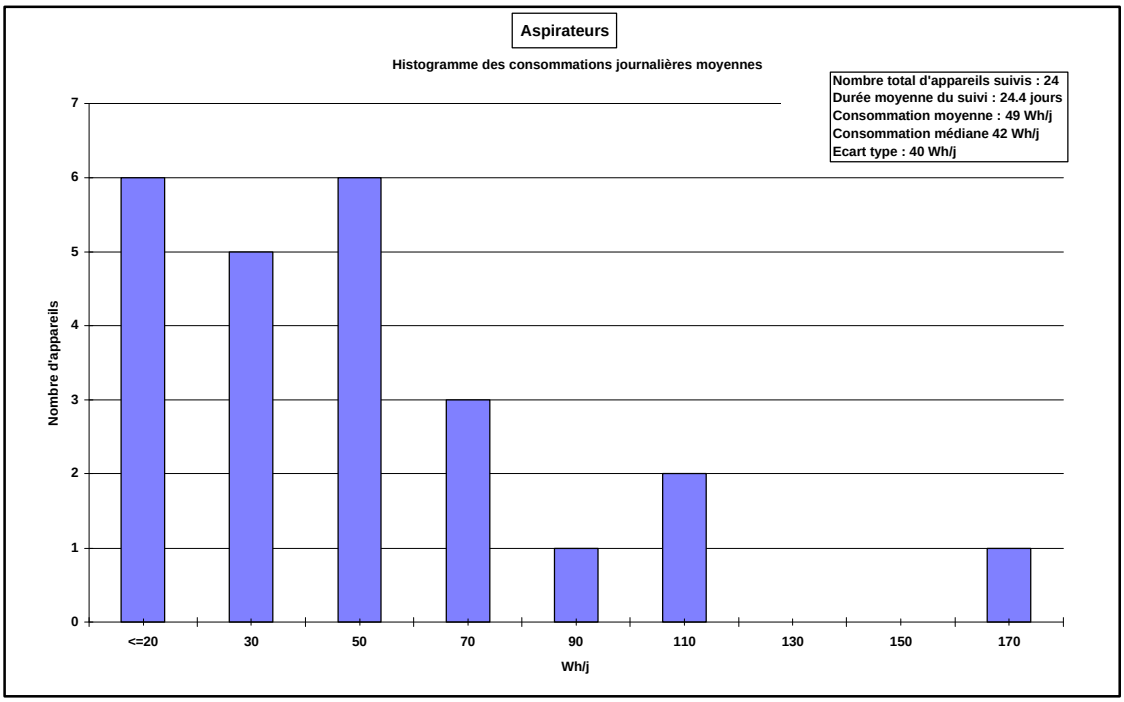


Figure 5.50 : histogramme des consommations journalières moyennes des aspirateurs.

La figure 5.51 est la courbe de charge horaire moyenne des aspirateurs. Celui-ci est un appareil utilisé majoritairement le matin avec une pointe franche vers 10 h. Aucune veille, aucun oubli de l'appareil en marche, aucune utilisation pour tarif réduit permet à cet appareil souvent bruyant de ne jamais fonctionner la nuit. On n'hésite toutefois pas à faire appel à ses services dès 7 h du matin et parfois jusqu'à 23 h, mais de façon très marginale.

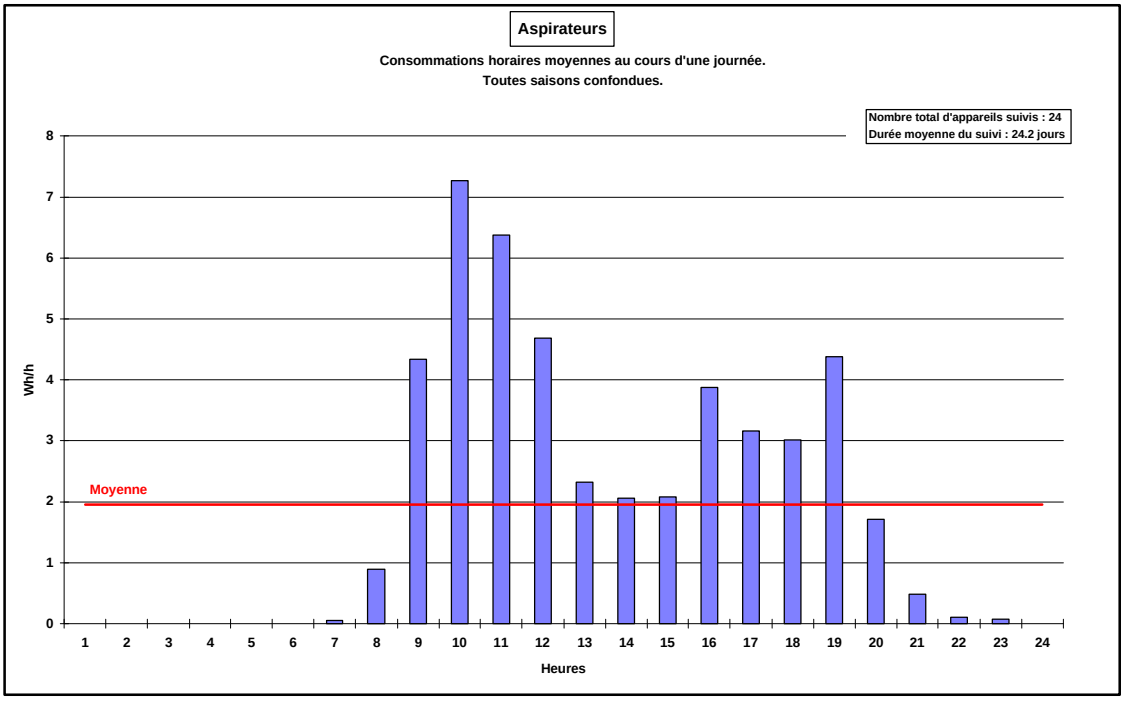


Figure 5.51 : consommation horaire moyenne des aspirateurs au cours d'une journée.

5 - 6 LES NETTOYEURS A VAPEUR MENAGER

Rappelons que ces appareils, dont le développement est relativement récent en France, sont des appareils de nettoyage polyvalents permettant théoriquement, grâce à une production interne de vapeur à 4 bars, de récurer aussi bien vitres, carrelages, moquettes, tapis, meubles, parquets, que sanitaires etc. Ils ont l'avantage de procéder sans aucun détergent.

Le nombre d'appareils suivis n'est que de 2, et la durée moyenne du suivi de 22,5 jours, si bien qu'il va être difficile de tirer des conclusions significatives.

On se bornera donc à dire que la consommation moyenne des deux appareils est de 306 Wh/j, soit 112 kWh/an. Cela correspond à environ 300 grammes de vapeur produite chaque jour à des fins de nettoyage.

Il faut noter que cet appareil semble un assez gros consommateur d'énergie, en tous cas si on le compare à l'aspirateur, puisqu'il absorbe annuellement 6 fois plus d'énergie que celui-ci. Il est vrai qu'il est censé pouvoir assurer des fonctions nouvelles. Mais la cause principale de cette consommation est évidemment la production de vapeur, qui n'est pas un usage captif de l'électricité.

5 - 7 LES LAVANTES SECHANTES

Ces machines permettent à elles seules le lavage et le séchage du linge. Elles ont la réputation de consommer plus d'énergie que deux machines assurant la même fonction.

L'échantillon suivi est des plus faibles, puisqu'il ne comporte qu'un seul appareil. Les résultats concernant celui-ci sont donc sans grande valeur.

Sa consommation a été de 572 Wh/j, soit 209 kWh/an. Cette machine a moins consommé que la moyenne des lave-linge suivis (234 kWh/an)!

CHAPITRE 6 : AUDIOVISUEL ET LOISIRS

6 - 1 LES TELEVISEURS

6-1-1 Caractéristiques de l'échantillon

Le nombre d'appareils suivis est de 111 et la durée moyenne des mesures a été de 26,2 jours. Mais de nombreux logements possèdent maintenant plusieurs téléviseurs, si bien que l'on a distingué les téléviseurs principaux et secondaires. Dans certaines analyses (comme l'étude des veilles) il ne sera pas nécessaire de faire la différence, mais la plupart du temps les deux types de téléviseurs ne sont pas utilisés de la même manière et nécessitent un traitement différent.

Les téléviseurs principaux sont au nombre de 87 et les téléviseurs secondaires au nombre de 24.

La figure 6.1 donne la distribution de l'ensemble des téléviseurs de l'échantillon en fonction de leur âge (en réalité, on ne connaît l'âge que de 84 appareils) .

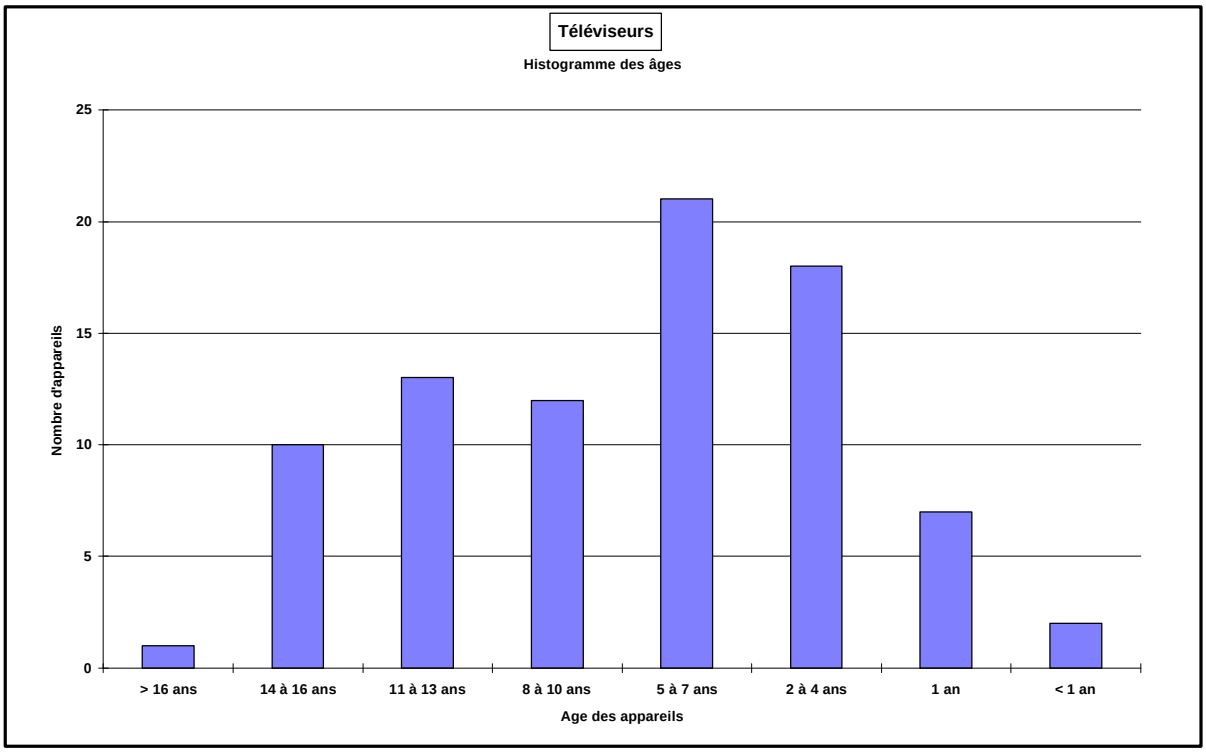


Figure 6.1 : distribution des appareils par classe d'âge.

On constate que :

☛ 57 % des appareils ont au maximum 7 ans
☛ 29 % des appareils ont plus de 10 ans
☛ la distribution est maximum pour la classe d'âge 5 à 7 ans.

Un examen analogue pour les seuls téléviseurs secondaires révèle que c'est surtout chez eux que l'âge n'est pas connu. On ne peut donc pas savoir si ces matériels sont neufs, ou bien si ce sont d'anciens appareils principaux qui ont été remplacés.

6-1-2 Nature des besoins électriques

La figure 6.2 représente la puissance appelée par deux téléviseurs différents au cours d'une journée.

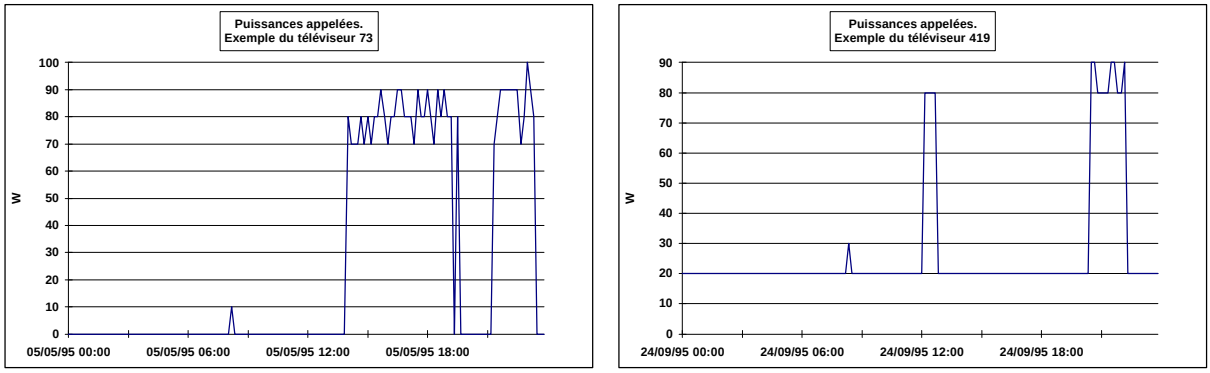


Figure 6.2 : puissance appelée par deux téléviseurs dont un reste en mode veille de façon permanente.

Il apparaît deux choses remarquables :

☛ la relative instabilité de la puissance appelée (appareil de gauche) qui varie entre 70 et 90 voire même 100 W. Ce phénomène a été parfois observé et il ne trouve pas d'explications, puisqu'en principe la puissance des circuits électroniques chauds devrait être au contraire très stable. Sur certains appareils on observe après la mise sous tension une chute continue de la puissance qui peut atteindre 20 W et s'étendre sur environ 30 minutes. On conçoit bien qu'il s'agit d'une « mise en régime » de l'appareil.

☛ l'existence, ici très ponctuelle sur le téléviseur de gauche mais continue sur celui de droite, d'une puissance de 10 ou 20W, lorsque l'appareil n'est pas en marche, qui est due à la mise en veille de l'appareil. Ce phénomène sera examiné plus loin.

6-1-3 Consommation d'énergie et durée d'utilisation

La figure 6.3 donne la distribution des téléviseurs, principaux et secondaires confondus, en fonction de leur consommation journalière.

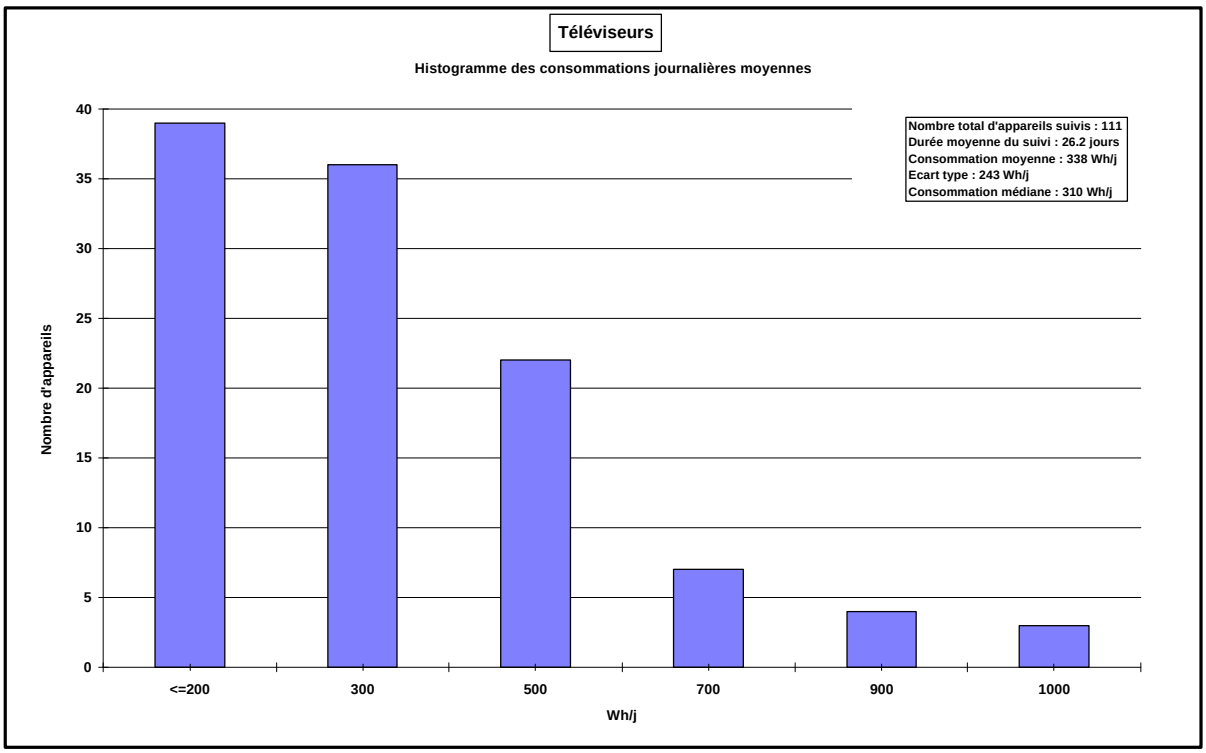


Figure 6.3 : histogramme des consommations journalières moyennes des téléviseurs.

La consommation moyenne est de 338 Wh/j (soit **123 kWh/an**) et l'écart type de 243 Wh/j. La consommation médiane est de 310 Wh/j (soit 113 kWh/an). La plage des consommations est très importante puisqu'elle s'étend de 1 à 10. Ce phénomène est induit par les téléviseurs secondaires qui sont en général moins regardés que les autres.

C'est pourquoi il est intéressant d'examiner les mêmes données pour les téléviseurs principaux. On observe sur la figure 6.4 que la consommation journalière est en moyenne de 384 Wh/j (soit **140 kWh/an**), l'écart type de 227Wh/j et la consommation médiane de 352 Wh/j (128 kWh/an). Cette valeur est à rapprocher des 152 kWh/an, soit +8.6 %, trouvés par l'équipe portugaise du ***CCE***.

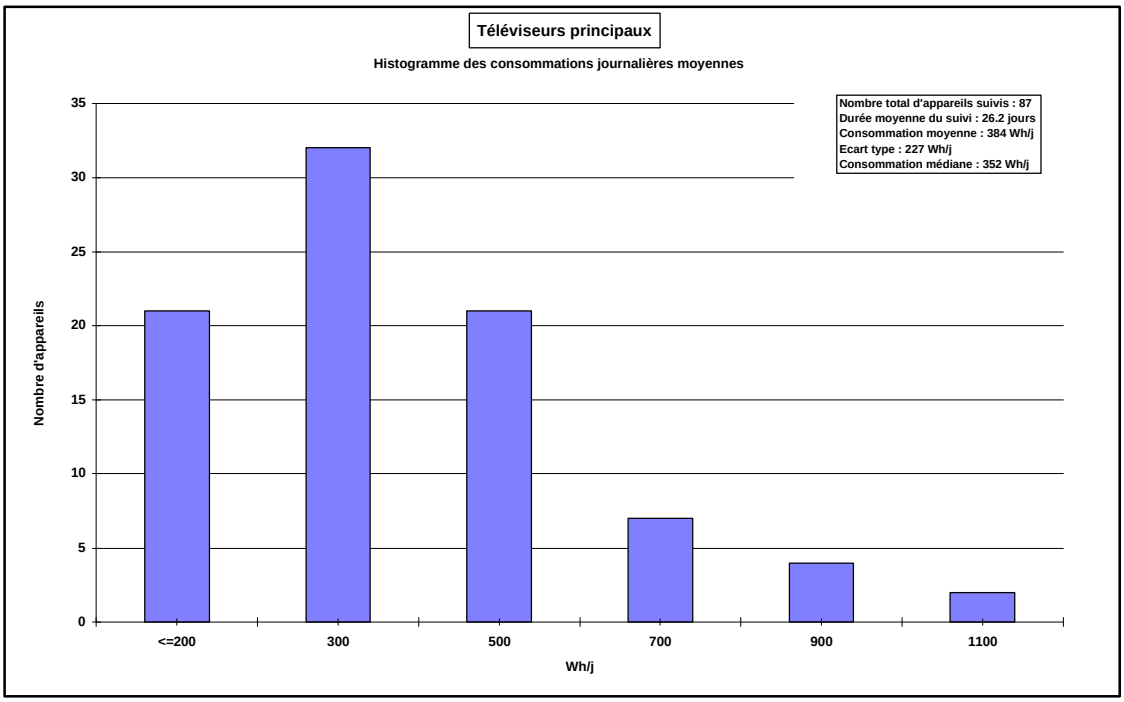


Figure 6.4 : histogramme des consommations journalières moyennes des téléviseurs principaux.

On comparant les figures 6.3 et 6.4 on constate que les téléviseurs secondaires occupent essentiellement les classes correspondant aux plus faibles consommations, ce que confirme la figure 6.5.

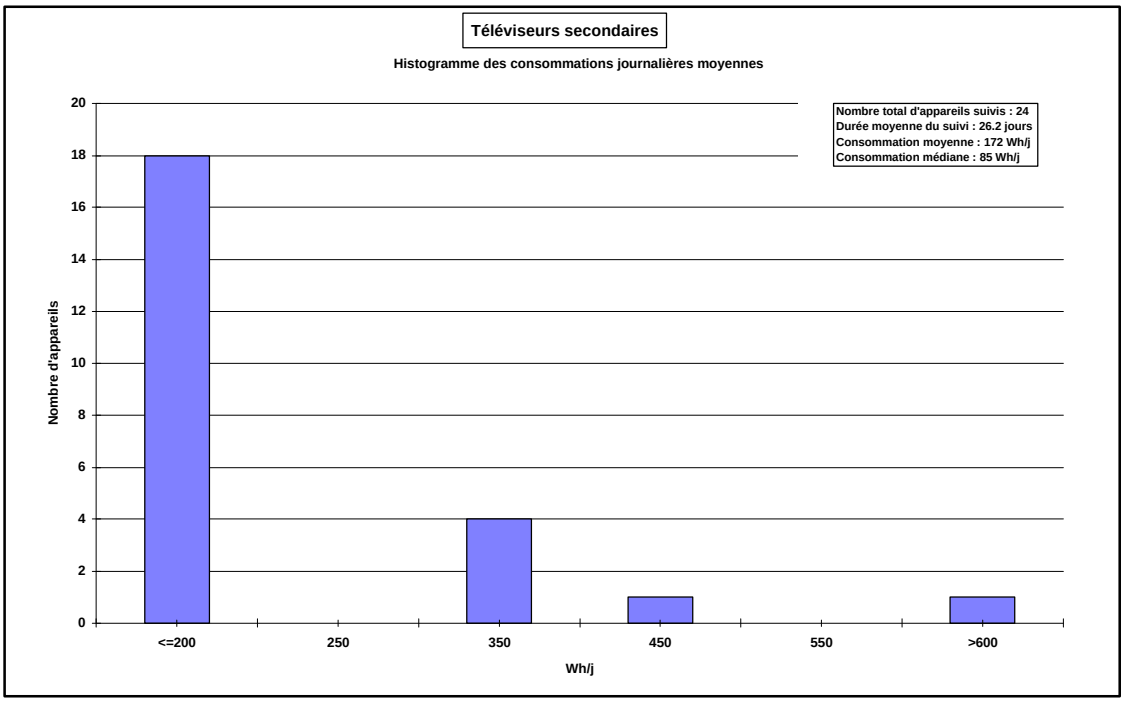


Figure 6.5 : histogramme des consommations journalières moyennes des téléviseurs secondaires.

La durée moyenne d'utilisation des téléviseurs a pu être mesurée avec une bonne précision. Les résultats sont les suivants :

- téléviseurs principaux : 5h 10'
- téléviseurs secondaires : 2h 47'
- ensemble des téléviseurs : 4h 38'

Mais la figure 6.6 est plus riche d'enseignements à ce sujet, puisqu'elle représente la fréquence cumulée d'utilisation des téléviseurs principaux. On peut voir ainsi que 20 % des téléviseurs fonctionnent au moins 8h/j, ou que les téléviseurs fonctionnant au moins 4h/j représentent 60 % du parc, ou encore que 5 % des téléviseurs sont allumés plus de 10h/j.

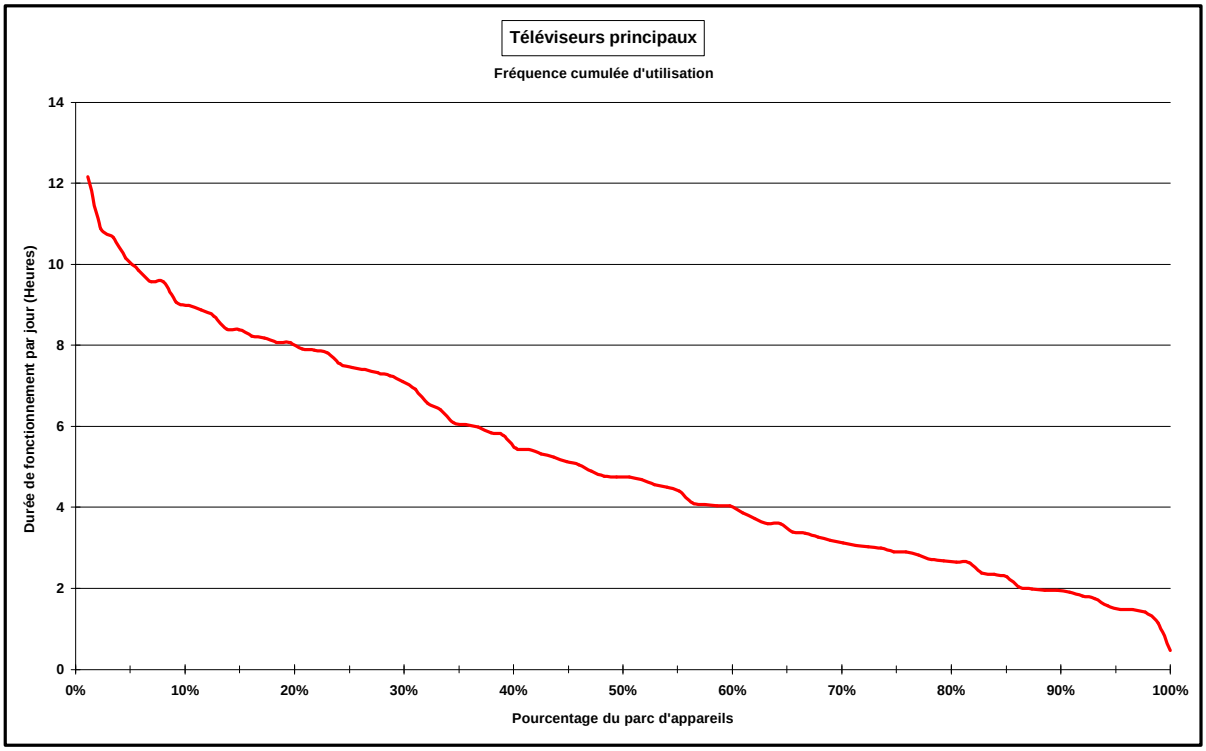


Fig 6.6 : fréquence cumulée d'utilisation des téléviseurs principaux.

6-1-4 Courbe de charge horaire moyenne

La figure 6.7 représente la consommation horaire moyenne de l'ensemble des téléviseurs principaux.

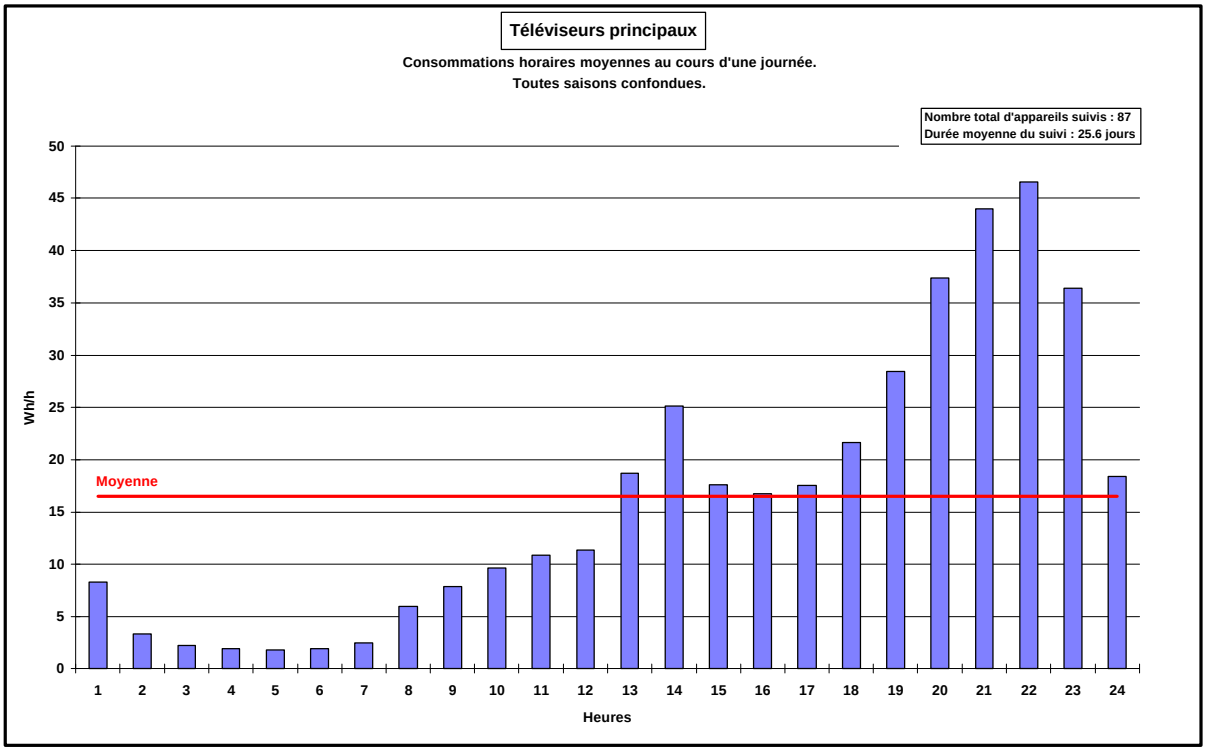


Figure 6.7 : consommation horaire moyenne des téléviseurs principaux au cours d'une journée.

On observe que :

☛ l'appel maximum de puissance se situe dans la vingt-deuxième heure,

☛ la soirée « TV » commence à 18h et se termine à 23h, puisque 54 % de l'énergie absorbée quotidiennement par les téléviseurs l'est entre 18 et 23h,

☛ il existe une seconde pointe dans la quatorzième heure, mais elle est beaucoup moins importante qu'en soirée, puisque seulement 11 % de la consommation quotidienne est absorbée entre 13 et 14h.

☛ l'appel de puissance est continu même durant la nuit, ce qui ne signifie pas que la télévision est regardée en permanence. Cela met en évidence les fameuses consommations de veille qui seront analysées plus loin.

Le téléviseur principal est équivalent à une puissance appelée en continu de 16,5W.

Est-ce que les téléviseurs secondaires sont utilisés différemment des téléviseurs principaux? Au regard de la figure 6.8 il semblerait que non.

Ils sont utilisés aux mêmes heures, présentent les mêmes pointes d'utilisation, hormis à 13 et 14 heures où les pointes s'inversent. La part de la consommation absorbée entre 18 et 23h est de 57 % de la consommation quotidienne, soit pratiquement la même que pour les téléviseurs principaux. La seule différence entre les deux types d'appareils est le niveau de consommation.

Il est de 7,15 W de puissance continue pour les téléviseurs secondaires et de 16,5 W pour les téléviseurs principaux. La consommation des téléviseurs secondaires est donc inférieure de 57% à celle des téléviseurs principaux. Or ils fonctionnent seulement 46 % de moins (voir § 6.1.3), ce qui permet d'en conclure que ce sont des appareils de plus petite puissance, et vraisemblablement de plus petite taille que les téléviseurs principaux.

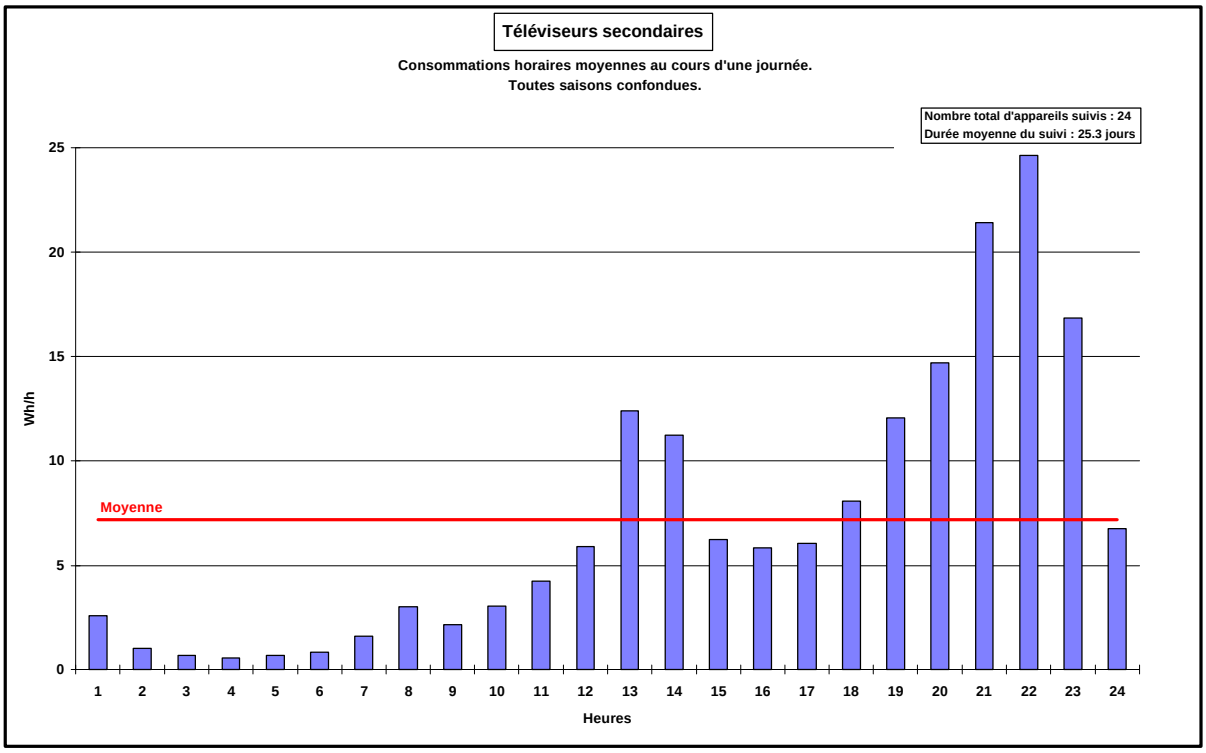


Figure 6.8 : consommation horaire moyenne des téléviseurs secondaires au cours d'une journée.

6-1-5 Influence des saisons sur la consommation des téléviseurs

Les figures 6.9 à 6.11 représentent la consommation horaire moyenne des téléviseurs principaux regroupés en fonction de la période de mesures pendant laquelle a eu lieu l'observation.

L'impact des saisons permet de relever que :

☛ on regarde beaucoup plus la TV pendant la journée (phénomène accentué l'après midi) durant l'été, probablement à cause de la présence continue des enfants à cette époque,

☛ Le créneau 13/14h n'a pas du tout la même importance selon les saisons : en été son importance relative est beaucoup plus grande que dans les autres saisons. Peut-être est-ce par ce qu'une partie des usagers est en vacances, tout comme les enfants,

☛ la tranche 18/23h représente 50 % de la consommation journalière totale en été, 54 % en hiver et 58 % en mi-saison.

☛ le niveau de consommation se traduit par une puissance équivalente appelée continue de 14.6 W en mi-saison, 15.7 W en été et 19.6 W en hiver.

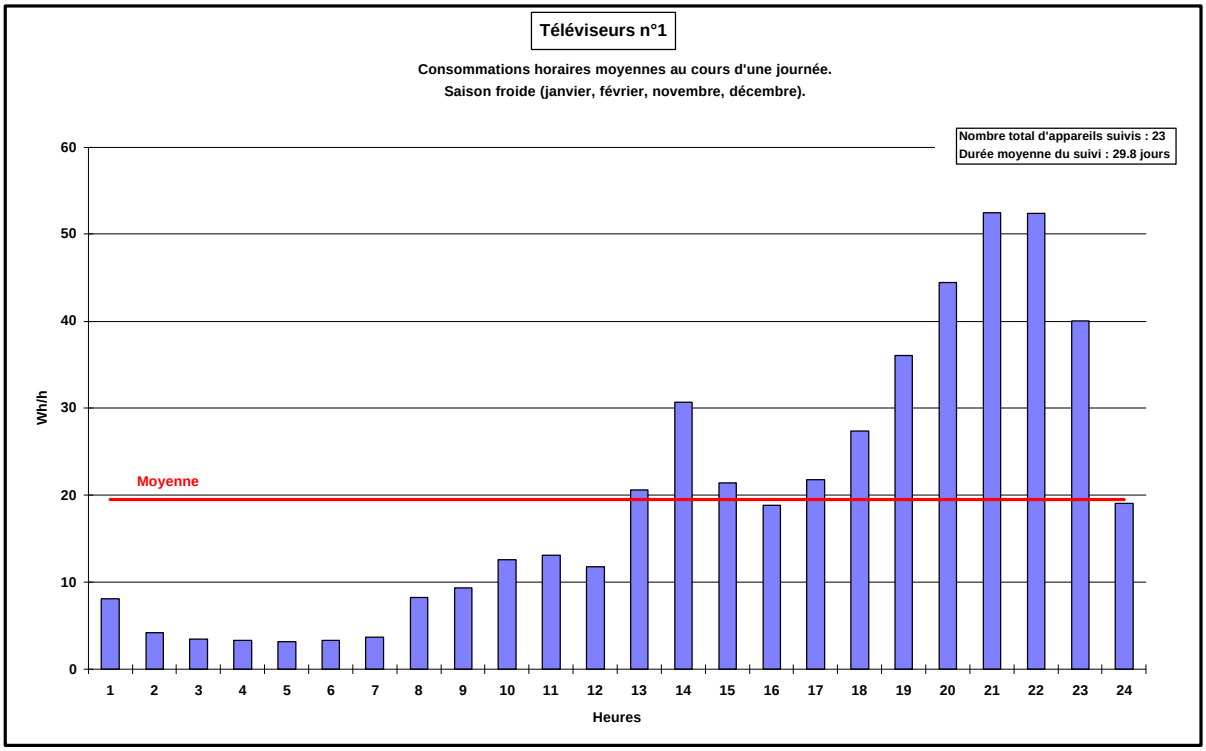


Figure 6.9 : consommation horaire moyenne des téléviseurs principaux au cours d'une journée en période froide.

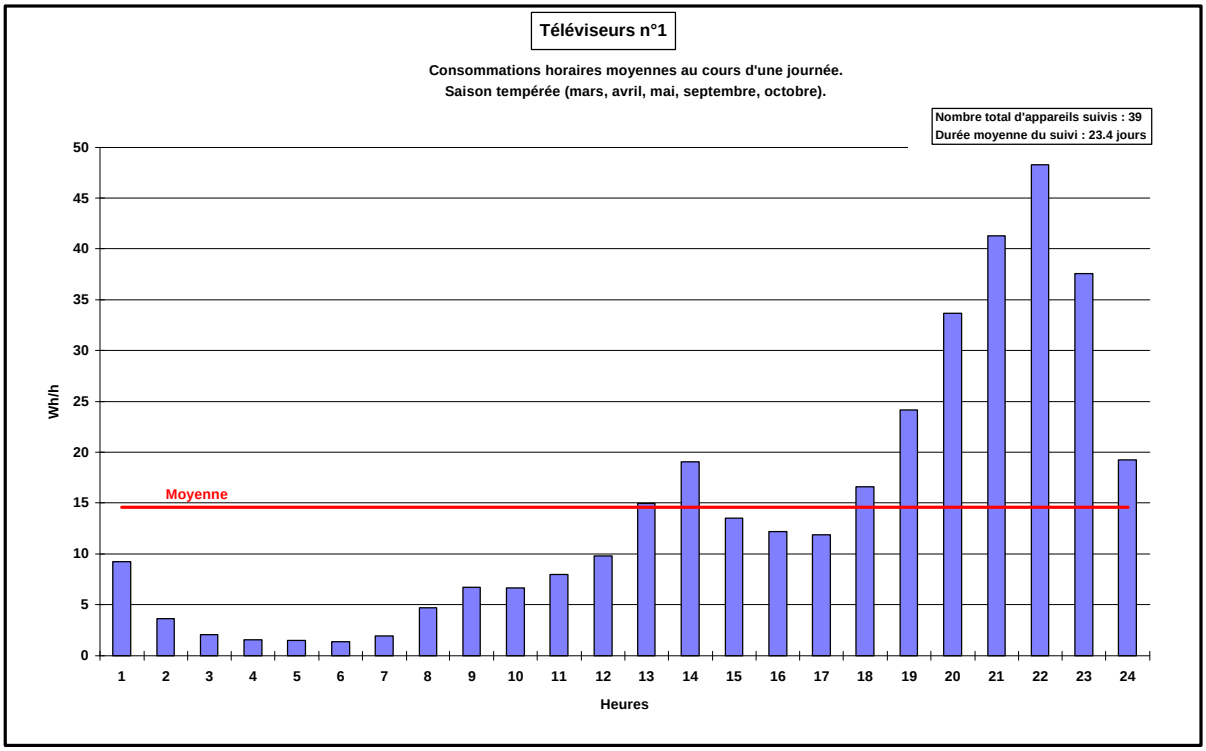


Figure 6.10 : consommation horaire moyenne des téléviseurs principaux au cours d'une journée en période tempérée.

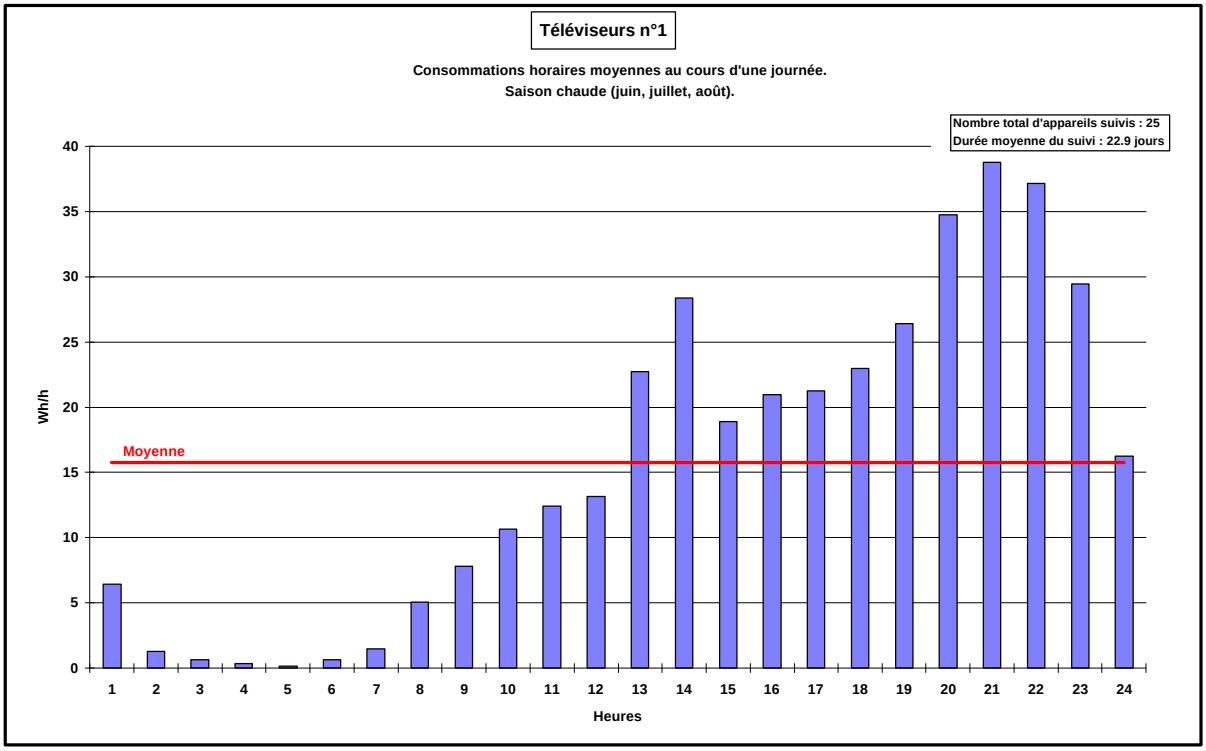


Figure 6.11 : consommation horaire moyenne des téléviseurs principaux au cours d'une journée en période chaude.

Ces derniers résultats sont illustrés par la figure 6.12. On remarque que la consommation en hiver est supérieure à celle en toute autre saison, de 25% sur l'été et de 34 % sur les mi-saisons. L'usage de la télévision semble donc suivre de très près l'évolution des saisons : plus les jours sont longs et le temps clément, moins on regarde la télévision. Sauf en été où le phénomène, qui s'observe très bien durant tous les mois de l'année, se heurte probablement aux vacances qui donnent du temps libre aux enfants d'abord, puis aux adultes, temps dont profite en partie la télévision qui apparaît bien ainsi comme une source d'occupation importante de la population.

On relève aussi sur la figure 6.12 que pour les téléviseurs secondaires le phénomène saisonnier existe aussi, mais il est très différent. Il procède même de la logique complètement opposée : plus les jours sont longs et plus on regarde la télévision. Ainsi la consommation estivale est-elle supérieure de 59 % à la consommation de l'hiver et de 25 % à celle des mi-saisons. Le niveau de ces consommations générales reste de toute façon très inférieur à celui des téléviseurs principaux. On ne donnera une explication satisfaisante de ce phénomène que lorsqu'on connaîtra mieux le rôle et l'usage des téléviseurs secondaires dans les familles : par qui sont-ils regardés en priorité? Dans quelle pièce sont-ils? Etc.

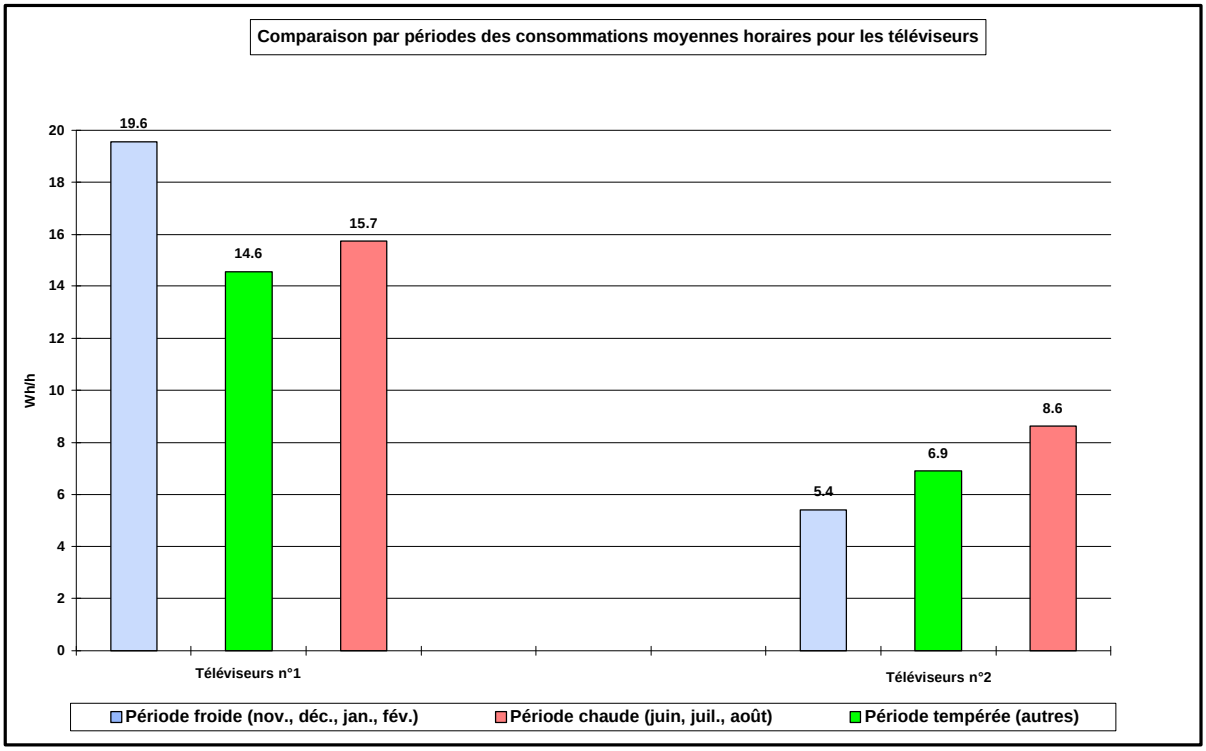


Figure 6.12 : consommation horaire moyenne des téléviseurs en fonction de la période de l'année.

6-1-6 Etude de la veille des téléviseurs

De nombreux téléviseurs possèdent une veille qui permet, aujourd'hui, majoritairement leur commande à distance. Il s'agit donc de veilles que l'on appelle passives, par opposition aux veilles actives, inexistantes dans notre échantillon, qui correspondent à des périodes où l'appareil consomme de l'énergie pour assurer une tâche quelconque qui lui a été programmée.

Il faut toutefois savoir que sur les appareils les plus récents la veille peut prendre des aspects très différents. Ainsi, outre la veille « classique » déjà décrite, on peut rencontrer des veilles de type « classique » temporisé qui cessent d'agir après une durée paramétrable. Passé un certain délai, la veille ne peut alors plus servir à remettre en marche l'appareil. On rencontre aussi, mais beaucoup plus rarement, des veilles relayées par une mémoire alimentée au moyen d'une petite batterie. La consommation de veille est alors celle de la batterie. La mémoire peut être activée par une commande infra rouge. Elle redonne alors à la veille et au téléviseur toutes les données programmables dont ils ont besoin. La consommation de ces systèmes est réduite.

La multitude de ces dispositifs rend en principe assez délicat l'étude des veilles. Mais en pratique il est peu probable que l'échantillon étudié comporte tous ces systèmes.

La puissance des veilles « classiques » se situe généralement entre 10 et 20 W sur les appareils étudiés. Mais pour les matériels très récents elle est souvent inférieure à 10 W (de 3 à 11 W). Or la sensibilité du système de mesures Diace que nous avons utilisé ne permet pas d'identifier des puissances inférieures à 10 W. C'est une limite importante qu'il faut garder à l'esprit car elle pourrait nous avoir interdit l'observation du phénomène sur les appareils les plus récents, ou simplement les moins consommateurs. Ceci étant, le parc analysé ne comporte que 32 % de téléviseurs de moins de cinq ans, et seulement 11 % d'appareils de moins de 2 ans, ce qui limite l'effet d'une sensibilité insuffisante du dispositif de mesures.

Pour étudier la veille, la première question à laquelle on doit répondre est celle de savoir comment elle affecte les téléviseurs. Est-ce que tous les appareils l'utilisent? Quand ils l'utilisent, est-ce qu'ils l'utilisent en permanence ou seulement de façon temporaire?

La figure 6.13 répond à ces interrogations. Pour chaque appareil on a fait figurer la durée de marche, la durée de veille et le solde constitué par la durée d'arrêt.

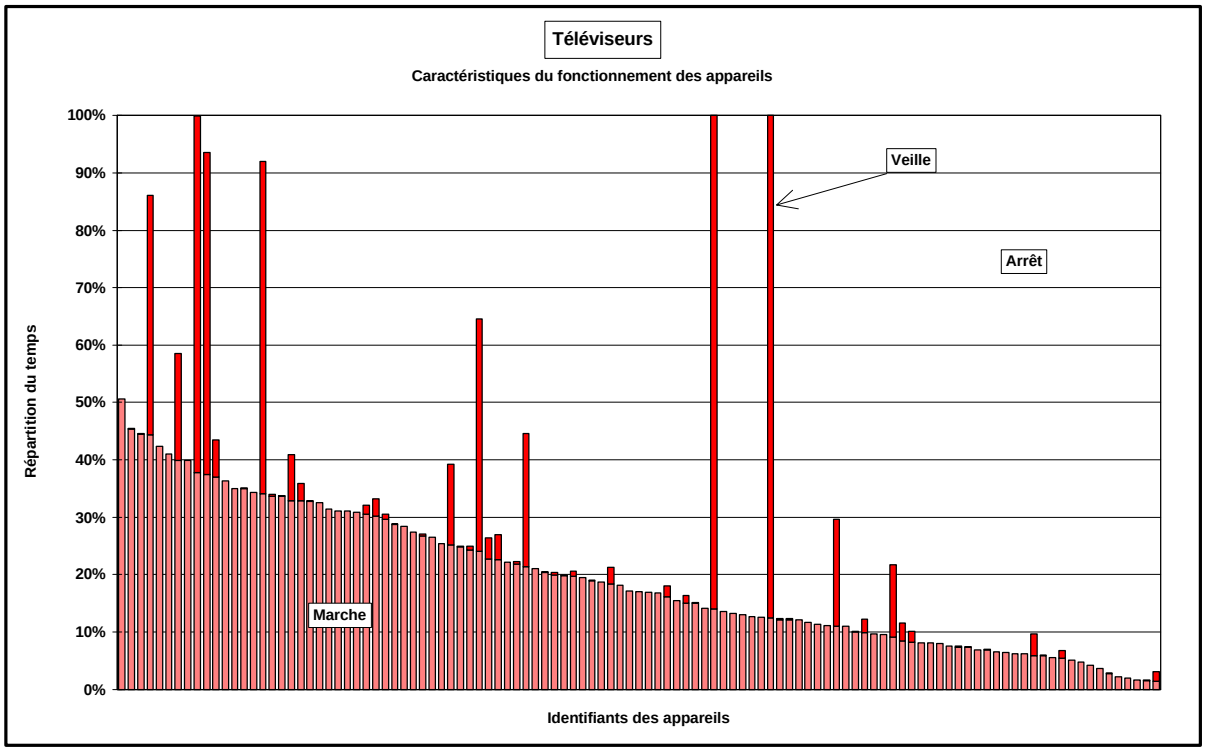


Fig. 6.13 : répartition de la durée des différents modes de fonctionnement pour les téléviseurs.

On constate qu'il y a finalement peu d'appareils, en tous cas dans cet échantillon, qui utilisent la veille puisque seulement le quart des téléviseurs est affecté même très temporairement par le phénomène. Seuls 3 appareils sur 111 (soit 2,7 %) utilisent la veille en permanence.

Afin de mieux quantifier l'usage de la veille, il a paru nécessaire de recourir à la même technique que pour les réfrigérateurs-congélateurs en utilisant comme paramètre « **le taux de veille** » :

Taux de veille = durée de veille / (durée de veille + durée d'arrêt)

qui est le rapport de la durée de veille à la durée de non-fonctionnement de l'appareil (la durée de non-fonctionnement est la somme de la durée de veille et de la durée d'arrêt). La figure 6.14 fournit la répartition des appareils (tous types confondus) dont le taux de veille est supérieur ou égal à la valeur en abscisse, ainsi que la part de la consommation de veille sur la consommation totale pour les appareils concernés.

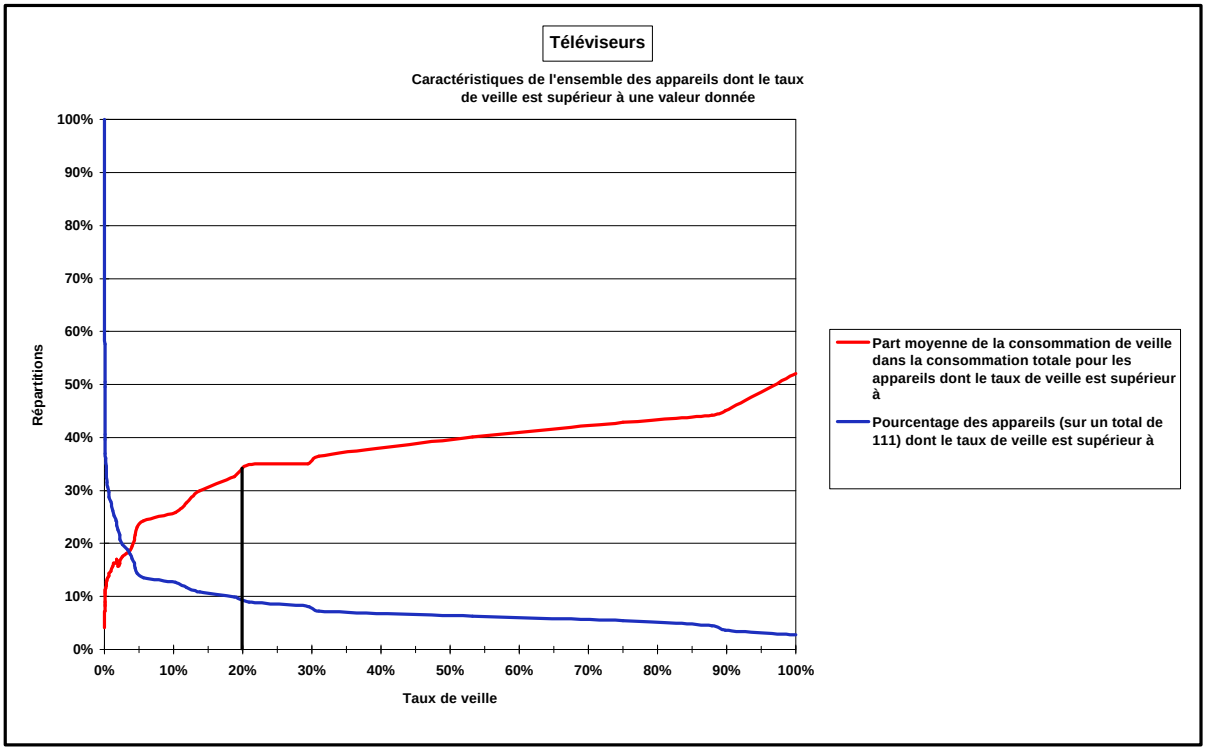


Fig 6.14 : caractéristiques de l'ensemble des téléviseurs dont le taux de veille est supérieur à une valeur donnée.

La lecture de ce graphique est la suivante : combien y a-t-il de téléviseurs dont la durée de fonctionnement de la veille est au moins égale à 20 % du temps où l'appareil ne fonctionne pas (c'est-à-dire dont le taux de veille vaut 20 %)? Réponse : 9,5 %. Et quelle est la part moyenne de la consommation de veille dans la consommation totale pour ces 9,5 % d'appareils? Réponse : 35 %.

Cette représentation est très intéressante puisqu'elle permet de décrire tous les états intermédiaires du phénomène, car l'usage de la veille n'est en général pas une pratique permanente. Retenons quelques valeurs marquantes de ce graphique :

☛ pour 20 % des téléviseurs la veille absorbe en moyenne 18 % de l'énergie totale
☛ pour 10 % « « « 33 % « «
☛ pour les téléviseurs utilisant en permanence la veille (soit 3 %), la consommation absorbée par celle-ci représente en moyenne 52 % de la consommation totale, valeur atteignant au maximum 66 % pour certains appareils
☛ il n'y a que 10 % des appareils dont le taux de veille dépasse 15 %.

On peut enfin se demander quel est le poids de la veille dans la courbe de charge du distributeur d'énergie. Pour cela, le cumul toutes les dix minutes de l'ensemble des puissances de veille observées a été moyenné par le nombre total d'appareils de l'échantillon, que ces appareils soient en état de veille ou non. La figure 6.15 donne la courbe de charge correspondant à l'ensemble des 111 téléviseurs de l'échantillon.

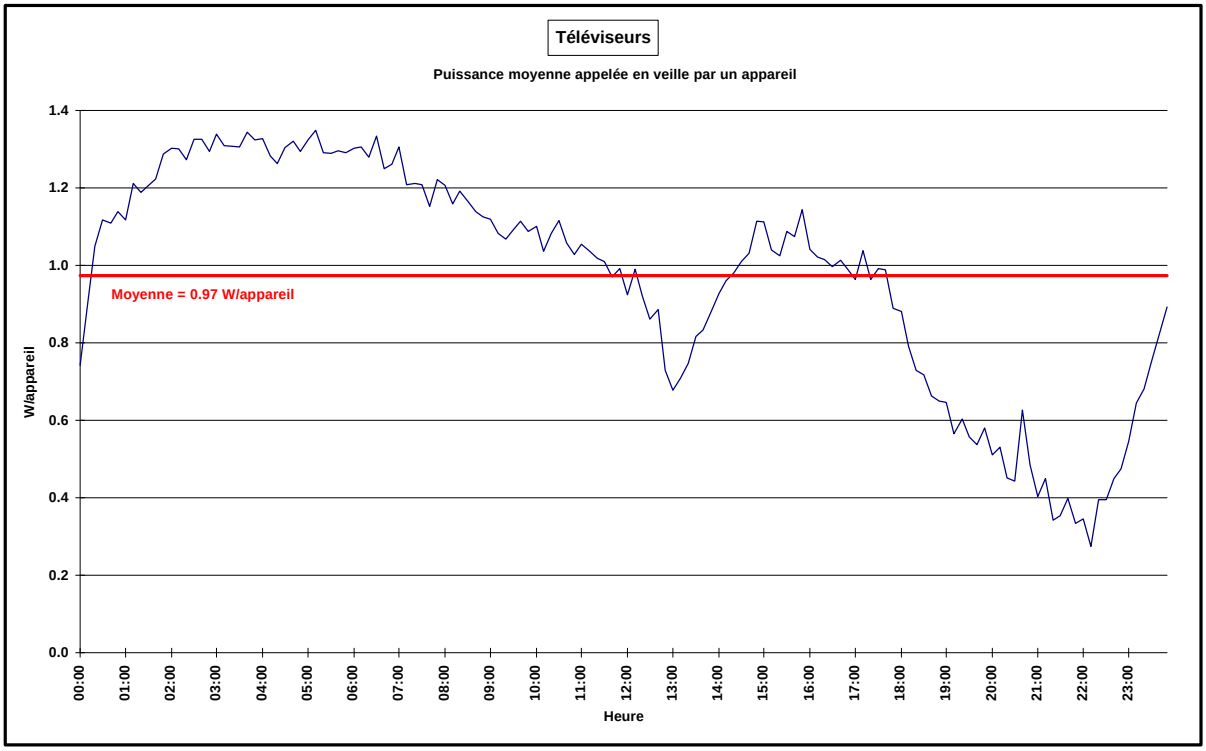


Figure 6.15 : puissance moyenne appelée par un téléviseur en mode veille au cours d'une journée.

On pouvait bien sûr s'y attendre, mais cette figure est en tout point complémentaire à la courbe de charge horaire (voir figure 6.7) : c'est assez légitime puisque la veille entre en fonctionnement lorsque les appareils cessent de fonctionner!

On notera que, **rapportée à l'ensemble des téléviseurs de notre échantillon**, la puissance de veille est en moyenne journalière de 1 W/appareil du panel et varie quotidiennement de 0,3 à 1,3 W/appareil. La consommation quotidienne de la veille est de 24 Wh/appareil. Dans notre cas la veille absorbe chaque jour, pour 111 appareils, 2,66 kWh.

Ces valeurs semblent faibles par rapport à l'idée généralement répandue sur le degré d'utilisation des veilles. Ceci peut avoir plusieurs sources d'explications :

- le parc des appareils suivis n'est pas très récent et il est probable que de nombreux appareils ne disposent pas de veille,
- les habitudes propres à chaque région induisent certainement des comportements nuancés, notamment vis à vis de dispositions comme les veilles passives dont l'intérêt n'est pas forcément évident et qui peuvent apparaître à certains comme des sources de gaspillage non justifiées.

6 - 2 LES MAGNETOSCOPES

6-2-1 Caractéristiques de l'échantillon

Le nombre d'appareils suivis est de 54 et la durée moyenne du suivi de 26,1 jours. Il n'est pratiquement plus de téléviseur qui ne s'accompagne d'un magnétoscope, mais tous les magnétoscopes n'ont pas été suivis.

6-2-2 Consommation d'énergie

La figure 6.16 donne la distribution des magnétoscopes en fonction de leur consommation journalière. La consommation moyenne est de 320 Wh/j (soit 117 kWh/an) et la consommation médiane est de 333 Wh/j (soit **122 kWh/an**). L'écart type est de 140 Wh/j (soit 51 kWh/an).

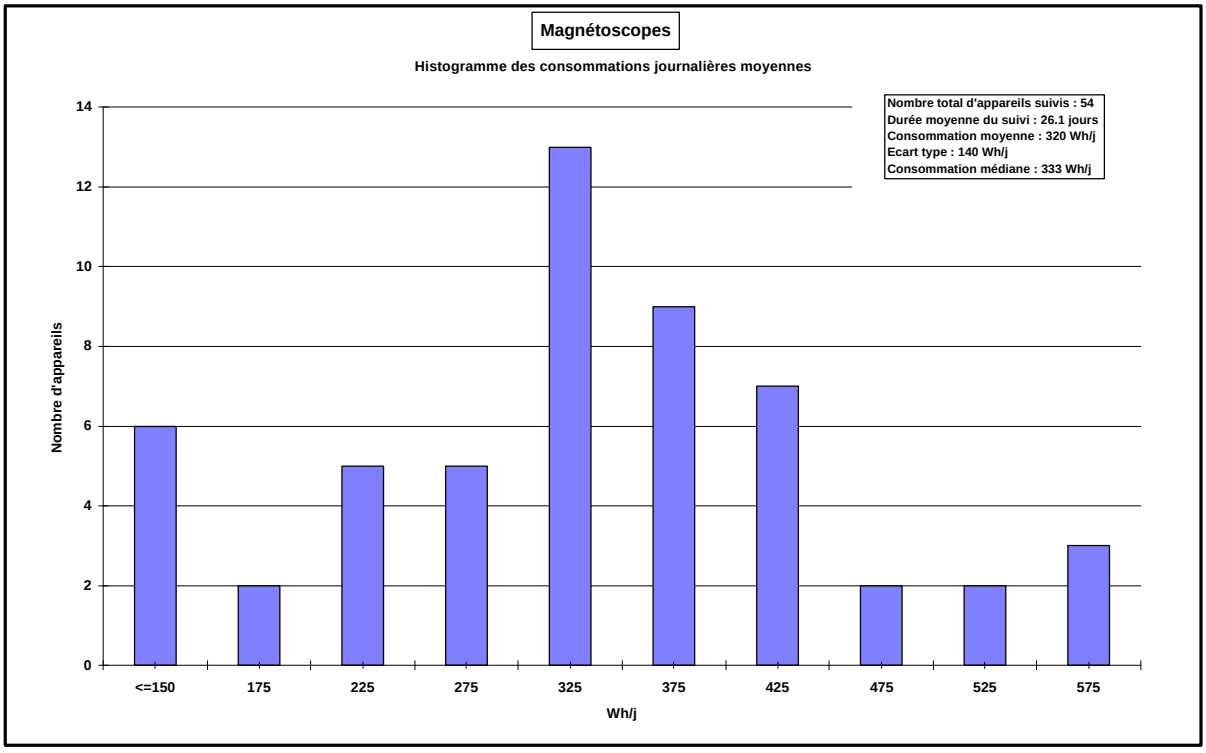


Figure 6.16 : histogramme des consommations journalières moyennes des magnétoscopes.

On notera que la consommation des magnétoscopes est pratiquement égale à celle des téléviseurs (124 kWh/an), ce qui est *a priori* très surprenant pour un appareil ne fonctionnant que quelques heures par semaine. L'explication sera donnée au § suivant.

La plage de consommation est d'environ 1 à 3 si on exclut la classe la plus faible qui correspond à des arrêts.

6-2-3 Courbe de charge horaire moyenne

La figure 6.17 représente la consommation horaire moyenne des 54 magnétoscopes suivis.

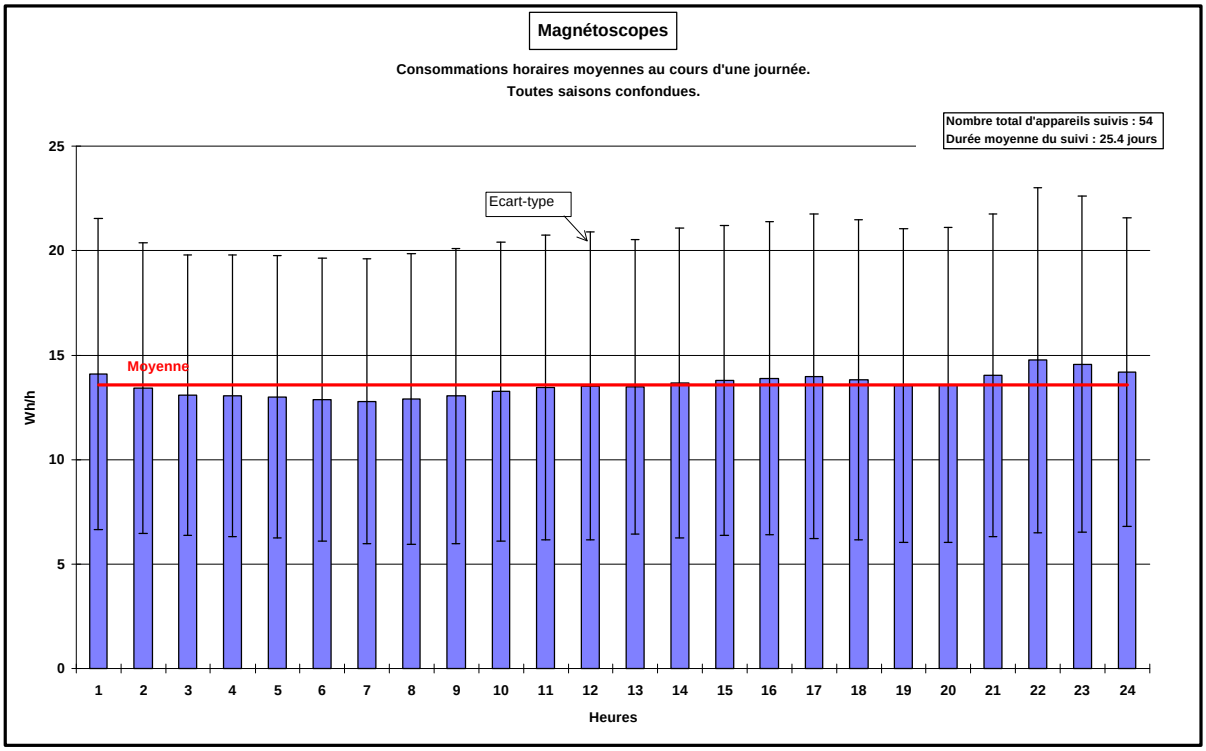


Figure 6.17 : consommation horaire moyenne des magnétoscopes au cours d'une journée.

Ce graphiquee est intéressant car la spécificité des magnétoscopes apparaît immédiatement : ils consomment la même énergie en permanence, quelle que soit l'heure de la journée ou de la nuit. Cela ne signifie pas qu'à toute heure il y a statistiquement le même nombre de foyers qui utilisent le magnétoscope. Cela traduit simplement que :

- ☛ les magnétoscopes sont en veille 24h/24,
- ☛ la veille constitue la presque totalité de l'énergie consommée par les magnétoscopes.

Le magnétoscope est le seul appareil à posséder ce profil de consommation. Ce n'est pas un hasard puisque c'est aussi le seul qui doive rester sous tension en permanence. Or il est seulement utilisé de 2 à 5 h en moyenne par semaine. Ceci explique pourquoi cet appareil « si peu utilisé » consomme pratiquement autant que les téléviseurs pourtant regardés quotidiennement plus de 5 heures.

Mais la figure 6.17 nous amène à nous poser une question concernant la figure 6.16 et la distribution des magnétoscopes en fonction de leur consommation journalière. En effet, elle confirme, par son profil, que les appareils fonctionnent en permanence. Dès lors comment expliquer que la plage des consommations individuelles puisse s'étendre de 1 à 3 alors même que tous ces appareils ont des caractéristiques électriques assez semblables?

En examinant les fichiers de plus près on découvre deux phénomènes explicatifs :

- certains appareils restent en marche (et non en veille) en permanence. La raison en serait que leur tuner est de meilleure qualité que celui de la télévision, ce qui amènerait leur propriétaire à les préférer à celui du téléviseur, et donc à solliciter le magnétoscope 24h/24.

- quelques appareils ont des consommations de veille trop faibles (inférieures à 10 W) pour être détectées par le système de mesures qui enregistre donc une consommation nulle et sous-estime globalement la consommation de certains magnétoscopes. Le nombre d'appareils de ce type qui a été recensé est de 14 soit 26 % de l'échantillon.

Il s'ensuit que la plage réelle des consommations est plus vraisemblablement de 1 à 1,5, voire au maximum 2.

Le graphique de la figure 6.17 permet aussi d'estimer la part de la consommation de veille des magnétoscopes. On peut en effet raisonnablement estimer que le niveau de puissance affichée à 4 h du matin correspond à la puissance de veille de l'ensemble des appareils, soit 13 W. Cette puissance consomme chaque jour 312 Wh. Si on considère que toutes les consommations qui augmentent ce seuil de 13 W correspondent à la marche d'appareils, on en déduit que **la veille absorbe 96,5 % de la consommation totale des magnétoscopes, et ce chiffre est probablement inférieur à la réalité puisque la consommation de veille de certains appareils n'est pas comptabilisée lorsqu'elle est inférieure à 10 W**, alors qu'*a contrario,* leur consommation de fonctionnement a un niveau de puissance qui permet leur comptabilisation.

En une année un magnétoscope moyen consomme exactement la moitié d'un lave-linge. Or l'appareil a passé l'immense majorité du temps en veille. On peut donc se demander s'il n'existe pas d'autres moyens plus économes en énergie pour satisfaire les mêmes besoins, ou si le système des veilles relayées par une mémoire sur batterie ne pourrait pas être généralisé. Car il parait étonnant et presque anachronique de maintenir en veille permanente un matériel réellement actif (soit en enregistrement, soit en lecture) quelques heures par semaine. L'enjeu est important puisqu'en période active un magnétoscope ne consomme que 4 ou 5 kWh/an au lieu de 115 à 120 avec le mode de fonctionnement actuel.

6-2-4 Influence des saisons sur la consommation des magnétoscopes

La consommation horaire moyenne a été étudiée pour les trois périodes climatiques habituelles : hiver, mi-saison, été. Ces profils sont absolument identiques et ne diffèrent pas du tout, ce qui confirme les hypothèses avancées sur le fonctionnement et la consommation des magnétoscopes. Seul le niveau de consommation en mi-saison est un peu inférieur à celui de l'hiver et de l'été (moyenne 12,4 W contre 14,7 W). Ceci n'est pas dû à une moindre utilisation des magnétoscopes, ce qui se serait traduit par un profil des puissances appelées différent, mais par des besoins en puissance des éléments du sous-échantillon un peu inférieurs.

6-2-5 Appareils présentant des analogies avec les magnétoscopes

D'autres appareils touchant l'audiovisuel on fait leur apparition plus ou moins récemment dans les foyers et présentent certaines analogies avec ce qui vient d'être dit sur les magnétoscopes. Ces appareils n'ont pas été suivis dans le cadre de l'opération Ciel. Ils n'ont fait de notre part que l'objet de mesures ponctuelles sans valeur statistique.

☛ les décodeurs Canal Plus fonctionnent 24h/24 et consomment 8 à 10 W pour les modèles de base. Il existe maintenant une version numérique mais nous en ignorons la consommation.

☛ les amplificateurs d'antenne en maison individuelle. Ils semblent alimentés souvent à partir des circuits « lumière ». Leur niveau de puissance mériterait d'être confirmé, mais nous avons relevé 2 W.

☛ les démodulateurs d'antennes paraboliques désormais présents dans de nombreux foyers. La puissance du modèle examiné est de 14 à 15 W en veille, et de 24 à 25 W en marche.

Ainsi la présence simultanée d'un décodeur Canal Plus, d'un démodulateur d'antenne parabolique, d'un amplificateur d'antenne et d'un magnétoscope peut conduire à une puissance de veille totale d'environ 35 W à 40 W, soit de 300 à 400 kWh/an, c'est à dire près de trois fois la consommation du téléviseur! Dans ces conditions, il semble nécessaire à l'avenir d'instrumenter la télévision mais également tous ses « périphériques » afin d'avoir une meilleure appréhension du « poste audiovisuel » dont le téléviseur ne semble plus constituer aujourd'hui qu'une part modérée de la consommation (de l'ordre de 20 à 50 % maximum).

A noter aussi la consommation des bases de téléphone sans fil qui peut aller de 2 à 4 W, celle des radio-réveils qui vaut 2 W en mode horloge et de 4 à 7 W en mode radio.

6 - 3 LES CHAINES HAUTE FIDELITE

6-3-1 Caractéristiques de l'échantillon

Le nombre d'appareils suivis est de 31 et la durée moyenne du suivi de 26,6 jours. Pratiquement tous les logements sont équipés, mais cet appareil ne faisait pas partie des priorités de la campagne de mesures.

Le terme de « chaîne HiFi » revêt des réalités extrêmement différentes d'un logement à l'autre. Ce peut être une mini chaîne de 15 W de puissance acoustique avec ampli, tuner et lecteur de cassettes, mais cela peut aussi être un équipement de 100 ou 150 W acoustique comprenant lecteur CD, ampli, tuner, platine, etc. Aucune distinction n'a été apportée dans l'enquête entre les différentes chaînes HiFi.

6-3-2 Consommation d'énergie - Veille des chaînes HiFi

La figure 6.18 donne la distribution des chaînes HiFi en fonction de leur consommation journalière. La consommation moyenne est de 90 Wh/j (soit **33 kWh/an**) et la consommation médiane est de 36 Wh/j (soit 13 kWh/an).

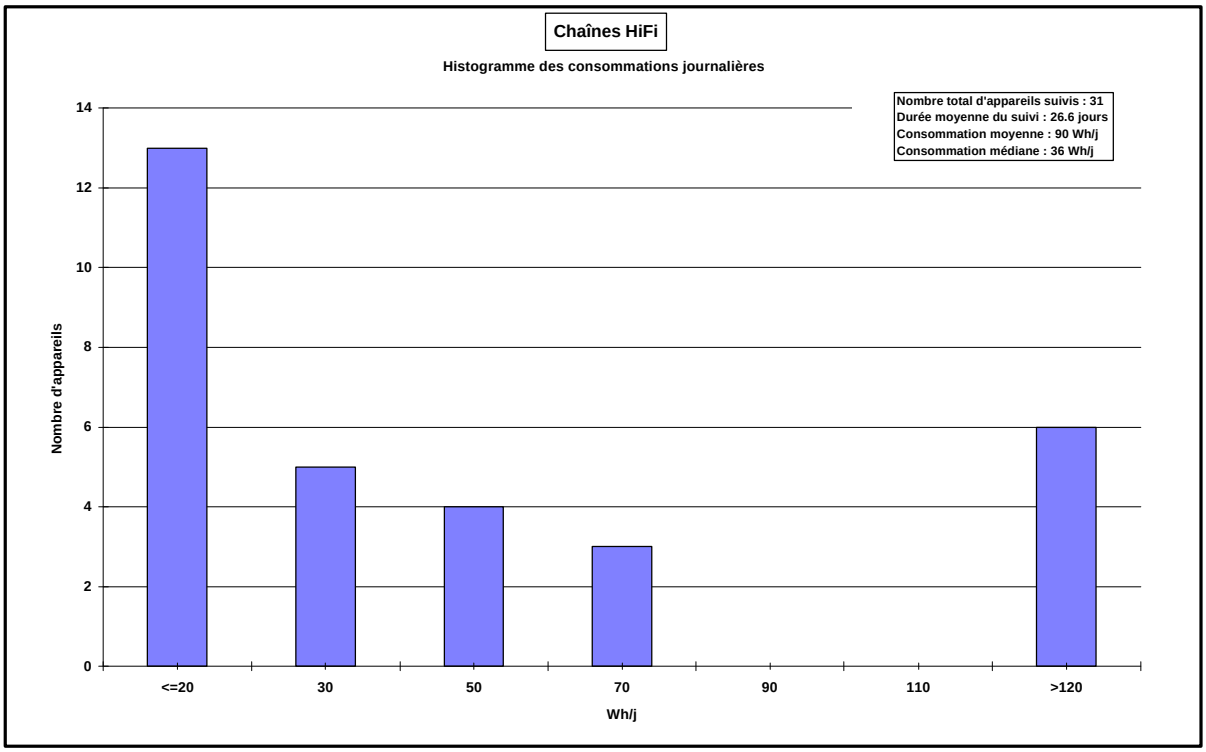


Figure 6.18 : histogramme des consommations journalières moyennes des chaînes HiFi.

Il semble qu'il existe deux catégories d'utilisateurs : en dessous de 70 Wh/j on trouve les utilisateurs « modérés » et au-delà de 120 Wh/j on trouve les « passionnés ».

Les chaînes HiFi apparaissent comme de très petits consommateurs d'énergie. Cela tient à la fois au niveau de puissance appelée, et à la durée d'utilisation des appareils. On peut le regretter pour la musique, mais les chaînes HiFi fonctionnent en moyenne extrêmement peu chaque jour.

A titre purement indicatif, les puissances actives (mesurées avec un EMU) sur les différents éléments d'une chaîne HiFi particulière ont été les suivants :

- ampli : 22 W
- ampli + lecteur CD : 31 W sans disque et 35 W avec disque
- ampli + tuner : 30 W
- ampli + platine tourne disque : 26 W

Mais ces mesures ont également mis en évidence l'existence d'une puissance de veille sur cet appareil, donc vraisemblablement aussi sur les autres. Cette puissance est observée alors que tous les contacteurs sont sur « off » et que l'appareil ne possède pas d'horloge, et aucun affichage lumineux. La mesure a donné 4 W.

Ceci est important à plusieurs titres :

☛ à ce niveau de puissance nos appareils de mesures n'ont rien pu enregistrer, ni au titre des puissances ni à celui des consommations,

☛ par voie de conséquence, les consommations annoncées sont forcément sous-évaluées et il n'est pas impossible que l'histogramme de la figure 6.18 n'ait aucune valeur significative. Car en supposant ordinaire une veille de 4 W, elle absorberait 96 Wh/j (ou 35 kWh/an) soit plus que la plupart des classes de consommation de l'histogramme. La seule chose que l'on puisse probablement affirmer sans se tromper, c'est que cet histogramme renseigne sur la consommation des chaînes HiFi en fonctionnement et non à l'arrêt ou en veille. Mais il ne serait pas étonnant que ceci ne représente approximativement que la moitié de la consommation totale des chaînes HiFi.

6-3-3 Courbe de charge horaire moyenne

La figure 6.19 montre qu'en moyenne il existe quelle que soit l'heure du jour ou de la nuit une puissance appelée par l'ensemble des chaînes HiFi.

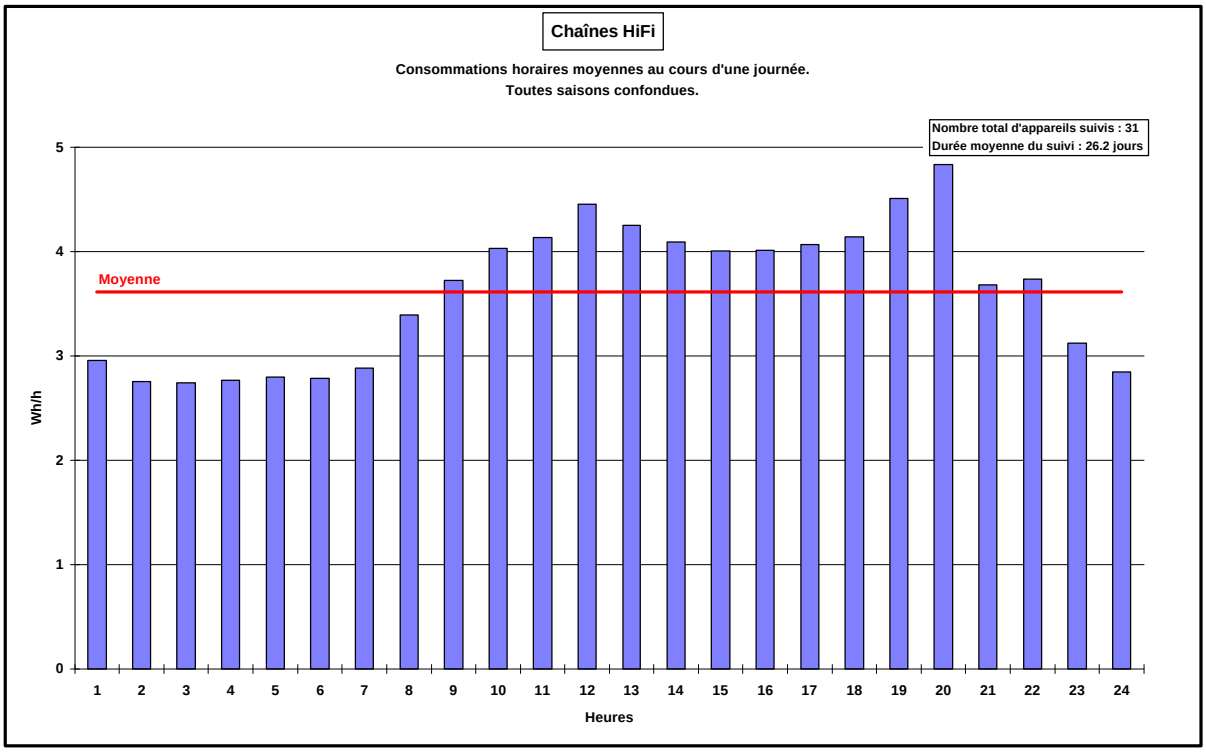


Figure 6.19 : consommation horaire moyenne des chaînes HiFi au cours d'une journée.

Compte tenu de la remarque qui précède, on ne peut rien conclure sur cet appel continu. Car le niveau de consommation enregistré, notamment la nuit, est tellement faible qu'il ne peut pas traduire un phénomène assimilable à de la veille et généralisé sur tous les appareils (phénomène qui serait indécelable par Diace), mais plutôt la présence de quelques appareils probablement oubliés sous tension à la fin d'un disque ou d'une émission. Il faut donc rester prudent et se garder de toute conclusion. L'approche des chaînes HiFi nécessite des systèmes de mesures permettant d'enregistrer le Watt.

6 - 4 LES AQUARIUMS

S'intéresser aux aquariums peut paraître surprenant. Mais cela a semblé nécessaire car ils sont très consommateurs d'électricité. Seuls deux aquariums ont été suivis (volume de 100 l et 150 l), mais les résultats ont pu être recoupés avec d'autres mesures qui ont confirmé les valeurs observées.

Les aquariums exotiques comprennent trois postes de consommation d'électricité : une pompe de circulation d'eau, un éclairage et une résistance chauffante. La température est d'environ 27°C.

La distribution des puissances appelées pour un appareil particulier, voir figure 6.20, fait bien apparaître ces trois fonctions.

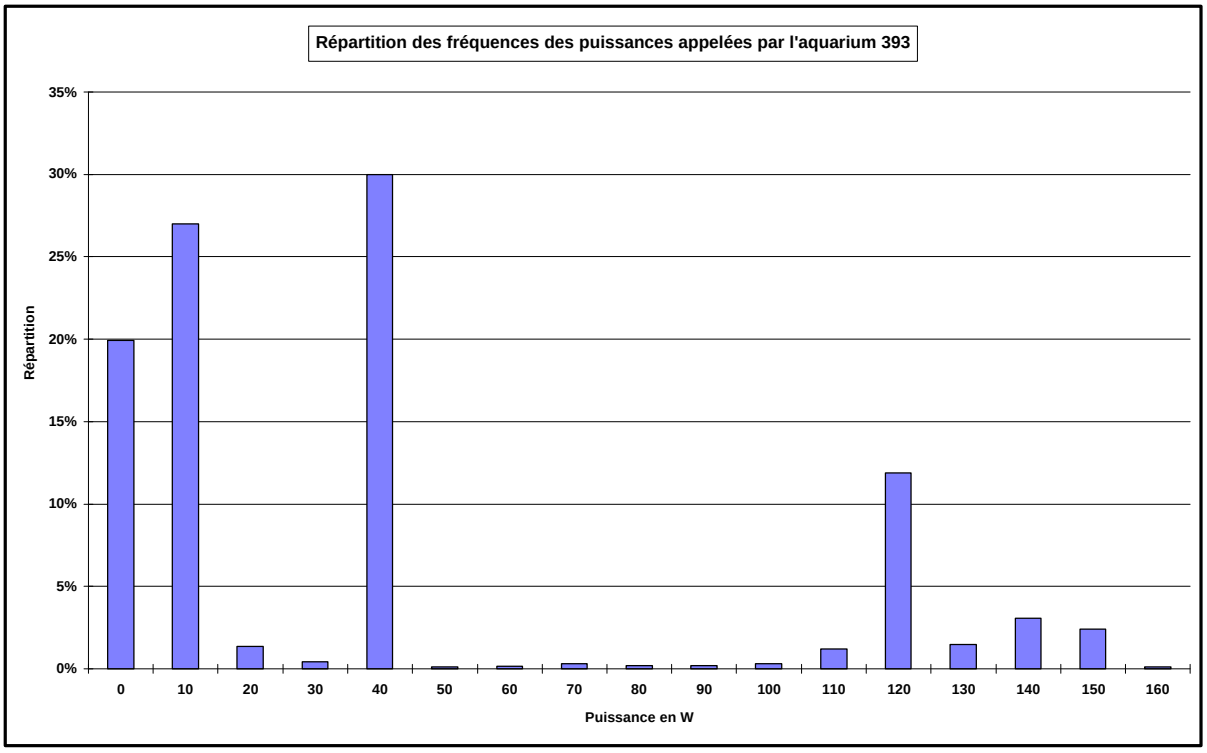


Figure 6.20 : répartition des puissances appelées par l'aquarium 393 (répartition).

La classe 10 W est celle de la pompe, la classe 40 W représente le fonctionnement simultané de la pompe et de l'éclairage, et les classes 120 à 150 W cumulent le fonctionnement de tout.

L'éclairage n'opère qu'une dizaine d'heures par jour et la résistance chauffante est d'autant plus sollicitée que la température du logement est basse (donc plutôt la nuit en hiver). On peut donc penser que la consommation des aquariums variera sensiblement avec les saisons, passant par un minimum en été, ce qui est bien légitime puisque c'est la période de l'année qui s'approche le plus du climat que l'on veut créer.

La figure 6.21 fournit la puissance horaire moyenne appelée par les deux aquariums étudiés. On voit distinctement apparaître le rôle joué la journée par le recours à l'éclairage et

l'influence de la température de la pièce sur la consommation de la résistance chauffante qui décroît en fin de journée puis augmente à partir de minuit quand la température dans la pièce a baissé.

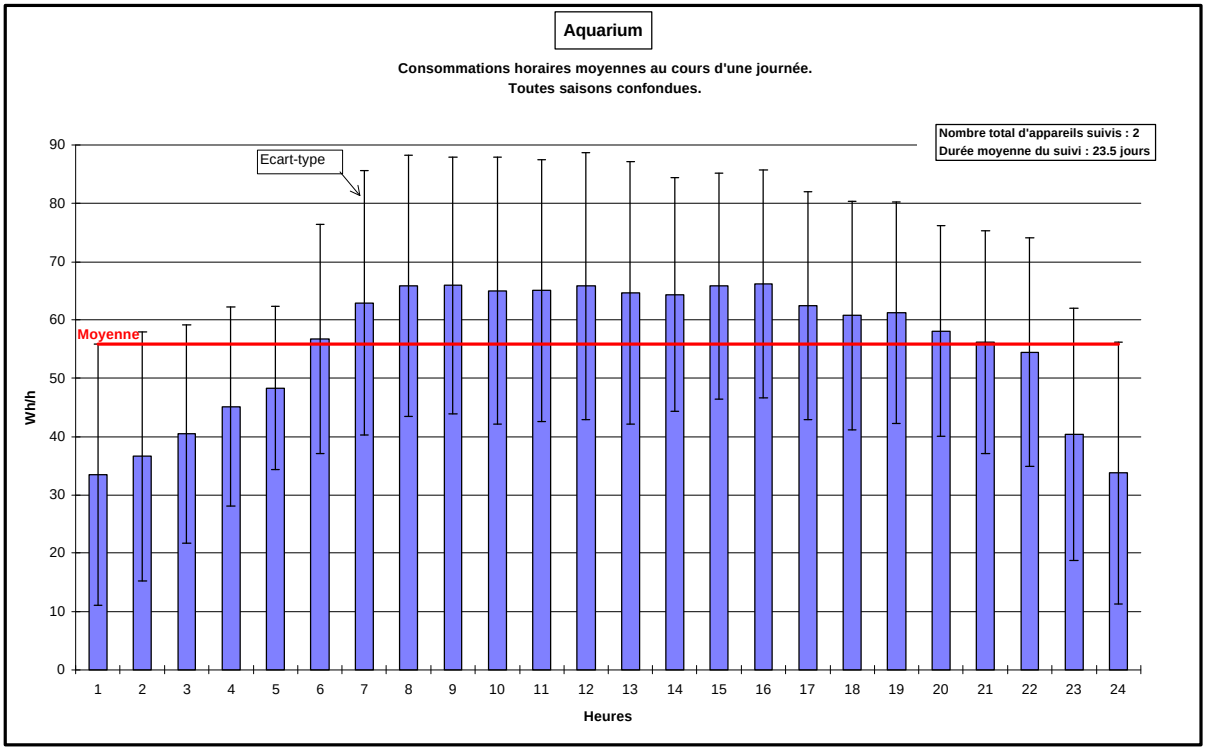


Figure 6.21 : consommation horaire moyenne des aquarium au cours d'une journée.

Il faut surtout noter le niveau de consommation extrêmement élevé des aquariums : en moyenne ils correspondent à l'appel continue d'une puissance de 56 W conduisant à une consommation quotidienne de 1,34 kWh/j (soit **489 kWh/an**), ce qui équivaut à plus de deux fois la consommation d'un lave-linge. La consommation annuelle de ces appareils est probablement un peu inférieure à l'extrapolation qui vient d'être faite, car un appareil a été suivi en février et l'autre en septembre.

La principale source de consommation des aquariums est la résistance chauffante. Une bonne conception de ces appareils passerait donc par :

- une isolation thermique du fond
- un contrôle de l'évaporation (grande consommatrice de chaleur)
- l'utilisation de double-vitrage
- l'immersion de l'éclairage afin de récupérer la chaleur de la lampe pour chauffer l'eau.

CHAPITRE 7 : L'ECLAIRAGE

7 - 1 GENERALITES

L'éclairage constitue un poste de consommation majeur mais qui n'a pas fait l'objet d'une expérimentation dans le cadre de la campagne de mesures Ciel. Suivre l'éclairage suppose en effet de piéger les consommations au départ du tableau électrique général du logement, ce qui n'est pas toujours très aisé. Mais même cette technique ne permettra jamais d'observer que les consommations passant par les circuits « lumière » traditionnels. En complément il serait nécessaire d'instrumenter toutes les prises de courant alimentant une source de lumière quelconque, en ayant en plus la certitude que les usagers ne perturberont pas la mesure en branchant d'autres appareils sur les prises suivies.

Nous avons déjà signalé au chapitre 3 que nous menions une autre campagne de mesures du même type effectuée également dans le cadre du programme SAVE (contrat N° 4.1031/S/94.093). Dans vingt logements, les circuits « lumière » au départ du tableau électrique général ont été instrumentés, ainsi que les lampes halogènes lorsqu'il y en avait. Dans ces conditions, la consommation annuelle moyenne de l'éclairage sur les départs du tableau électrique et les halogènes est de 365 kWh/an ce qui représente 11,4% de la consommation totale des logements. A titre indicatif une lampe ordinaire sur prise de courant a été suivie dans un salon. Sa consommation annuelle a été de 36 kWh représentant 1,5% de la consommation électrique totale du logement, et 15 % de la consommation des circuits « lumière ». **Il est donc probable que la part de la consommation moyenne de l'éclairage dans les logements est d'au moins 15%, représentant pour un logement de 75 à 80 m2 une consommation annuelle d'environ 500 kWh**.

Cette estimation a été faite dans la Drôme, département du sud de la France où il y a plus de lumière et de soleil, notamment en hiver, que dans la plupart des autres régions. En conséquence de quoi il est probable qu'en France la consommation de l'éclairage sera en moyenne plus importante que celle évoquée précédemment.

Plus spécifiquement la campagne Ciel s'est penchée sur l'éclairage halogène.

7 - 2 L'ECLAIRAGE HALOGENE

Quinze lampes halogènes ont été suivies pendant une durée moyenne de 29,3 jours. La distribution en fonction de la consommation quotidienne (voir figure 7.1) fait apparaître une classe dominante pour les consommations inférieures à 500 Wh/j.

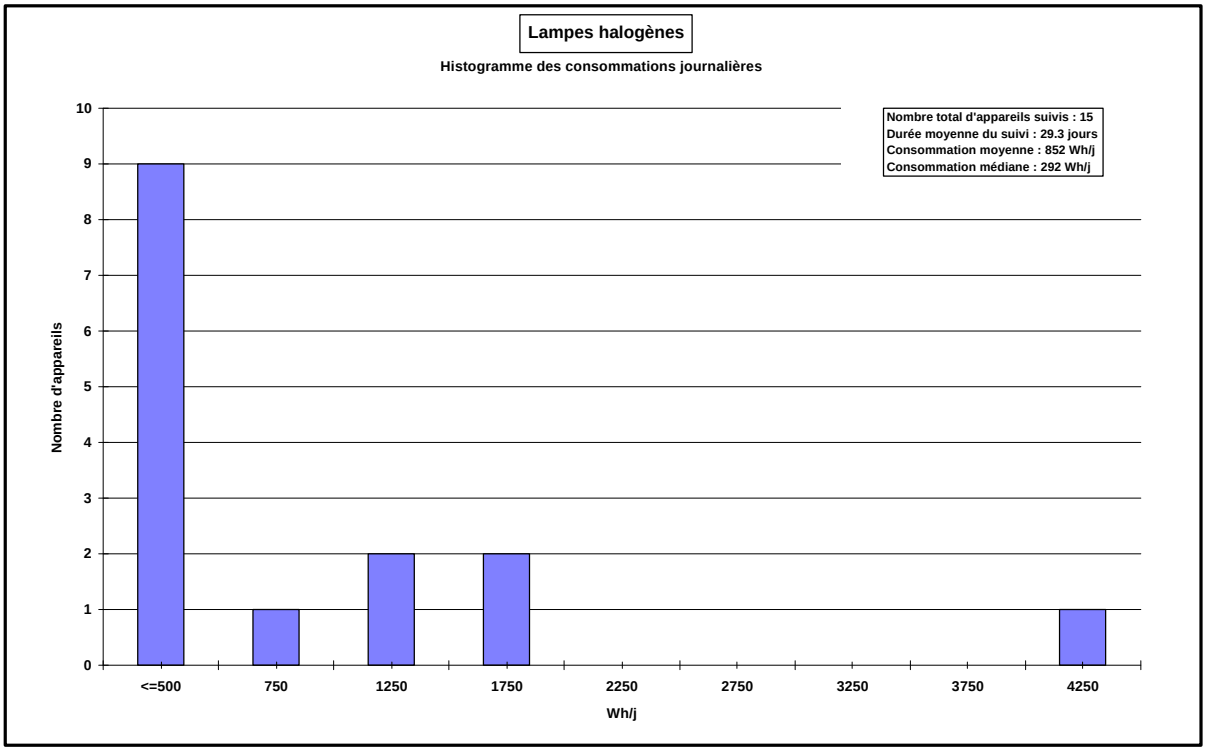


Figure 7.1 : histogramme des consommations journalières moyennes des lampes halogènes.

Remarquons la très grande plage des consommations puisqu'elle atteint 1 à 10 au moins. L'éclairage halogène est utilisé par chacun de façon très personnelle : chez certains le variateur est au minimum et la durée d'utilisation modeste, chez d'autres au contraire le variateur est à pleine puissance et l'éclairage fonctionne en continu. Pour consommer 4250 Wh/j (qui est un cas extrême observé) il faut recourir 8.5 h/j à une lampe halogène de 500 W.

En moyenne la consommation d'une lampe halogène est de 852 Wh/j (soit **311 kwh/an**), soit un tiers de plus qu'un lave-linge. Cette valeur semble due à la présence de gros consommateurs car la consommation médiane n'est que de 292 Wh/j (soit 107 kWh/an).

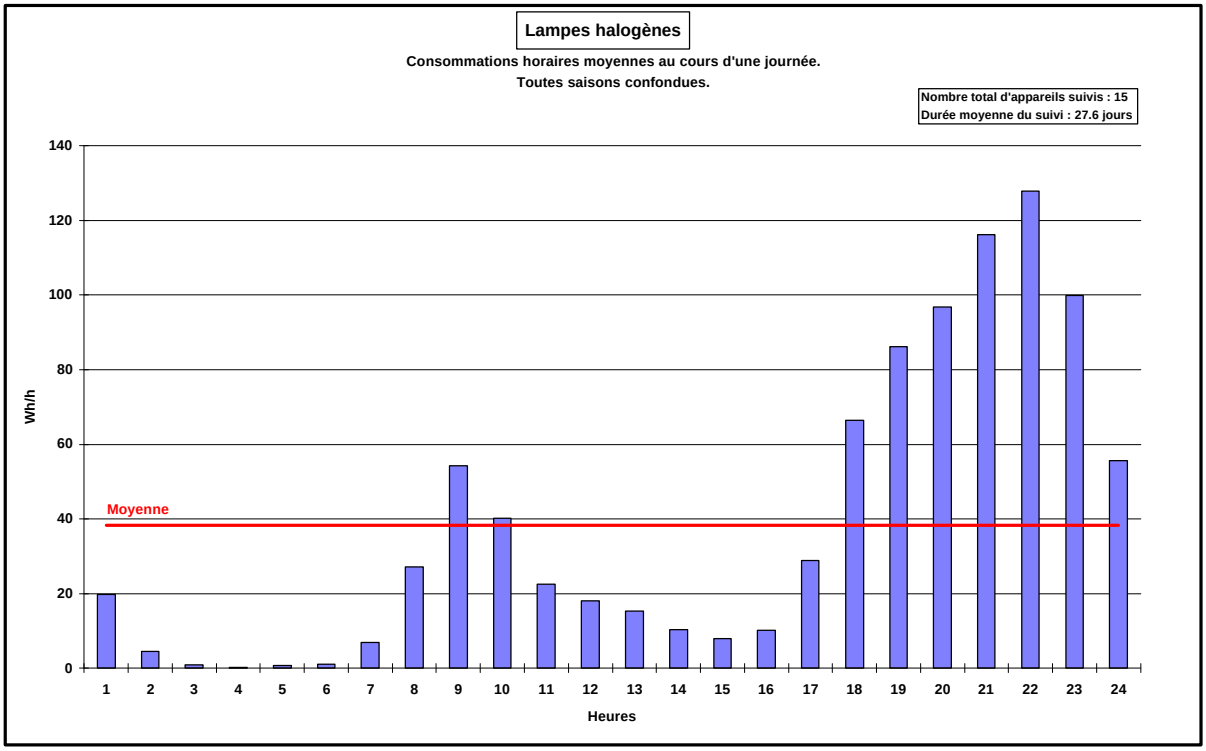


Figure 7.2 : consommation horaire moyenne des lampes halogènes au cours d'une journée.

L'évolution de la consommation horaire moyenne (figure 7.2) fait apparaître, conformément à ce que l'on pouvait attendre, une pointe majeure vers 22h avec une prépondérance de la période 18 à 23 h qui représente 64 % des besoins, et une pointe secondaire en matinée autour de 9h. On note aussi que la puissance appelée par les lampes halogènes n'est jamais nulle, sauf entre 3 et 5h du matin, ce qui est peut-être la preuve qu'elles constituent avant tout un éclairage d'ambiance.

CHAPITRE 8 : ELECTROMENAGER DE CUISINE ET DIVERS

8 - 1 LES FOURS A MICRO-ONDES

Les fours à micro-ondes sont aujourd'hui très utilisés par les ménages qui s'en servent aussi bien pour décongeler plus rapidement, pour chauffer ou réchauffer des boissons, des plats surgelés ou....des biberons, ou encore pour rôtir. La durée de ces utilisations s'étend de quelques secondes à une heure. En termes énergétiques, l'avantage du four à micro-ondes n'est pas évident pour l'ensemble des usages auquel le destinent les ménages. La décongélation est certes pratique, mais pas particulièrement optimum dans un four à micro-ondes, pas plus que la fonction de rôtir pour laquelle le four électrique a exactement les mêmes performances. On devra conserver ces remarques à l'esprit lorsqu'on examinera le bilan des fours à micro-ondes.

Au total, 58 fours à micro-ondes ont été suivis pendant une durée moyenne de 24,9 jours. Il ressort que la consommation moyenne est de 134 Wh/j (soit **49 kWh/an**) avec un écart type de 95 Wh/j attestant d'une très grande dispersion, ce que l'on pouvait prévoir compte tenu de la diversité des usages. La consommation médiane est de 115 Wh/j (soit 42 kWh/an). L'histogramme des consommations journalières (voir figure 8.1) fait apparaître une pointe centrée sur la classe 75 Wh/j et une dissymétrie très marquée vers les valeurs inférieures ce que révélait déjà la consommation médiane.

Ainsi près des deux tiers des appareils sont dans les trois premières classes et consomment moins de 150 Wh/j, ce qui correspond environ à une utilisation maximale de 6 minutes par jour. On remarque aussi la plage des consommations qui s'étendent de 1 à 10, ce qui s'explique assez bien par la variété des usages déjà signalée.

Mais la vraie surprise naît de la comparaison des fours à micro-ondes et des mini-fours de cuisine (15 appareils suivis) : ces derniers consomment 64 kWh/an (voir § 8.2) alors que les fours à micro-ondes consomment 49 kWh/an. C'est effectivement une surprise car chacun a dans l'esprit que les fours à micro-ondes consomment peu et sont source d'économie. Est-ce toujours vrai lorsqu'ils sortent des usages spécifiques pour lesquels ils sont effectivement économes? A titre d'exemple, décongeler nécessitera toujours beaucoup d'énergie quelle que soit la technique utilisée : c'est la chaleur latente inhérente au changement d'état de la glace en eau. Rôtir ne peut pas se faire avec la technique des micro-ondes, mais avec des résistances électriques traditionnelles. Il apparaît donc une sorte de dérive de l'appareil, dérive imposée par des contingences commerciales qui ont conféré aux fours à micro-ondes des fonctions qui facilitent parfois le travail en cuisine, mais au détriment des performances énergétiques spécifiques.

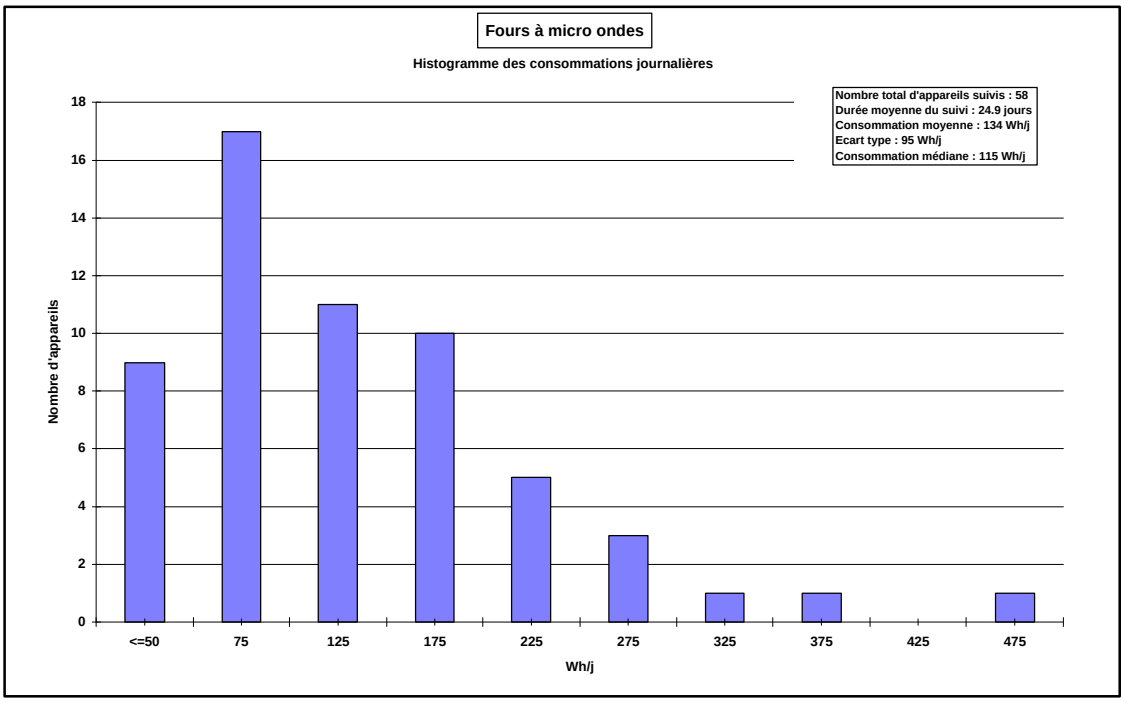


Figure 8.1 : histogramme des consommations journalières moyennes des fours à micro-ondes.

La figure 8.2 représente la consommation horaire moyenne des fours à micro-ondes. Les pointes sont évidemment à l'heure des repas. Mais il est intéressant de remarquer que la pointe principale se trouve à 13h pour le repas de midi, celui pour lequel on est le plus pressé. Le four à micro-ondes est bien une aide à la préparation rapide des repas.

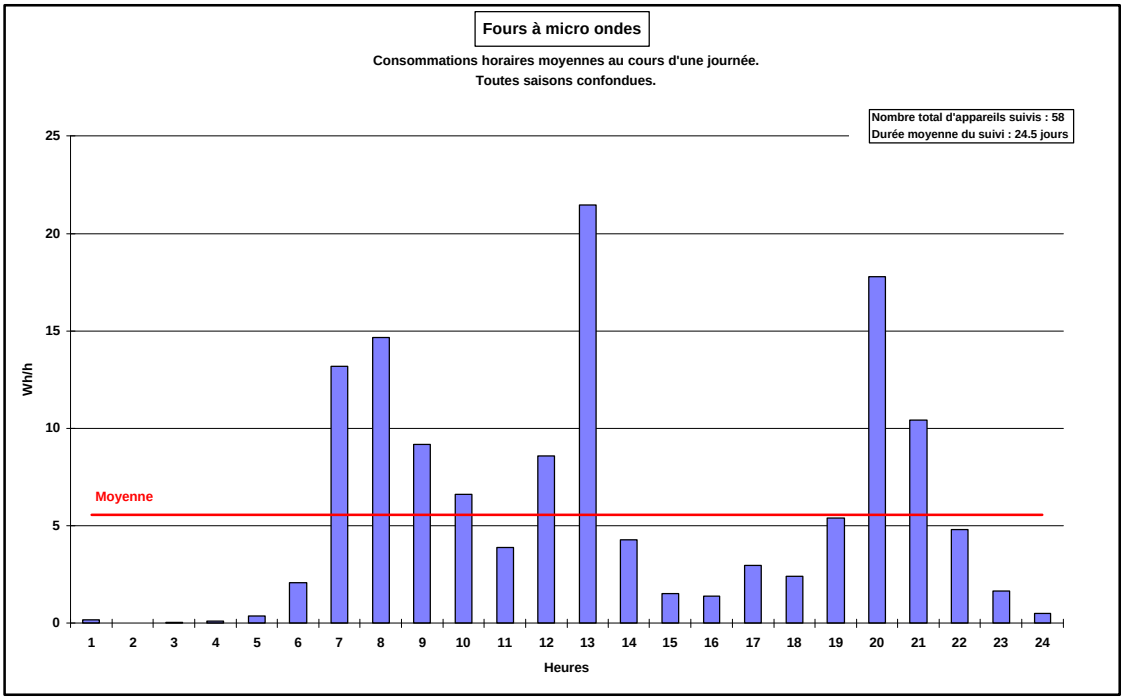


Figure 8.2 : consommation horaire moyenne des fours à micro-ondes au cours d'une journée.

Par ordre d'importance apparaît ensuite le matin. Le four à micro-ondes contribue alors à aller vite dans un domaine où il est très performant : le réchauffage des liquides. Enfin, le « micro-ondes » est sollicité tout au long de la journée puisqu'il apparaît de 5h à minuit. C'est la preuve de sa polyvalence et de son caractère irremplaçable dans les foyers.

L'enquête n'a pas relevé la nature des fours à micro-ondes : simple service, ou combiné? Les micro-ondes combinés sont ceux qui associent à la fonction de base de l'appareil les fonctions de grill et de chaleur tournante. Dans ces appareils il est possible de solliciter deux fonctions simultanément, ce qui conduit à des puissances appelées élevées. Les puissances couramment rencontrées dans les différents modes sont :

- mode micro-ondes : 1350 à 1850 W (mais avec un rendement de restitution d'environ 60 %).
- mode grill : 1200 à 1750 W
- mode chaleur tournante : 1300 à 1600 W

La combinaison de deux fonctions peut donc conduire à des puissances voisines de 3000 W. L'examen de l'histogramme des puissances appelées en fonctionnement (voir figure 8.3) est intéressant.

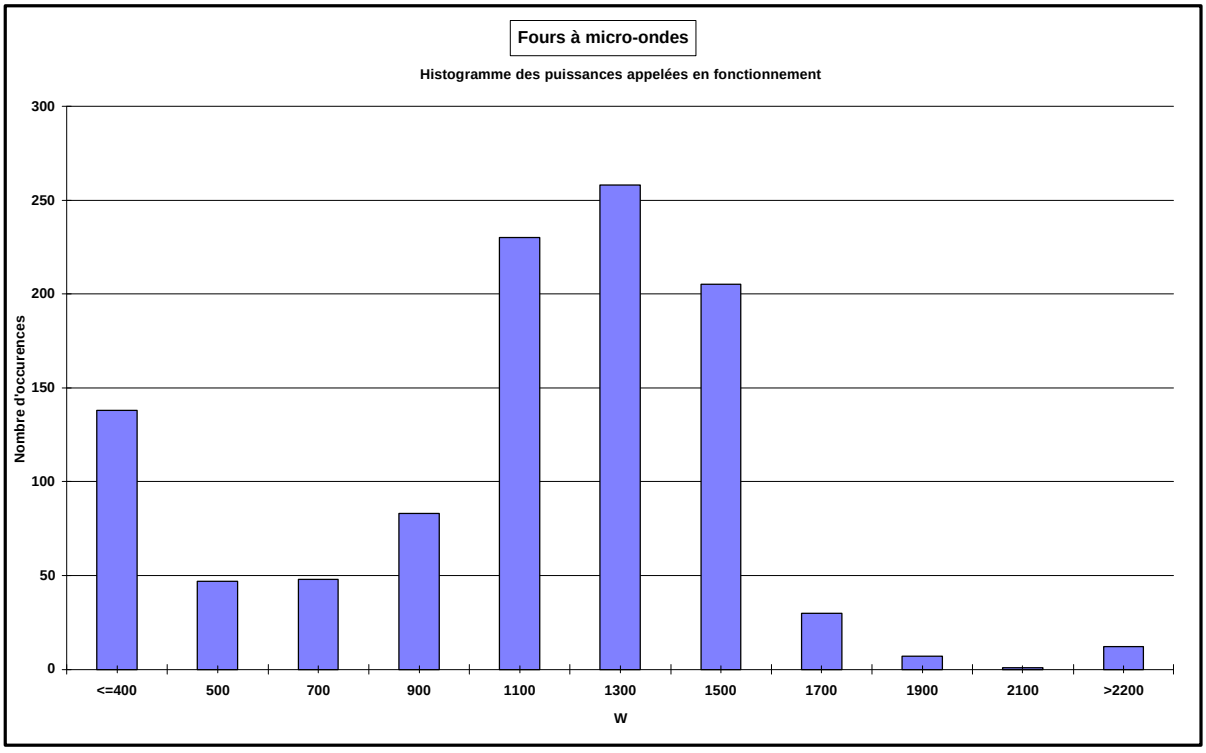


Figure 8.3 : niveaux de puissances appelées par les fours à micro-ondes.

On remarque une pointe allant de 1100 à 1500 W qui correspond à l'ensemble des fonctionnalités décrites prises individuellement. Toutes les puissances inférieures à 1100 W correspondent à des coupures ou des démarrages qui ont eu lieu dans l'intervalle de dix secondes utilisés par le système de mesures pour évaluer la puissance. Elles n'ont donc pas d'intérêt. En revanche la très faible proportion d'appels de puissance supérieurs ou égaux à

2200 W atteste soit de la très faible proportion de fours combinés, soit de la très faible utilisation de deux fonctions simultanément.

Il faut aussi remarquer l'existence d'une puissance de veille sur certains appareils. Cette puissance, de l'ordre de 2 W, est destinée à l'affichage de l'horloge digitale. On a aussi observé une puissance intermédiaire de 50 W. Elle correspond au fonctionnement du plateau tournant et de l'éclairage interne en dehors des périodes de fonctionnement du klystron.

8 - 2 LES MINI FOURS DE CUISINE

Les mini fours de cuisine sont assez fréquents car ils rendent pratiquement les mêmes services que les grands fours mais avec un encombrement et une consommation réduits. Nous n'avons pas voulu instrumenter de grands fours à cause de la limitation à 16A des prises compteuses du système de mesures Diace.

Le nombre d'appareils suivis est de 15, et la durée moyenne du suivi de 26 jours. La consommation moyenne est de 174 Wh/j (soit **64 kWh/an**) avec un écart type de 123 Wh/j. La consommation médiane est de 161 Wh/j (soit 59 kWh/an).

La figure 8.4 donne la distribution en fonction des consommations journalières. La pointe est située sur la classe centrée autour de 200 Wh/j.

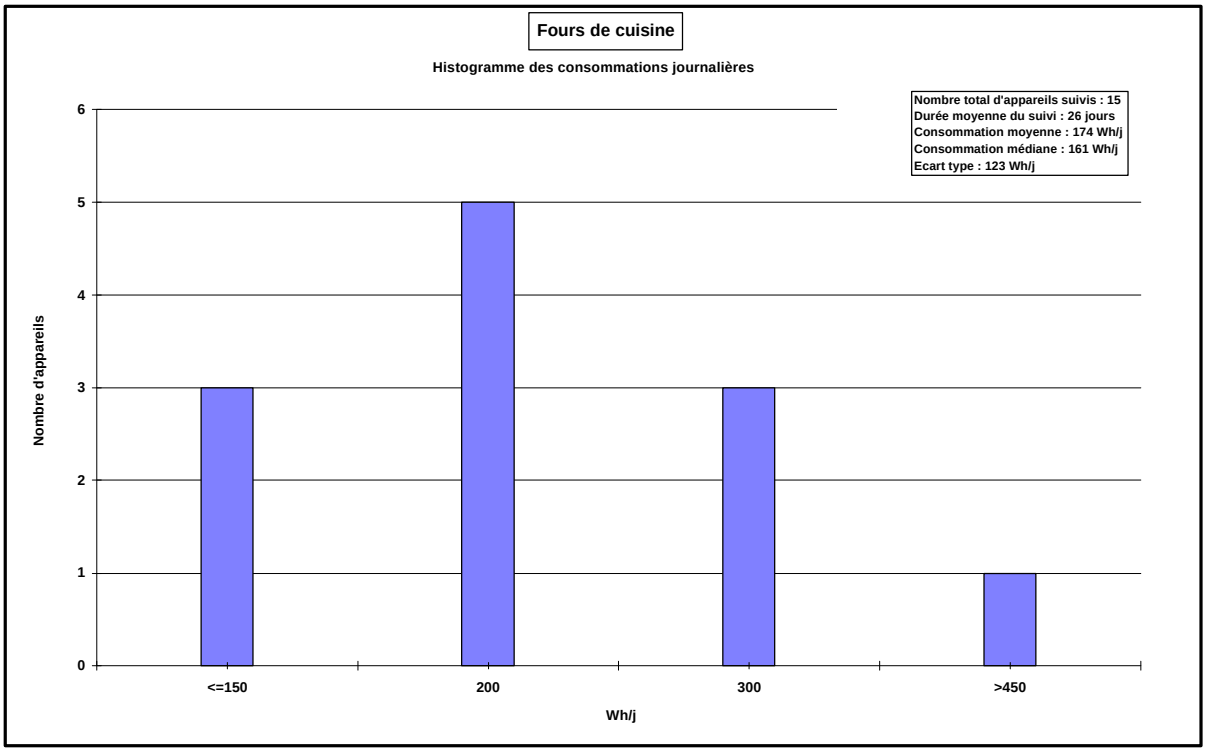


Figure 8.4 : histogramme des consommations journalières moyennes des fours de cuisine.

L'analyse des puissances appelées (voir figure 8.5) montre que c'est autour de 900 W que se situe la fréquence la plus élevée. On constate que la plage des puissances est assez étendue de 900 à 1900 W, de façon très régulière, alors que les puissances en amont de 900 W sont très peu fréquentes car elles ne correspondent pas à des puissances effectives mais

seulement à des états transitoires piégés par le système de mesures et correspondant à des arrêts ou à des démarrages des résistances chauffantes.

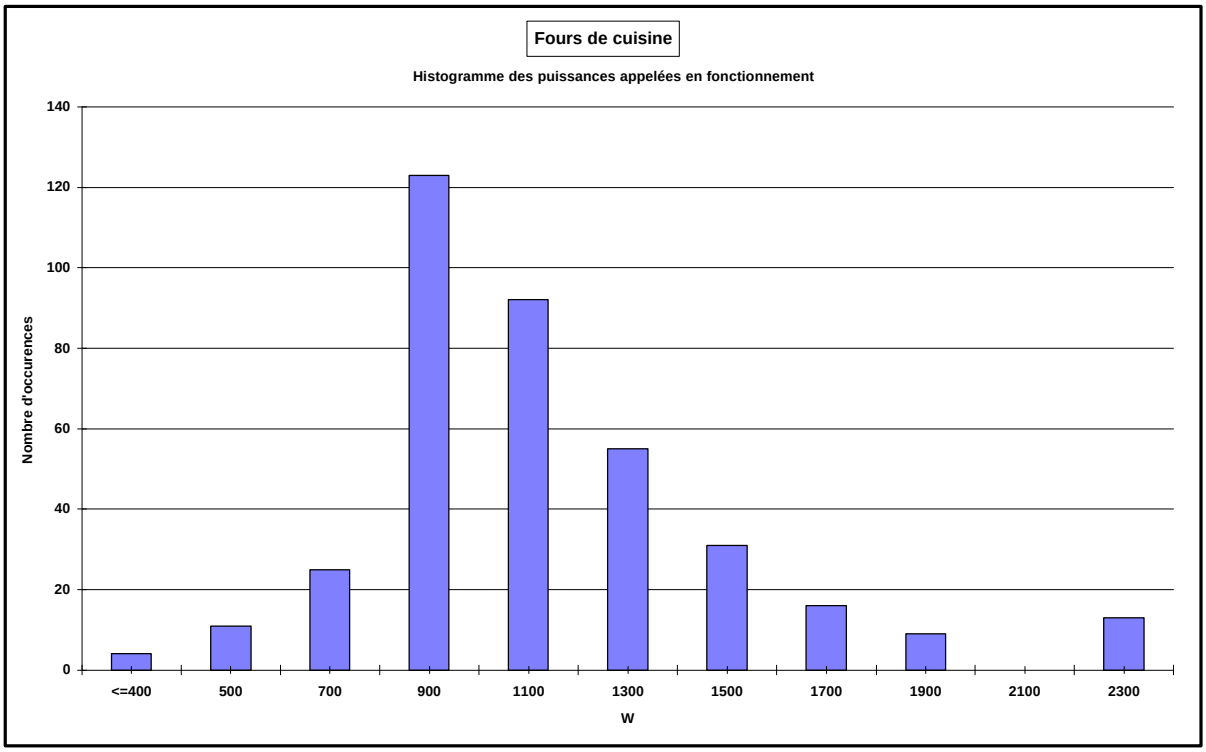


Figure 8.5 : niveaux de puissances appelées par les fours de cuisine.

8 - 3 LES CAFETIERES

Le nombre d'appareils suivis est de 39 et la durée moyenne du suivi de 25,6 jours. La consommation moyenne est de 67 Wh/j (soit **24 kWh/an**) soit le dixième de la consommation annuelle d'un lave-linge. Cela correspond approximativement à la production de 4 décilitres de café par jour. L'écart type est de 48 Wh/j et la consommation médiane de 51 Wh/j (soit 19 kWh/an). La puissance appelée est d'environ 1000 W.

L'histogramme de la figure 8.6 montre que la classe la plus importante est celle centrée autour de 30 Wh/j (soit deux décilitres de café quotidien), et que la plage de consommation est grande puisqu'elle s'étend de 1 à 10. A l'extrémité la classe centrée sur 190 Wh/j correspond à la production journalière de plus d'un litre de café.

La consommation horaire moyenne (voir figure 8.7) montre que les cafetières sont utilisées majoritairement pour le petit déjeuner : la tranche 6h/9h absorbe plus de 40 % de la consommation quotidienne. Vient ensuite le déjeuner avec une pointe très forte vers 13/14h. Pour le reste on observe que la cafetière est utilisée modérément mais de façon continue toute la journée de 4h à 23h.

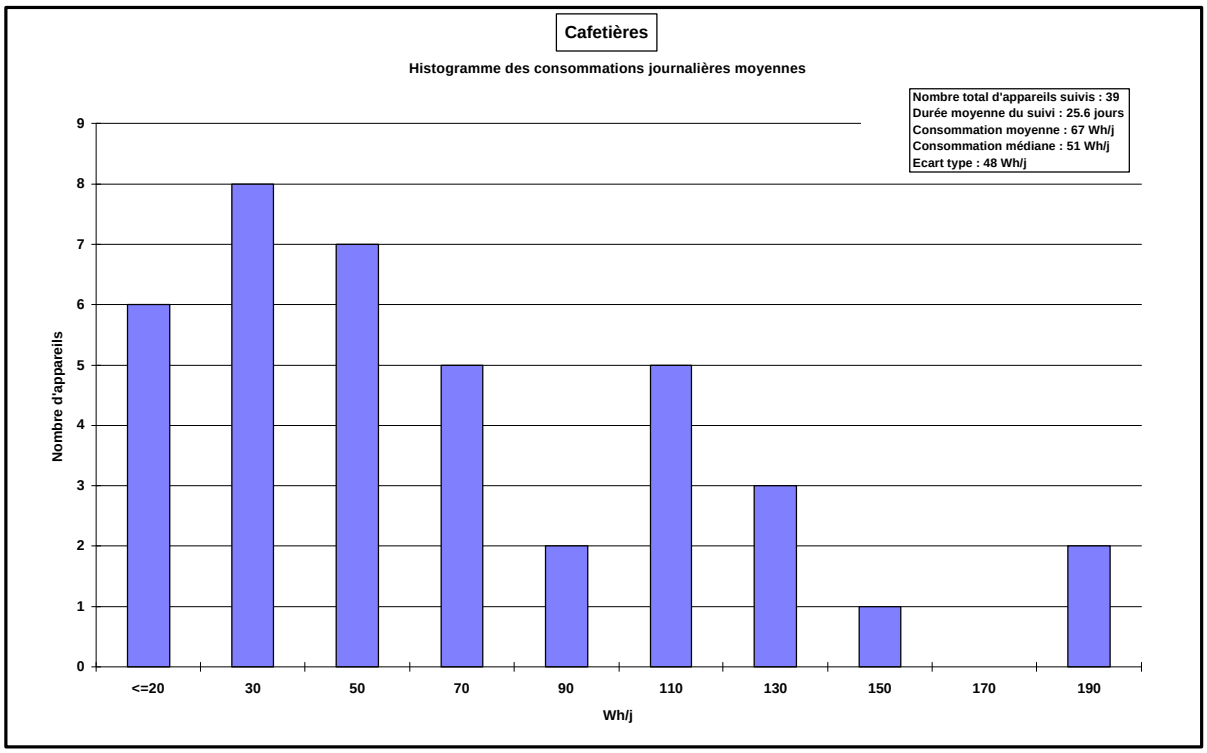


Figure 8.6 : histogramme des consommations journalières moyennes des cafetières.

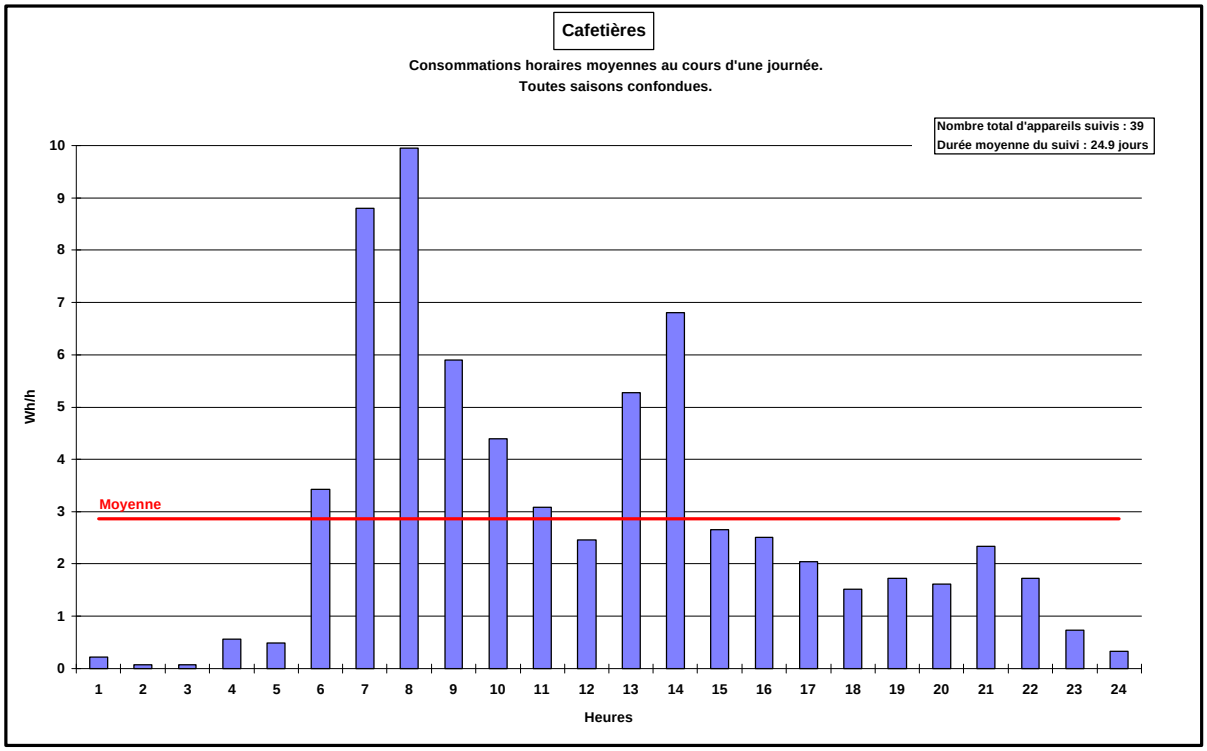


Figure 8.7 : consommation horaire moyenne des cafetières au cours d'une journée.

Une cafetière se comporte dans le bilan énergétique comme une puissance continue de 2,8 W.

8 - 4 LES GRILLE-PAIN

Le nombre de grille-pain suivis est peu important : 8. Les résultats auront donc une valeur très relative. La durée moyenne du suivi est de 28,8 jours. La consommation moyenne est 38 Wh/j (soit **14 kWh/an**), ce qui correspond à une durée d'utilisation d'environ deux minutes par jour.

La figure 8.8 donne la consommation horaire moyenne des grille-pain : leur usage est centré sur le petit déjeuner puisque la tranche 7 à 10h absorbe plus de 60 % de la consommation quotidienne. On remarque deux autres pointes d'importance bien moindre au moment du dîner, et aussi de façon marginale au moment du déjeuner.

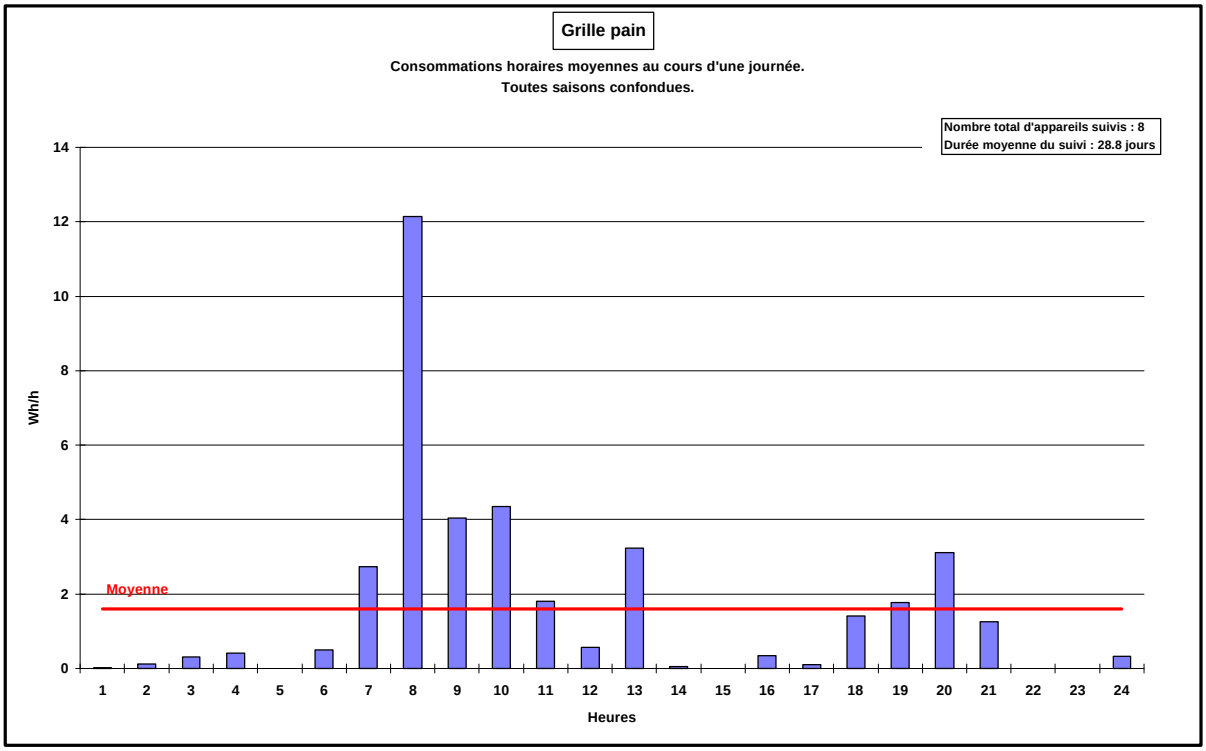


Figure 8.8 : consommation horaire moyenne des grille-pain au cours d'une journée.

8 - 5 DIVERS

D'autres appareils ont aussi fait l'objet d'un suivi, mais bien souvent l'échantillonnage est vraiment trop faible pour qu'on puisse tirer des conclusions. Ces appareils vont être rapidement passés en revue.

■ Robot mixer

Trois appareils ont été suivis pendant une durée moyenne de 25,3 jours. Les consommations sont très variables d'un foyer à l'autre puisqu'en moyenne elles valent respectivement 0.56, 107, et 0.60 Wh/j. On rencontre des appareils très hétérogènes puisque les puissances observées vont de 160 à 1250 W. Les cycles absorbent en général entre 5 et 7

Wh, sauf pour l'appareil le plus consommateur pour lequel ils sont en moyenne de 68 Wh et d'une durée de trois minutes.

Il est probable que nous avons suivi un appareil dont la consommation est un extremum, et que selon toute probabilité, la consommation d'un robot mixer (dont la puissance est voisine de 700 W) se situera en moyenne entre 1 et 5 kWh/an .

■ Friteuses

Seulement deux appareils ont été suivis. Le comportement des usagers était très différent, si bien que l'on arrive à des résultats très contrastés. L'une des friteuses a consommé 114 Wh/j, l'autre 6,4 Wh/j...Il faudrait que d'autres mesures soient conduites sur cet appareil pour pouvoir tirer des conclusions, mais il est probable que l'on observerait une très grande dispersion des consommations.

■ Sèche-cheveux

Trois sèche-cheveux ont été suivis pendant une durée moyenne de 30 jours. Là comme ailleurs la dispersion est considérable : 3.2, 66.6, 37.8 Wh/j. La valeur moyenne est de 30.3 Wh/j, ce qui conduirait à une consommation annuelle de 11 kWh. Sous toutes réserves.

CHAPITRE 9 : CONSOMMATION ELECTRIQUE DES AUXILIAIRES

Par « auxiliaires » nous entendons tous les appareils disposant d'une alimentation électrique et ne faisant pas partie de l'électroménager classique. Il s'agit par exemple de l'alimentation électrique des chaudières individuelles à combustible, de la ventilation mécanique, etc. Les « auxiliaires » sont des appareils nécessaires au fonctionnement d'un mécanisme ou d'une machine.

9 - 1 ALIMENTATION ELECTRIQUE DES CHAUDIERES MURALES

9-1-1 Généralités

Les chaudières murales sont très répandues en France. Elles fonctionnent au gaz naturel ou au butane/propane et assurent souvent à la fois le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire de façon instantanée,ou par le biais d'un ballon de stockage.

Quel que soit leur type ou leur marque, elles nécessitent un raccordement électrique qui a pour fonction :

☛ **l'alimentation du circulateur du circuit de chauffage**. Sa puissance peut varier de 50 à 100 W, la majorité des appareils ayant une puissance de 80 W. Les circulateurs ont un très mauvais rendement. Au point de fonctionnement optimal de la courbe débit/pression il ne dépasse pas 13 ou 14 %, et dès que l'on s'écarte de ce point, le rendement chute assez vite pour atteindre aux extrémités de la courbe des valeurs voisines de 2 %. Où vont les 98 % de pertes? Environ 10 à 30 % sont liés au rendement du moteur électrique. Celui-ci s'échauffe et la chaleur est dissipée dans le local où il se trouve. Pour le reste il s'agit de pertes dues au mauvais rendement d'aubage de la turbine. Le profil de ces aubages est extrêmement simplifié pour des raisons économiques. La turbine se conduit alors comme un brasseur de fluide, ce qui a pour effet principal d'échauffer l'eau plus que de la mettre en mouvement. Pour fixer les idées, faire circuler 400l/h dans une installation avec une perte de charge de 4 m CE nécessite théoriquement....4,4 W. Avec un circulateur de 80 W le rendement sera de 5,5 %.

☛ **allumage, contrôle de la flamme et régulation du brûleur**. Toutes ces fonctions sont très peu consommatrices d'énergie. Au total elles ne nécessitent qu'environ 10W.

☛ **ventilateur des chaudières à ventouse**. Les chaudières à ventouse possèdent un conduit de fumée horizontal débouchant à l'extérieur après avoir directement traversé le mur. Ce conduit court comporte deux tubulures concentriques, l'une servant au rejet de la fumée et l'autre à l'admission d'air neuf qui se trouve ainsi préchauffé. Mais l'absence de longueur et surtout de hauteur de l'évacuation de fumée rend le tirage très

aléatoire, et impose la présence d'un ventilateur dont la puissance est d'environ 20 W, parfois 30. Dans les modèles de chaudières les plus anciens, il fonctionne 24h/24, quel que soit l'état (marche/arrêt) de la chaudière. Dans les modèles récents, il tourne pendant la marche du brûleur, mais lorsque celui-ci est éteint, il peut être arrêté (si l'allumage est de type électrique) ou fonctionner à vitesse réduite (si l'allumage est fait par veilleuse).

☛ **circulateur de la production d'eau chaude sanitaire**. La production d'eau chaude peut se faire soit par « bain marie », soit par le biais d'un échangeur. Seul le second cas nécessite le recours à un circulateur.

La production avec ballon de stockage rend obligatoire la présence d'un circulateur.

Bien que variés, les besoins en électricité d'une chaudière murale devraient être intrinsèquement très faibles, du moins peut-on l'imaginer. On devrait en principe constater que la consommation électrique est directement liée au temps de fonctionnement du brûleur, donc varier beaucoup d'une période à l'autre de l'année. Difficile dans ces conditions d'évaluer la consommation annuelle à partir des mesures mensuelles faites dans Ciel et très marquées par les saisons.

Néanmoins, aussi courte soit-elle, la période d'observation a permis de mettre en évidence le principal problème des chaudières murales : la nature de l'asservissement des différents organes électriques de la chaudière. De cet asservissement peuvent naître des écarts annuels de consommation électrique considérables comme nous allons le montrer.

Il existe plusieurs façons d'asservir les organes d'une chaudière murale. Certains asservissements sont faits en usine et ne peuvent être modifiés pour des raisons fonctionnelles ou des raisons de sécurité. D'autres sont à réaliser lors de l'installation de la chaudière.

■ Asservissement du circulateur du réseau chauffage

Cette opération doit être réalisée lors de l'installation. La plupart des chaudières offrent les trois possibilités suivantes :

☛ ***le circulateur n'est asservi à rien. Il fonctionne 24h/24***. C'est le pire des cas. Si l'utilisateur ne pense pas à mettre la chaudière en position « été » en période estivale, le circulateur tournera 8760 heures/an et consommera 700 kWh. Si la chaudière est mise en position « été » le circulateur fonctionnera environ 5550 h/an et consommera 450 kWh.

☛ ***le circulateur est asservi à l'horloge programmable***. Il ne fonctionne environ que 16h/j. C'est un peu mieux que précédemment. Sans la position « été » le circulateur consommera 470 kWh, et seulement 300 kWh avec la position été.

☛ ***le circulateur est asservi au thermostat d'ambiance***. Dans ce cas il s'arrête dès que le brûleur s'arrête. **C'est la meilleure solution**. Rien ne s'y oppose, surtout si l'installation est correctement conçue. En effet quand le brûleur ne produit plus de chaleur il est parfaitement inutile de faire tourner une pompe dont le rôle est de transférer la chaleur vers les émetteurs! Dans ce cas le circulateur ne fonctionnera plus que 250 à 400 h /an et consommera 20 à 32 kWh/an.

■ **Asservissement du circulateur de la production d'eau chaude sanitaire**

☛ ***il n'y a pas d'asservissement possible.*** Ce circulateur est asservi en usine, et cet asservissement ne peut pas être modifié car il est nécessaire. La pompe fonctionne environ 100 h par an, ce qui représente 8 à 10 kWh. Le mieux est de disposer d'une chaudière produisant l'eau chaude par bain marie (donc sans circulateur).

■ **Asservissement du ventilateur de la ventouse**

☛ ***il n'y a pas d'asservissement possible du ventilateur de la ventouse*** autre que celui fait en usine (logique non modifiable). Préférer les chaudières à allumage électrique.

9-1-2 Puissances électriques comparées

Les figures 9.1 et 9.2 représentent la puissance mesurée toutes les dix minutes sur deux chaudières murales, l'une mal asservie (fig. 9.1), l'autre correctement asservie (fig. 9.2). Ces deux chaudières ont des puissances thermiques identiques (23 kW) et assurent toutes les deux le double service chauffage/eau chaude instantanée.

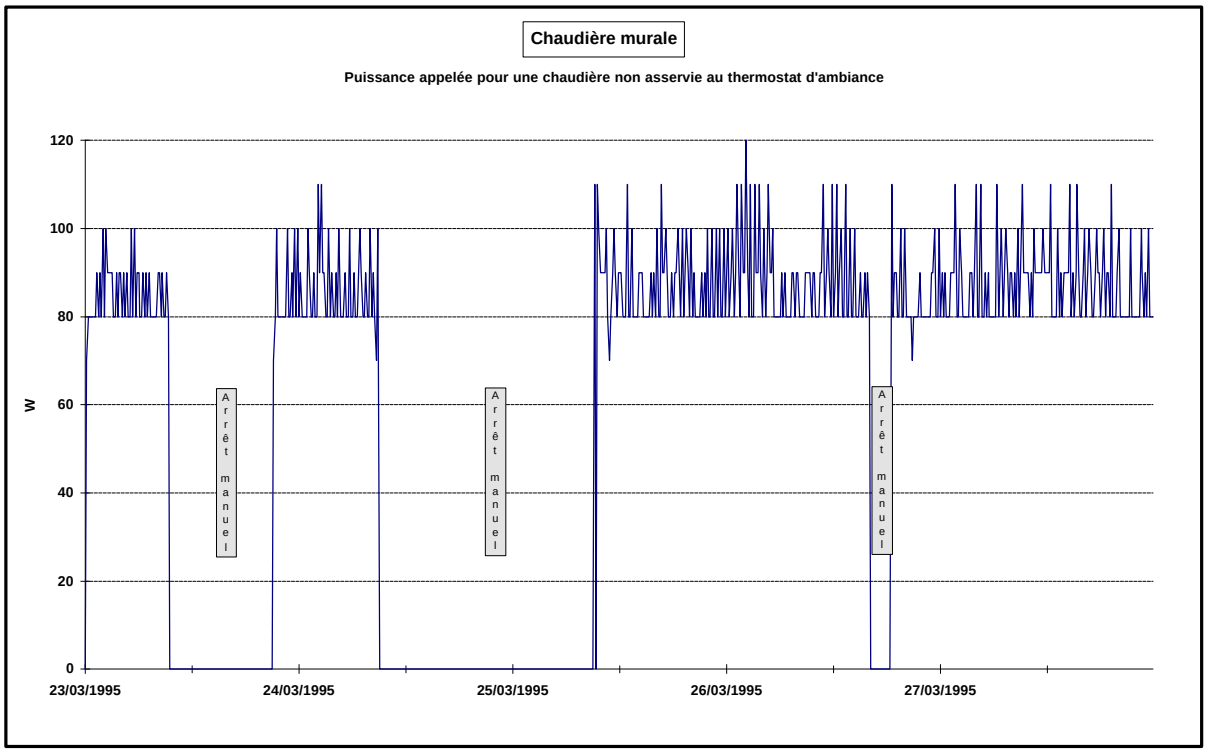


Figure 9.1 : puissance appelée par une chaudière murale mal asservie

Les périodes d'observation ne sont pas tout à fait les mêmes puisqu'elles diffèrent d'une quinzaine de jours, mais cela ne change rien. On observe que la chaudière mal asservie ne s'arrête que lorsque l'usager coupe le chauffage (ce qu'il fait plusieurs fois car on est en mi-saison). En revanche la chaudière dont le circulateur est asservie au thermostat d'ambiance fonctionne très peu et sa consommation d'énergie est minimum.

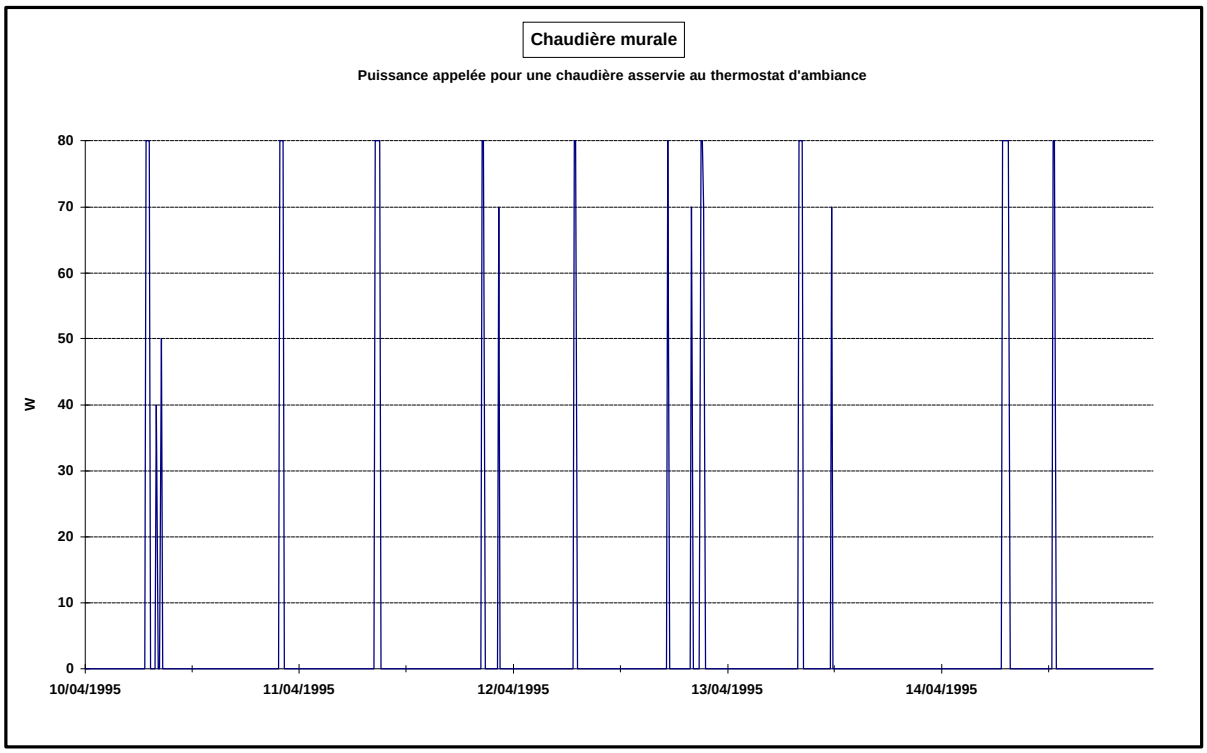


Figure 9.2 : puissance appelée par une chaudière murale bien asservie

La figure 9.3 compare la distribution des puissances appelées sur la même période pour ces deux chaudières. La chaudière bien asservie est à l'arrêt 94 % du temps alors que l'autre n'y est que 31 %, et seulement parce que l'usager l'a coupée manuellement.

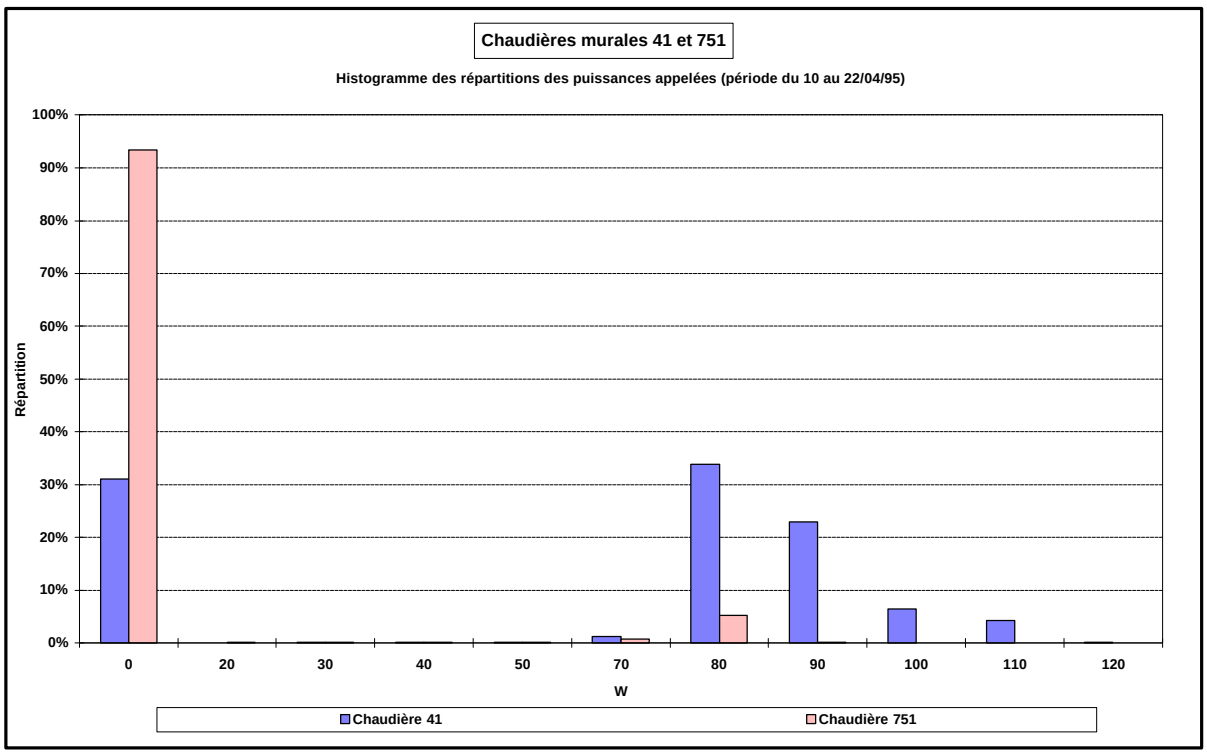


Figure 9.3 : comparaison de la distribution des puissances appelées pour les chaudières murales 41(mal asservie) et 751 (bien asservie).

Il faut préciser que la chaudière la plus économe en électricité l'est aussi parce qu'elle possède un conduit de cheminée et non une ventouse, si bien que la puissance appelée se résume à celle du circulateur et des asservissements comme on le voit sur la figure 9.3 (en moyenne 80 W sollicités 5 ou 6 % du temps).

9-1-3 Consommations électriques journalières comparées

Le mode d'asservissement des organes a des conséquences importantes sur la consommation annuelle des chaudières. S'il est vrai qu'en plein hiver à cause de la charge, la nature de ces asservissements a des effets un peu atténués sur la consommation, en revanche, dès la mi-saison les écarts sont considérables entre installations bien et mal asservies.

A titre d'illustration l'exemple des deux chaudières précédentes va être poursuivi. Les figures 9.4 et 9.5 montrent sur l'ensemble de la période de mesures, l'énergie consommée et la durée de fonctionnement quotidiennes. L' échelle de la représentation est la même.

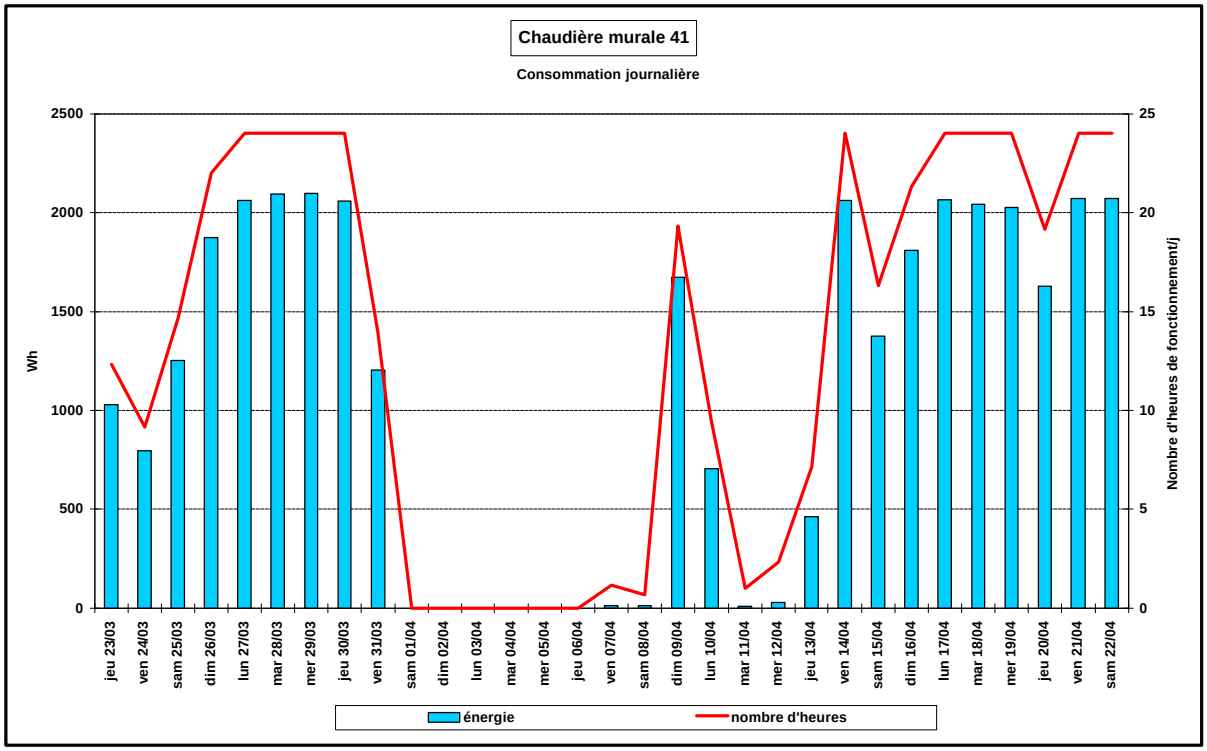


Figure 9.4 : consommation et durée de fonctionnement de la chaudière murale 41.

Les deux chaudières ont fonctionné en même temps du 10 au 22 avril, à quelques kilomètres l'une de l'autre. Pendant cette période la chaudière mal asservie a consommé 18,4 kWh en 13 jours, soit 1,42 kWh/j, alors que l'autre chaudière n'a consommé au total que 1,46 kWh, soit 0,11 kWh/j, **c'est à dire 13 fois moins**.

La courbe continue également représentée sur les figures 9.4 et 9.5 indique la durée de fonctionnement des deux chaudières. Pour la chaudière 41, on aurait observé en permanence une sollicitation de 24h/24 si l'usager n'avait pratiqué des coupures manuelles. En revanche, on voit que l'autre chaudière a fonctionné très peu, s'adaptant parfaitement aux variations de la charge climatique, sans pour autant s'arrêter totalement.

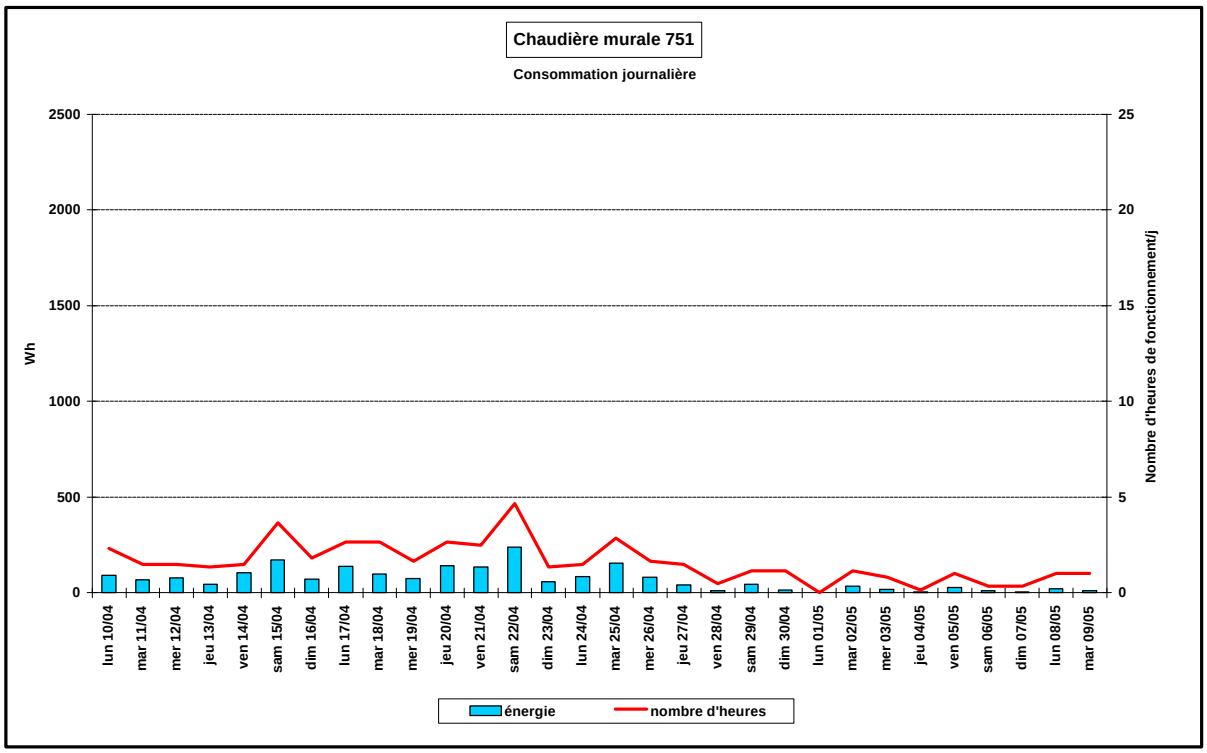


Figure 9.5 : consommation et durée de fonctionnement de la chaudière murale 751.

La figure 9.6 fournit la consommation journalière comparée de ces deux chaudières.

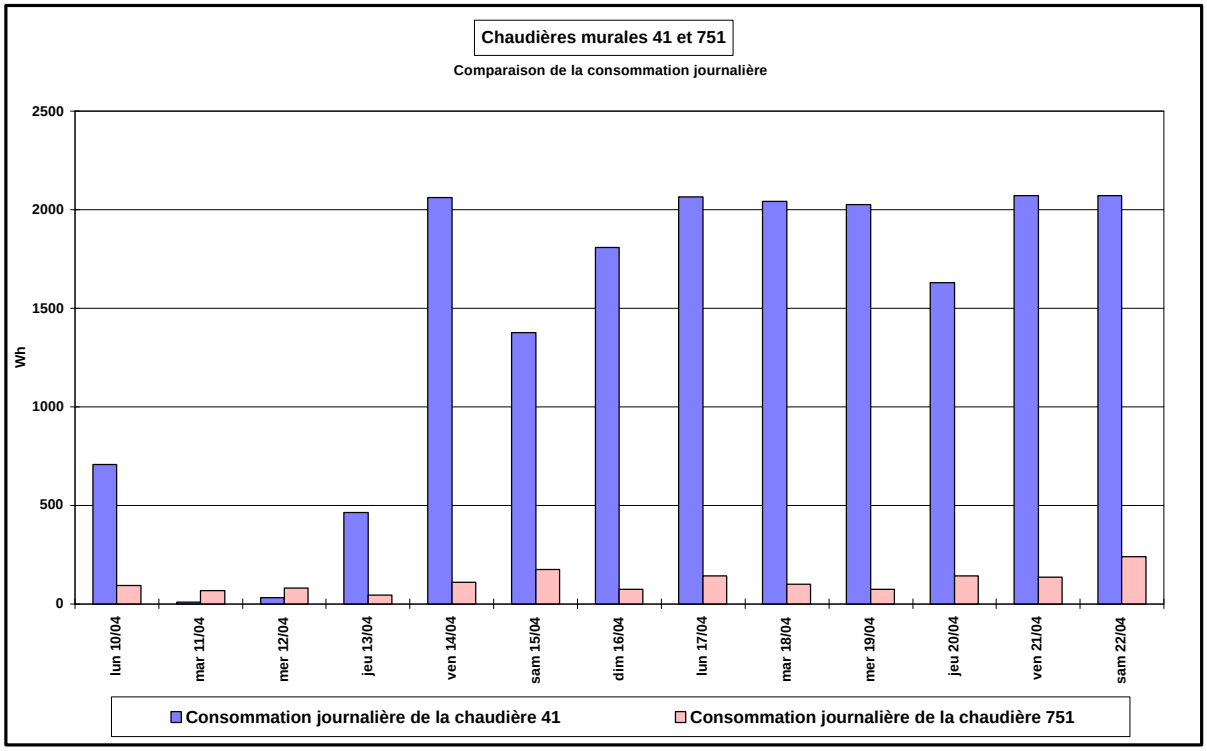


Figure 9.6 : comparaison des consommations des chaudières murales 41 et 751.

L'usager de la chaudière 41 (mal asservie) a limité les gaspillages en intervenant les 11 et 12 avril, mais il n'a pas réussi à s'adapter exactement aux besoins climatiques, comme l'autre chaudière a pu le faire.

Un autre exemple de chaudière sans asservissement est donné par la figure 9.7. Cette chaudière fonctionne 24h/24 pendant toute la période du suivi (trait continu en partie haute du graphique). La consommation quotidienne est d'environ 1700 Wh, ce qui correspond à une puissance continue de 70W (vraisemblablement celle d'un circulateur). La période de suivi se situe fin octobre début novembre, donc en période de chauffage.

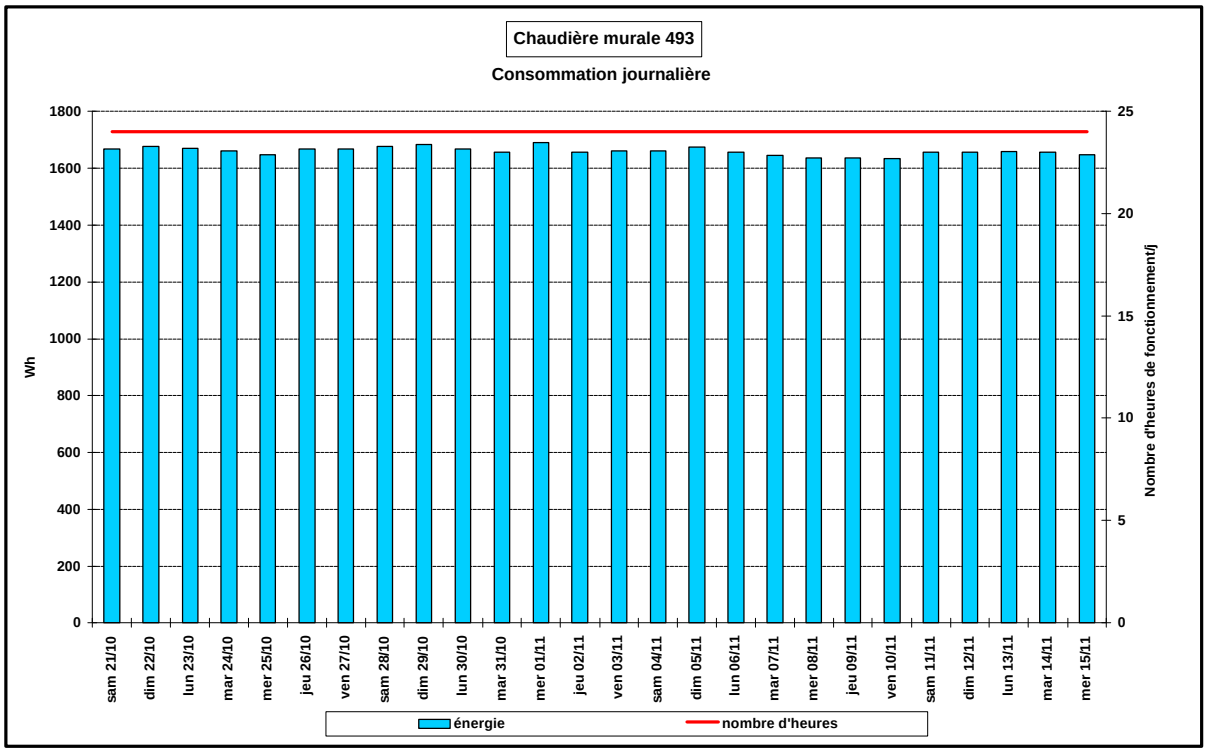


Figure 9.7 : consommation et durée de fonctionnement d'une chaudière murale mal asservie.

La figure 9.8 représente le cas d'une chaudière suivie pendant le mois de juin, donc hors saison de chauffage.

La consommation électrique est continue et vaut seulement de 400 à 450 Wh. Il s'agit du ventilateur d'une chaudière à ventouse (environ 20 W). La chaudière est maintenue en marche pour le service d'eau chaude sanitaire, mais la ventouse est d'un modèle ne disposant pas d'un régime de ralenti.

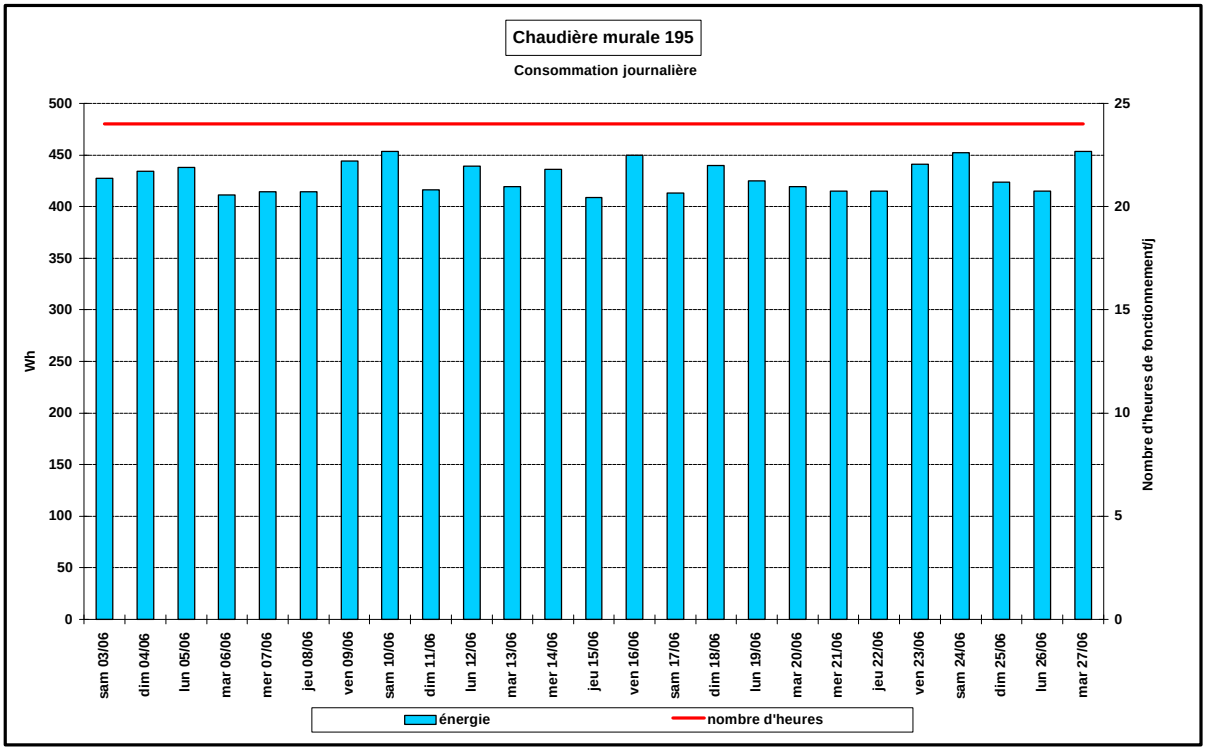


Figure 9.8 : consommation et durée de fonctionnement de la chaudière murale 195. (modèle à ventouse)

9-1-4 Courbe de charge horaire moyenne

Neuf chaudières seulement ont été suivies ce qui rend difficile la représentation des différents types d'asservissement en toute saison. Mais l'observation de la courbe de charge horaire (voir figure 9.9) est intéressante car elle reflète bien le mode d'occupation quotidien d'un foyer. Signalons que si des variations horaires existent c'est bien parce que certaines chaudières possèdent des asservissements capables de s'adapter aux variations de besoin!

Entre 6h et 9h on observe une pointe correspondant à la période de production d'eau chaude sanitaire. Puis à partir de 10 h subsiste seule la fonction chauffage. Mais à 13h apparaît à nouveau une surconsommation due à la production d'eau chaude liée au déjeuner. L'après-midi le chauffage est seul, et la réduction des besoins due à l'augmentation de la température extérieure conduit à une baisse de la consommation électrique de la chaudière, jusqu'à ce que les besoins de chauffage augmentent à nouveau en fin d'après-midi, vers 17-18h. On retrouve en soirée une seconde pointe consécutive à la production d'eau chaude sanitaire (vaisselle et toilettes) entre 21 et 23h. Puis on assiste en première partie de nuit à une chute de la puissance appelée correspondant probablement au ralenti nocturne dont disposent la plupart des systèmes de chauffage, et à une stabilisation à partir de 2h du matin liée au maintien de la température de ralenti.

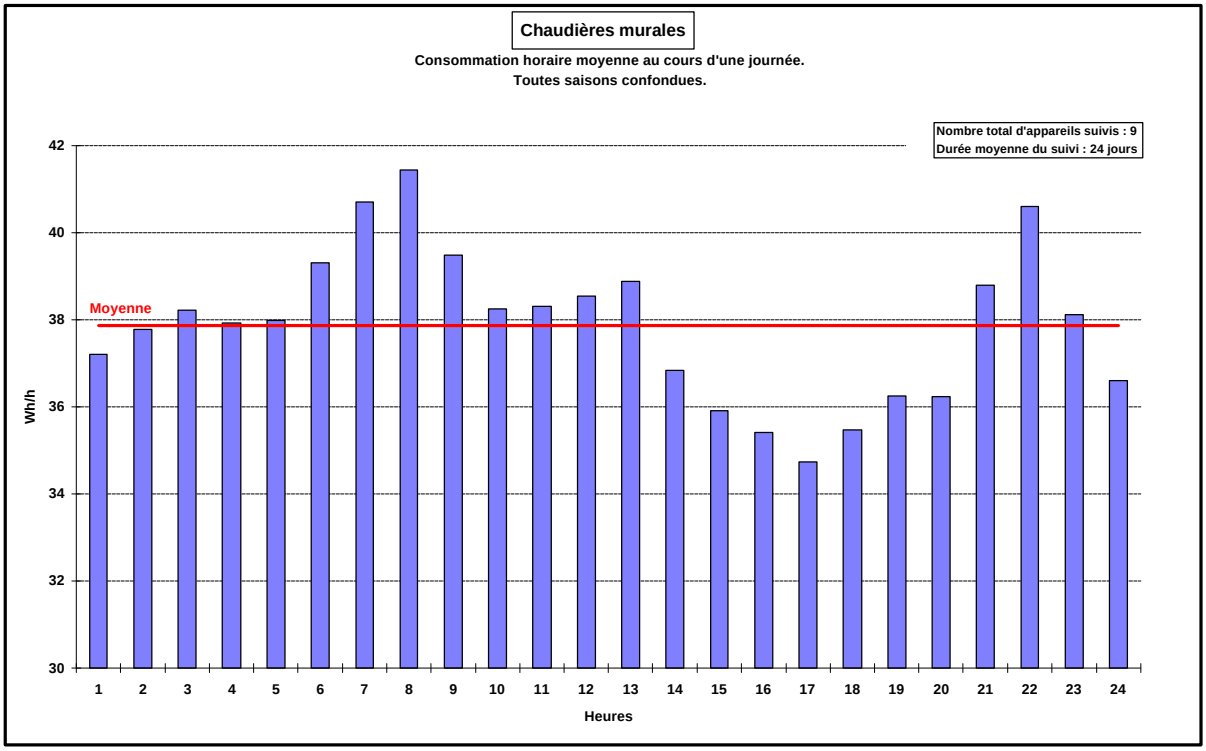


Figure 9.9 : consommation horaire moyenne des chaudières murales.

9-1-5 Influence des saisons sur la consommation journalière

Quatre paramètres principaux régissent le niveau de consommation électrique des chaudières murales :

☛ **l'asservissement ou non du circulateur au thermostat d'ambiance**. En cas de non-asservissement du circulateur, la consommation de la chaudière sera exactement la même tout au long de l'année, sauf en période estivale si l'on utilise la position « été ». Enjeu annuel des économies : de 250 à 400 kWh selon les modèles.

☛ **le type d'évacuation des fumées** : par conduit vertical (donc sans ventilateur) ou par ventouse (avec ventilateur). Dans le premier cas, la consommation d'énergie est nulle. Dans le second, le ventilateur de la ventouse peut ou non fonctionner en permanence (environ 20 W).

☛ **la nature de l'allumage**. Cette distinction n'intéresse que les chaudières à ventouse. En effet si l'allumage est électrique, le ventilateur de la ventouse est à l'arrêt en même temps que le brûleur. Il consomme donc un minimum. Si l'allumage est fait par veilleuse, le ventilateur peut ne pas être asservi (défavorable), ou tourner à vitesse réduite (cas plus favorable). Enjeu annuel des économies : 175 kWh maximum.

☛ **la nature de la production d'eau chaude sanitaire**. Elle peut dans certains cas nécessiter le recours au circulateur.

Toutes les variantes induites par la combinaison de ces différents paramètres conduisent à des solutions aux performances très contrastées (voir § 9.1.6).

Pour se rendre compte de l'état du parc et des logiques d'asservissement mises en oeuvre, il faudrait disposer d'un échantillon de quelques dizaines d'unités. Ce n'est pas notre cas. La figure 9.10 donne la répartition des consommations pour les neuf chaudières suivies au cours des différentes saisons. Les chaudières sont beaucoup moins sensibles que les appareils électroménagers aux habitudes des occupants mais leur consommation est en revanche plus influencée par leur conception technique et la nature du raccordement électrique. Ceci va permettre, malgré l'étroitesse de l'échantillon, de dégager des conclusions générales.

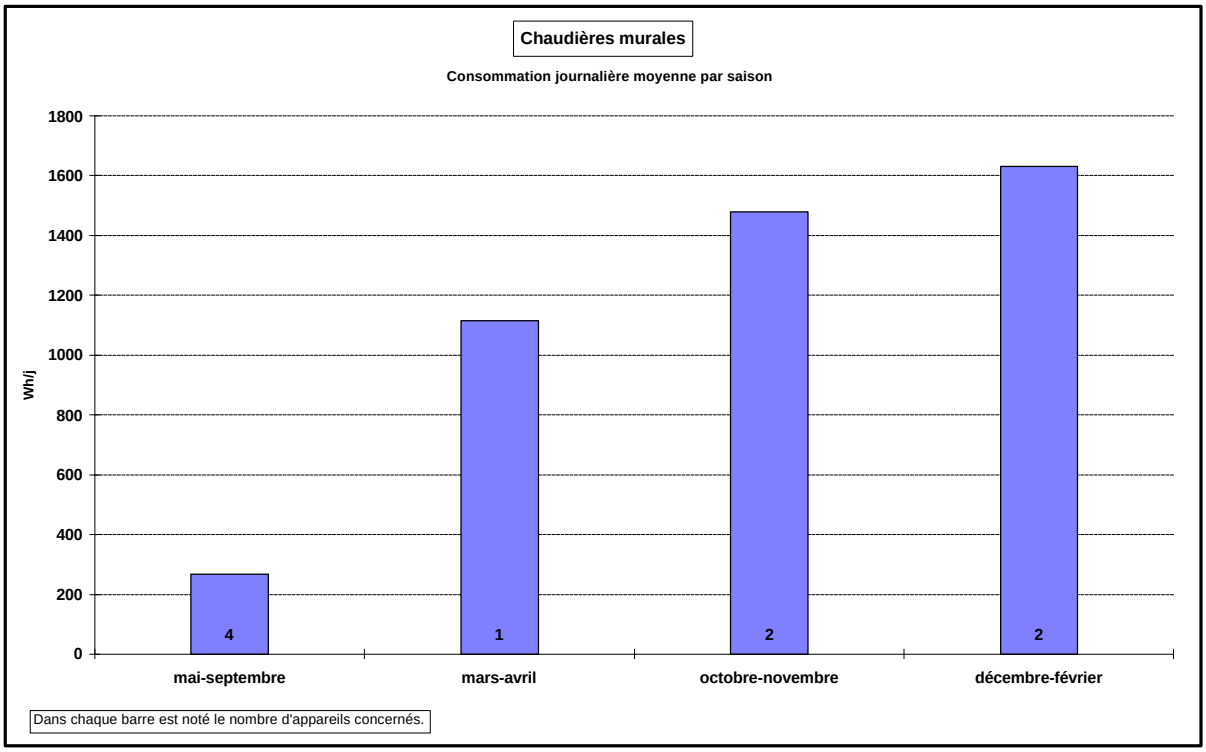


Figure 9.10 : consommation journalière moyenne des chaudières murales par saison.

On observe que pour les mois d'été la consommation est de l'ordre de 270 Wh/j, alors qu'en plein hiver (décembre-février) elle dépasse 1600 Wh/j. Cette différence ne signifie pas que les chaudières sont correctement asservies mais seulement que les utilisateurs ont coupé la fonction « chauffage » grâce à la touche « été », hypothèse confirmée par l'examen des consommations intermédiaires. On a vu sur le diagramme de la figure 9.5 qu'une chaudière bien asservie pouvait consommer très peu en mi-saison (de l'ordre de 110 Wh/j). Ce n'est pas le cas sur la figure 9.10 où la consommation en mars-avril est encore supérieure à 1100 Wh/j. On peut donc en conclure, comme le confirme l'analyse individuelle des différents appareils, que **la plupart des chaudières de l'échantillon ont une consommation très anormalement élevée due en général à un asservissement inadapté du circulateur.**

9-1-6 Consommation annuelle des chaudières murales

Fournir la consommation annuelle d'une chaudière murale est impossible à la suite de la campagne Ciel, puisque les mesures n'ont porté que sur des périodes d'un mois.

Mais dans le cadre d'une autre campagne de mesures en cours que nous menons avec l'appui de la communauté européenne (contrat SAVE N° 4.1031/S/94.093) et de l'ADEME, nous avons suivi quatorze chaudières murales pendant une année complète. Les résultats méritent d'être examinés de près car ils confirment et précisent toutes les tendances et les hypothèses développées dans ce qui précède.

Sur une année complète les consommations pour des chaudières ayant toutes exactement les mêmes caractéristiques (23 kW de puissance thermique, double service) vont de 59 kWh/an (soit 162 Wh/j) à 501 kWh/an (soit 1373 Wh/j) soit une plage de 1 à 8,5. Dans ce dernier cas, la chaudière a même été le premier poste de consommation électrique du logement, place d'ordinaire réservée aux appareils de production de froid. La chaudière la moins consommatrice des deux est une chaudière à ventouse, allumage électrique, asservie au thermostat d'ambiance, avec production d'eau chaude par bain marie. C'est la configuration optimale.

La consommation médiane de l'échantillon est de 336 kWh/an, et la consommation moyenne de 297 kWh/an (soit 814 Wh/j), ce qui est très élevé et atteste comme dans l'opération Ciel que l'asservissement des appareils est souvent très mal fait. **Si l'on se réfère à la consommation moyenne annuelle d'un lave-linge, la consommation d'une chaudière murale est 30 % plus importante.** Ceci est une surprise considérable et met en évidence, selon nous, un gisement d'économie important d'accès très aisé et très rentable puisque dans un premier temps il ne nécessite que des modifications de branchement électrique.

9-1-7 Quels enseignements tirer de ces analyses ?

9-1-7-1 Gisement d'économies

On peut estimer à environ 5 millions le nombre de chaudières murales en France. A la lumière de ce qui précède et des contacts que nous avons eus avec les fabricants, il semble possible sans difficulté de réduire en moyenne de 200 kWh/an la consommation électrique des chaudières. Ce chiffre tient compte des différentes technologies et des possibilités de modulation d'appel de puissance ou d'asservissement qu'elles offrent. On voit qu'il existe donc **un terawattheure** d'économies potentielles à réaliser de façon assez aisée sur les seules chaudières murales.

9-1-7-2 Les nouveaux matériels

Les principaux constructeurs interrogés à ce sujet ont fait savoir qu'aujourd'hui le circulateur de toutes les chaudières murales neuves peut être asservi au thermostat d'ambiance. De nombreuses chaudières bénéficient d'un allumage sans veilleuse, ce qui permet d'arrêter complètement le ventilateur de la ventouse lorsque celle-ci existe. Tous les éléments technologiques sont donc disponibles pour pouvoir garantir de très faibles consommations électriques aux chaudières. Le problème est donc dans le choix des matériels, et surtout dans leur mise en oeuvre.

9-1-7-3 L'asservissement des chaudières

Le circulateur de toutes les chaudières murales posées devrait être asservi en règle générale au thermostat d'ambiance. C'est une source d'économie considérable. Toutes les chaudières offrent cette possibilité au niveau du bornier de branchement. En revanche l'immense majorité des installateurs ignorent complètement son existence, et surtout personne ne connaît l'enjeu énergétique et financier de cette disposition. Car si l'économie minimum est de 200 kWh/an, elle engendre une réduction des dépenses de 150 F, ce qui peut représenter 10 % de la facture de gaz pour le chauffage et l'eau chaude dans les logements construits actuellement.

9-1-7-4 Améliorations technologiques

Les pistes à explorer concernent d'abord la logique des asservissements propres à chaque chaudière et sur lesquels l'installateur ne peut rien : le circulateur pour la production d'eau chaude, le ventilateur de la ventouse, etc. En second lieu on peut se demander si le développement de circulateurs à haut rendement ne serait pas un choix judicieux. Car on retrouve ces petites pompes à des millions d'exemplaires dans le résidentiel mais aussi dans le tertiaire, voire l'industrie, et le rendement n'y est guère meilleur. La recherche pourrait porter sur l'amélioration des rendements de l'aubage, du moteur électrique et de la transmission mécanique.

9 - 2 ALIMENTATION ELECTRIQUE DES CHAUDIERES AU FIOUL

9-2-1 Généralités

Les difficultés de suivi des chaudières au fioul ont été les mêmes que pour les chaudières murales et sont essentiellement dues au caractère très saisonnier des consommations. Malgré certaines similitudes, les problèmes rencontrés lors de l'analyse de notre petit échantillon mettent en évidence certaines spécificités intéressantes.

Quel que soit leur type, les chaudières au fioul supposent un raccordement électrique dont les principales fonctions sont :

☛ **l'alimentation électrique commune au ventilateur du brûleur et à la pompe fioul**. Ces deux organes ne fonctionnent pratiquement que lorsque le brûleur fonctionne. Puissance moyenne : 110 W.

☛ **l'alimentation électrique nécessaire à l'allumage, au contrôle de la flamme et à la régulation du brûleur**. Puissance moyenne : 120 W absorbés essentiellement par les électrodes d'allumage. Mais la phase d'allumage est très courte (quelques secondes).

☛ **l'alimentation électrique de la vanne solénoïde** permettant de contrôler l'arrivée du fioul. Puissance : 6 W.

☛ **l'alimentation éventuelle d'un réchauffeur de fioul**. Les réchauffeurs ne sont présents que sur certaines chaudières, principalement de petites puissances. A l'origine leur justification s'appuyait sur des considérations énergétiques. En effet les gicleurs pulvérisent le fioul à pression constante. Si la viscosité du fioul change (parce que sa température change), le rapport air/fioul au brûleur va changer et le rendement de combustion en sera affecté. Pour remédier à cet inconvénient on place à l'entrée du brûleur un réchauffeur sur l'arrivée du fioul de façon à maintenir celui-ci en permanence à 65°C.

Mais cette justification n'est pas très fondée en réalité, si bien qu'elle a évolué et n'est plus la principale raison d'être des réchauffeurs aujourd'hui. Leur rôle essentiel est maintenant de pouvoir passer dans les gicleurs des puissances plus petites, donc des débits de fioul plus petits, mieux adaptées aux besoins thermiques actuels. Pour cela, on augmente le diamètre des gicleurs tout en réduisant la pression de la pompe d'injection et on réduit la viscosité du fioul en le préchauffant. Ce faisant on évite les risques d'obturation et donc les pannes du gicleur, et on réduit incidemment le bruit et l'usure qui auraient été le lot des gicleurs trop petits.

La puissance électrique maximum d'un réchauffeur est de l'ordre de 100 à 120 W, mais elle n'est pas appelée de façon constante. Lors d'un démarrage à froid, cette résistance va devoir fonctionner à pleine charge pour élever la température du corps du réchauffeur, puis la charge va baisser d'autant plus que la température du fioul dans la cuve est élevée. A titre d' exemple, l'injection de 2 kg par heure de fioul (pour produire 20 kW thermique) à 10°C suppose en régime permanent une puissance au réchauffeur de 75 W. Une partie de cette énergie est toutefois récupérée puisqu'elle est directement injectée dans la chaudière. Le réchauffeur fioul fonctionne donc toute l'année mais à des niveaux de puissance en principe assez variables.

☛ **l'alimentation électrique du circulateur de l'installation de chauffage**. Ce circulateur est rarement intégré à la chaudière, mais il est la plupart du temps piloter par la même régulation qu'elle. La situation de l'asservissement du circulateur des chaudières fioul est donc *a priori* similaire à celle des chaudières murales. Mais il existe maintenant des modèles à basse température dont le brûleur s'adapte aux besoins thermiques exacts moyennant un fonctionnement permanent du circulateur. Celui-ci ne s'arrête que si la température extérieure dépasse de 1°C la température de consigne intérieure. Disposition sans doute excessive.

☛ **l'alimentation électrique du circulateur de production d'eau chaude sanitaire**. Celui-ci existe obligatoirement lorsque la production d'eau chaude est assurée par la chaudière. Il y a dans ce cas un ballon de stockage associé. Ce circulateur est distinct de celui de l'installation de chauffage, mais ils n'ont généralement pas le droit de fonctionner simultanément.

Afin de mieux comprendre les phénomènes observés, il faut décrire succinctement l'enchaînement des puissances appelées au démarrage du brûleur. Pour simplifier on peut dire qu'il y a d'abord, avec ou sans préchauffage, la mise en route du transformateur et du moteur, soit 230 W auxquels s'ajoute le réchauffeur (au total près de 300 W). S'il y a réchauffage, on assiste alors, pendant la phase de démarrage, à une augmentation progressive de la puissance appelée jusqu'à près de 330 W. La flamme étant établie (la chaudière entre en régime de marche), le transformateur s'arrête et la puissance se stabilise pendant le fonctionnement du brûleur à environ 230 W avec réchauffeur et environ 115 W si la chaudière n'a pas de réchauffeur. Toutes ces puissances ne concernent que le brûleur et les organes qui l'entourent et excluent le fonctionnement du circulateur.

Les besoins électriques des chaudières fioul sont donc multiples. Mais comme précédemment pour les chaudières murales, cette consommation dépend pour une part des choix technologiques du constructeur, et pour une autre part de la nature des asservissements et de la régulation mise en oeuvre par l'installateur. Sur le premier point on ne peut rien faire, sauf lors de l'acquisition d'un matériel. Sur le second point, on peut agir en revoyant la logique de branchement. Mais celle-ci se résume en réalité à l'asservissement ou non du circulateur au thermostat d'ambiance (et peut-être aussi du circulateur de production d'eau chaude), sauf évidemment pour les chaudières à basse température. En effet toutes les autres fonctions électriques sont pilotées par le boîtier de régulation du brûleur.

Il faut une nouvelle fois s'étonner du rendement relativement mauvais de l'ensemble pompe à fioul/ventilateur. En effet la puissance de 110 W citée précédemment correspond aux besoins d'une chaudière d'environ 20 kW. Pour cette chaudière le ventilateur pulse 25 Nm3/h avec un ΔP de 2,5 mbars. Cela correspond à une puissance théorique inférieure à 2 W...Quant à la pompe fioul, elle brasse 50 l/h avec un ΔP de 12 bars, ce qui fait une puissance théorique inférieure à 17 W. Au total moins de 20 W, et pourtant en amont un moteur de 110 W. Il semble que là, comme pour les circulateurs, la recherche de rendements élevés n'a jamais été prépondérante vraisemblablement pour des raisons économiques. Mais compte tenu de la taille du parc de pompes, de circulateurs et de ventilateurs en service en Europe, il serait certainement intéressant de préciser les gisements d'économie et d'évaluer le coût des améliorations technologiques nécessaires.

9-2-2 Puissances électriques appelées

La figure 9.11 représente la puissance mesurée toutes les dix minutes pour une chaudière disposant d'un réchauffeur de fioul. On remarque immédiatement que le circulateur associé à cette chaudière n'est pas correctement asservi puisqu'il fonctionne 24h/24 (il absorbe 50 W). On note également les pointes de puissance voisines de 300 W qui correspondent à des

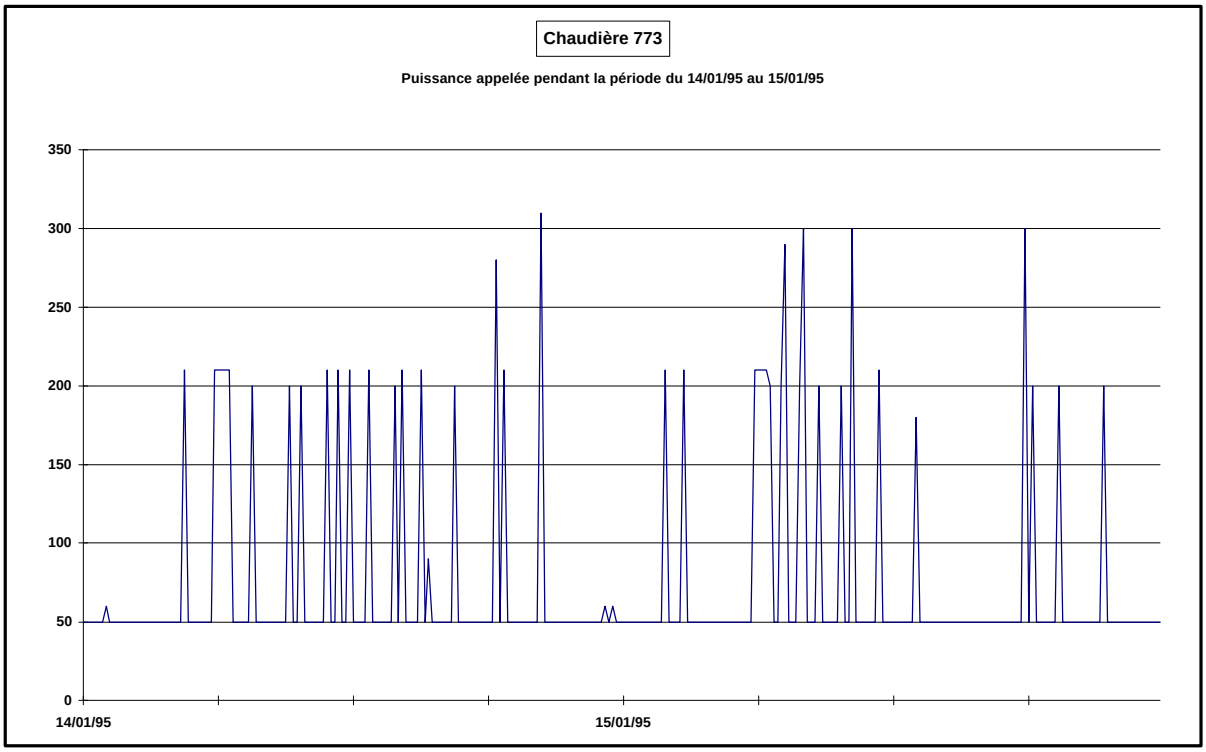


Figure 9.11 : puissance appelée par une chaudière fioul avec réchauffeur et circulateur non asservi.

phases de démarrage du brûleur dans lesquelles le transformateur nécessaire à l'allumage des électrodes est en fonctionnement (environ 90 à 100 W). On peut également constater le niveau de puissance du brûleur (hors circulateur) qui est d'environ 160 W, ce qui représente l'appel du moteur, de la vanne solénoïde et du réchauffeur.

La figure 9.12 donne pour la même chaudière la distribution des puissances appelées. La période suivi est le mois de janvier, donc le milieu de l'hiver. Et pourtant cette distribution montre à l'évidence que la consommation d'énergie de cette chaudière n'est pas le fait du brûleur (dont les puissances apparaissent dans les classes 200-210 W) mais du circulateur (50 W). Il faut aussi noter la classe 300 W correspondant aux phases de démarrage qui durent environ une minute et pendant lesquelles on cumule la puissance du brûleur, du réchauffeur et du transformateur d'allumage.

Il faut signaler que la puissance électrique appelée par les chaudières au fioul individuelles ne dépend pratiquement pas de leur taille : elle est la même pour des puissances thermiques de 15 à 50 ou 60 kW.

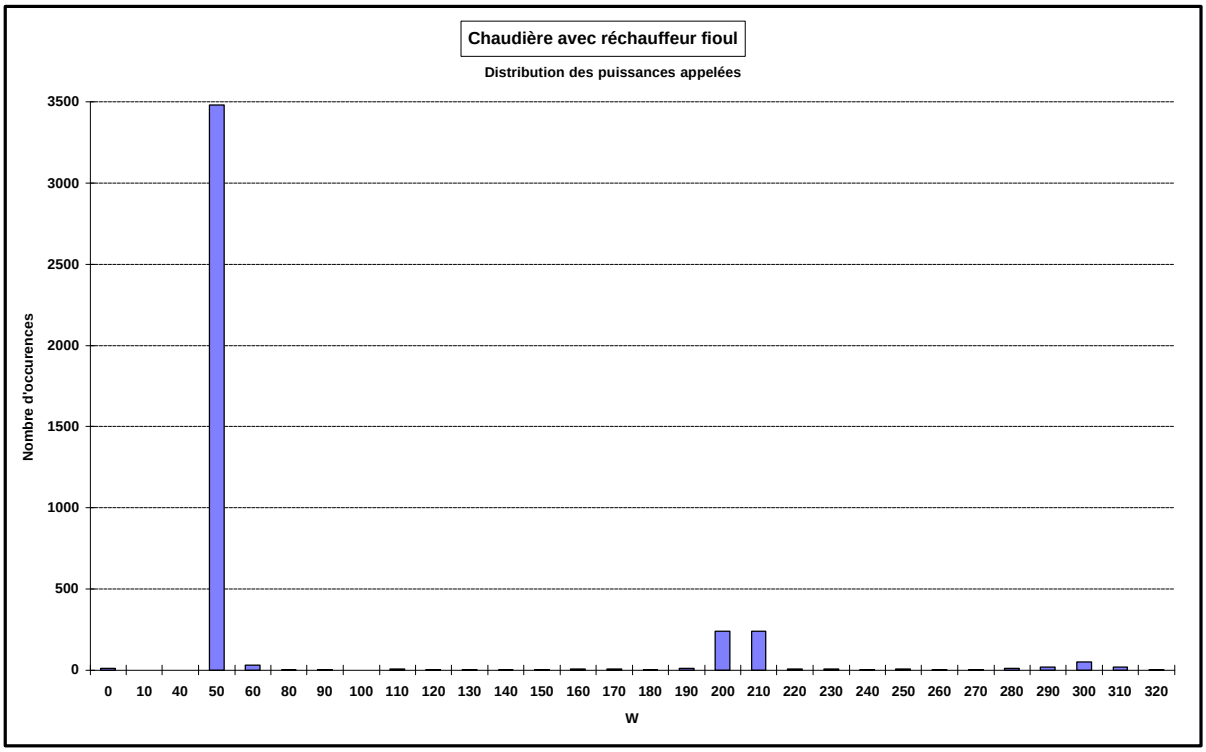


Figure 9.12 : distribution des puissances appelées par une chaudière à réchauffeur fioul.

9-2-3 Consommations électriques journalières comparées

Comme pour les chaudières à gaz, nous avons choisi de comparer deux chaudières fonctionnant pendant la même période de l'année et présentant des consommations très différentes, bien que rendant le même service (chauffage et production d'eau chaude).

La période suivie est intéressante car c'est le mois de juillet : seule la production d'eau chaude est assurée. Les figures 9.13 et 9.14 donnent pour les deux chaudières l'énergie consommée et la durée de fonctionnement quotidiennes. L'échelle est la même sur les deux graphiques.

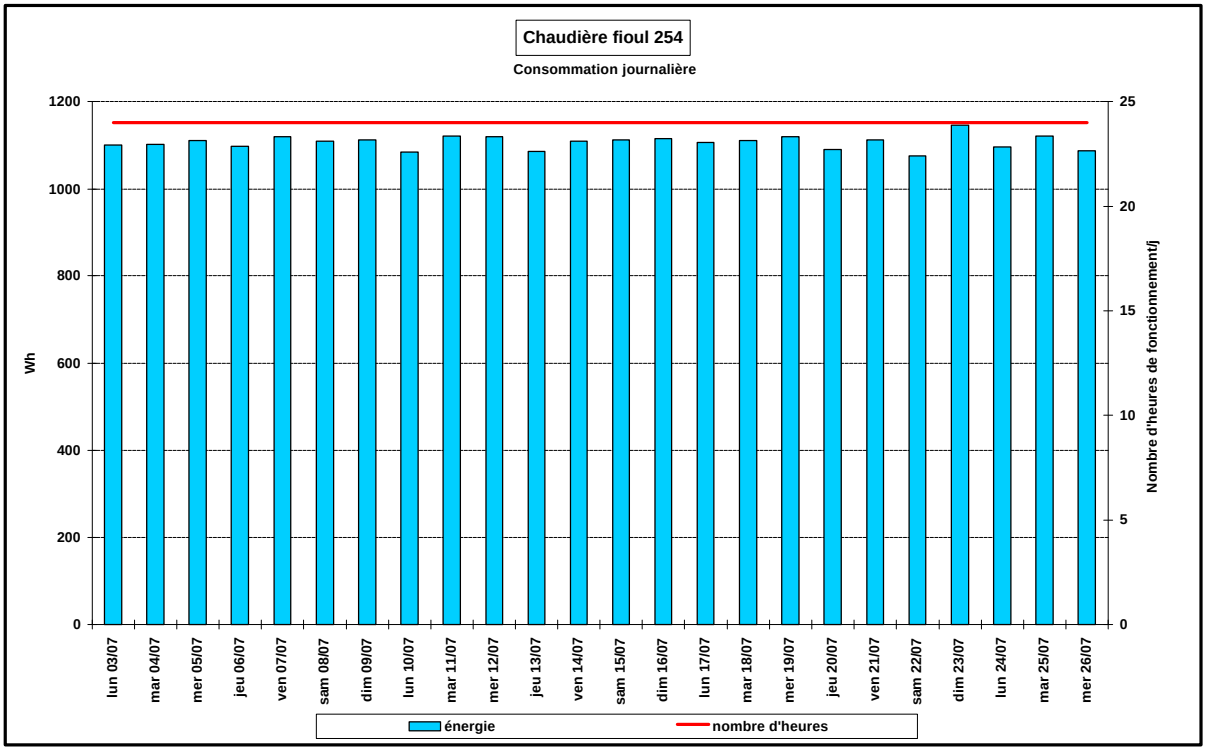


Figure 9.13 : consommation et durée de fonctionnement de la chaudière fioul 254.

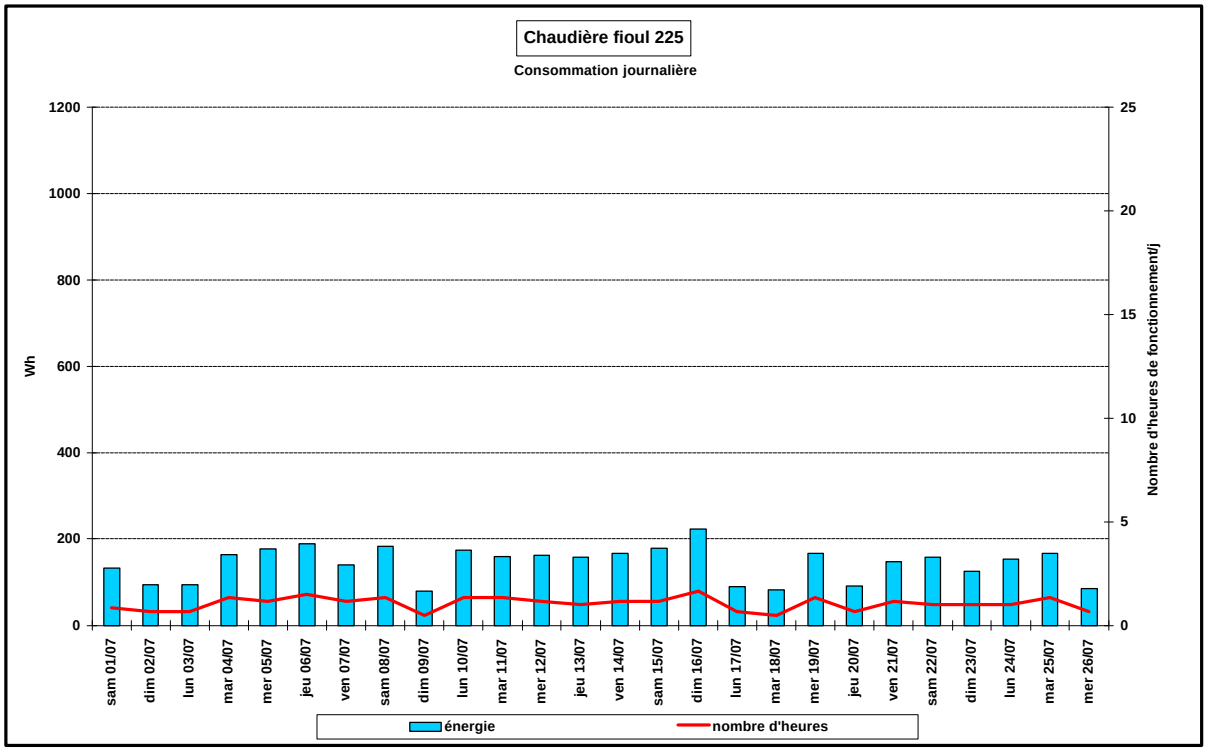


Figure 9.14 : consommation et durée de fonctionnement de la chaudière fioul 225.

L'une des chaudières a consommé de l'électricité 24h/24 alors que l'autre n'a appelé qu'une heure par jour environ. La première a consommé approximativement 1100 Wh/j, la seconde entre 100 et 180 Wh/j.

La figure 9.15 donne sur les quinze premiers jours de la période la comparaison des consommations journalières. L'une des chaudières a consommé 17,7 kWh sur cette période (soit 1108 Wh/j en plein été) et l'autre 2,4 kWh (soit 151 Wh/j) **c'est à dire près de 7,5 fois moins**.

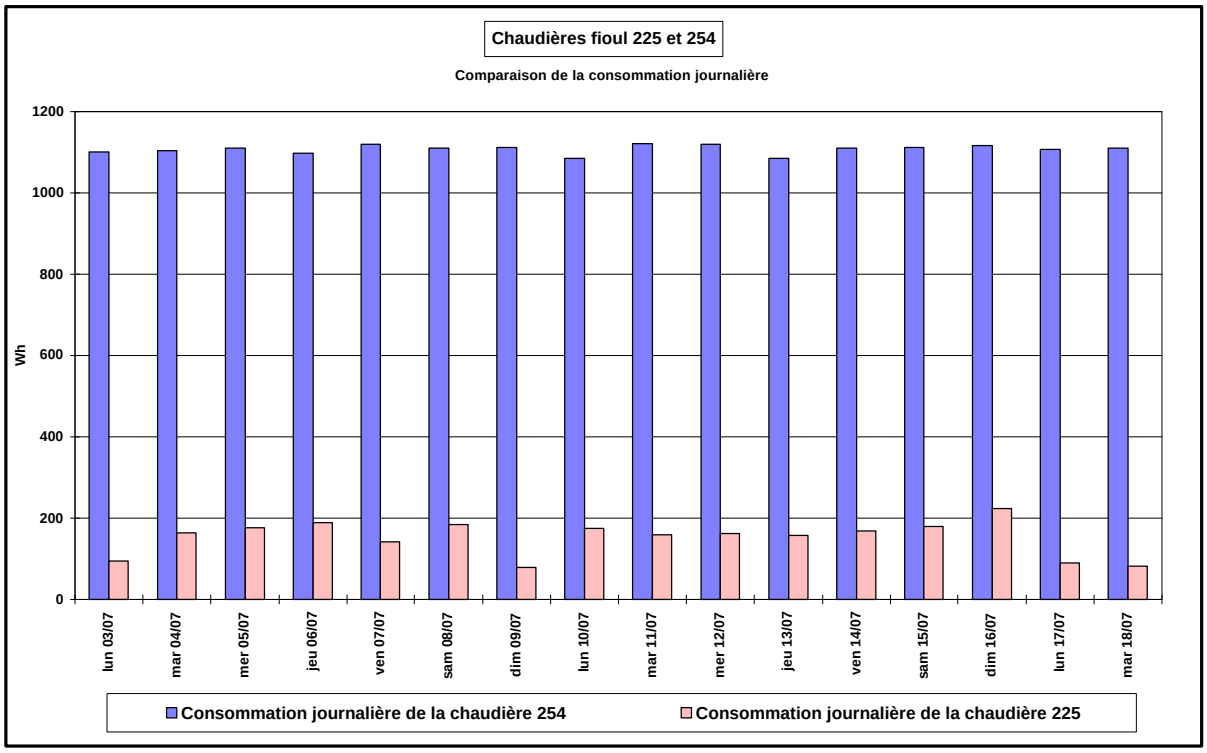


Figure 9.15 : comparaison des consommations des chaudières fioul 225 et 254.

L'examen comparé de la distribution des puissances appelées (voir figure 9.16) montre que l'une des chaudières (et son circulateur) est à l'arrêt 97 % du temps, alors que l'autre fonctionne en permanence, essentiellement autour de 40 W (circulateur) et entre 60 et 100 W (brûleur). Remarquons au passage que ce niveau de puissance révèle l'absence d'un réchauffeur de fioul.

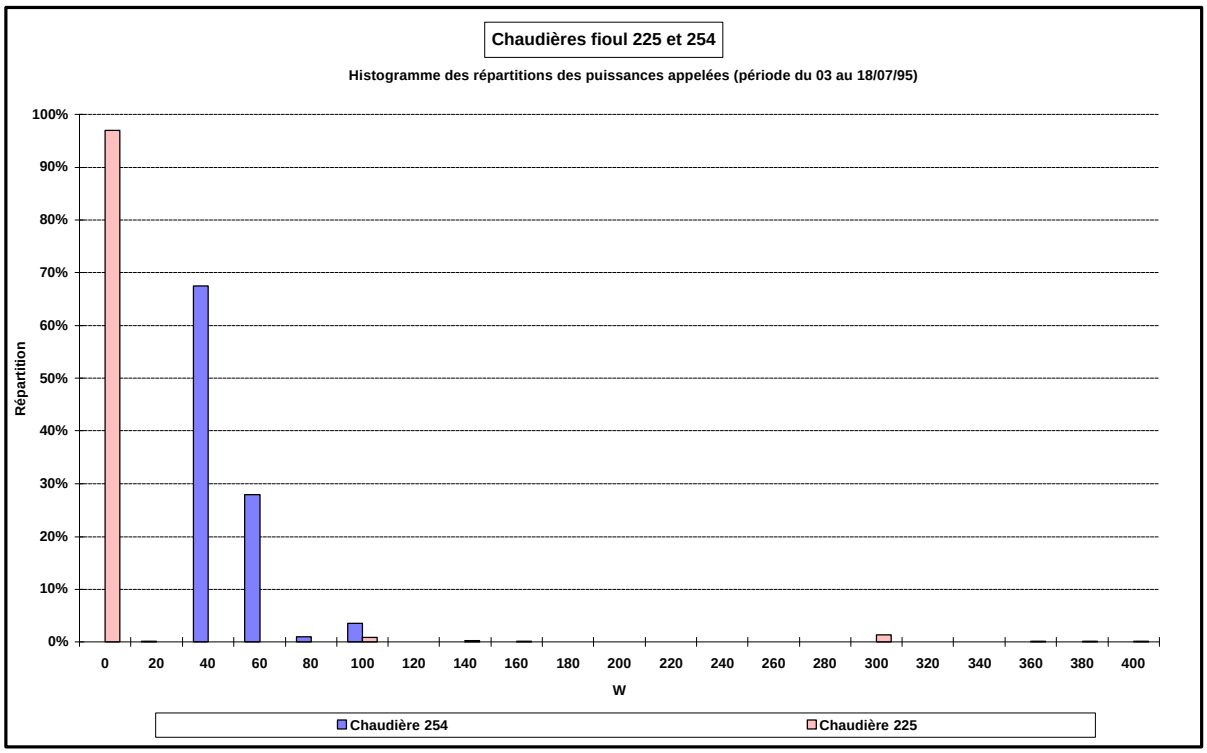


Figure 9.16 : comparaison des distributions des puissances appelées par les chaudières fioul 225 et 254.

La cause de ces différences est toujours la même quel que soit le type de chaudière étudiée : la présence d'un circulateur non asservi et qui fonctionne 24h/24. Car la part d'électricité absorbée par le brûleur d'une chaudière, quelle qu'elle soit, est toujours infime comparée à celle qu'absorbe un circulateur en une journée.

Pour s'en persuader il suffit de se reporter à la figure 9.17 sur laquelle on a détaillé pour chaque jour la consommation de la chaudière précédente en faisant apparaître la consommation du circulateur lorsque le brûleur est arrêté (en bas), la consommation du circulateur pendant la marche du brûleur (au milieu) et la consommation du brûleur lui-même (en haut).

Sur l'ensemble de la période le brûleur a consommé 4,0 % de l'électricité, le circulateur 2,0 % pendant que le brûleur marchait (ce qui est justifié) et 94,0 % pendant l'arrêt du brûleur (ce qui n'est pas justifié).

Ce qui signifie tout simplement qu'avec un asservissement correct du circulateur cette chaudière aurait dû consommer 16 fois moins qu'elle ne le fait. Cela correspond, pour l'été, à une économie de 1050 Wh/j et à un solde consommé de 66 Wh/j.

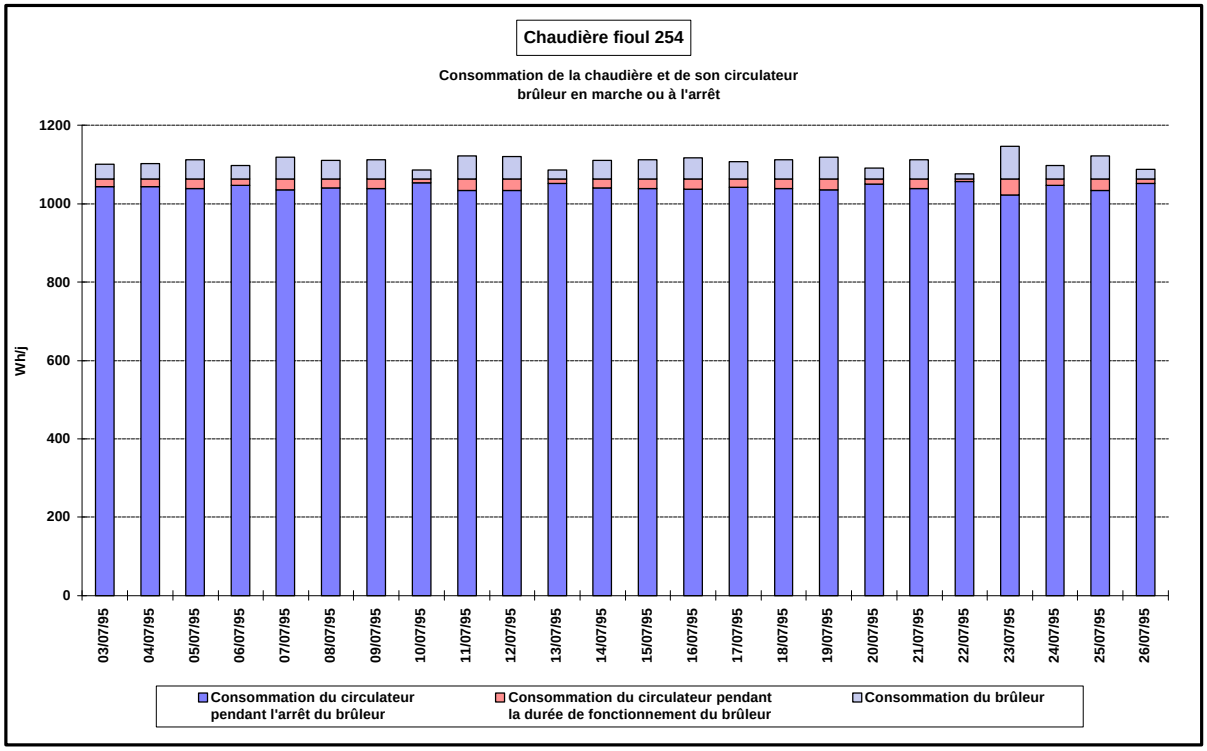


Figure 9.17 : structure de la consommation électrique quotidienne d'une chaudière fioul sans réchauffeur - Eté.

Une inconnue subsiste sur cette chaudière car on ne sait pas si le circulateur qui tourne en permanence est celui du chauffage, ou celui de l'eau chaude sanitaire! Mais dans les deux cas il aurait impérativement dû être asservi aux besoins.

On peut se demander ce qu'il adviendrait de cette situation en hiver, au moment où la demande de chauffage impose un fonctionnement plus important du brûleur. La figure 9.18 reprend l'exemple de la chaudière dont l'appel de puissance a été présenté au § 9.2.2. On se souvient que cet appareil possède un réchauffeur de fioul. La période d'observation est le mois de janvier. Le niveau de consommation quotidien oscille entre 1600 et 2100 Wh (ce qui représente soit dit en passant 3 fois la consommation moyenne d'un lave-linge). On observe que la chaudière est en demande électrique 24h/24.

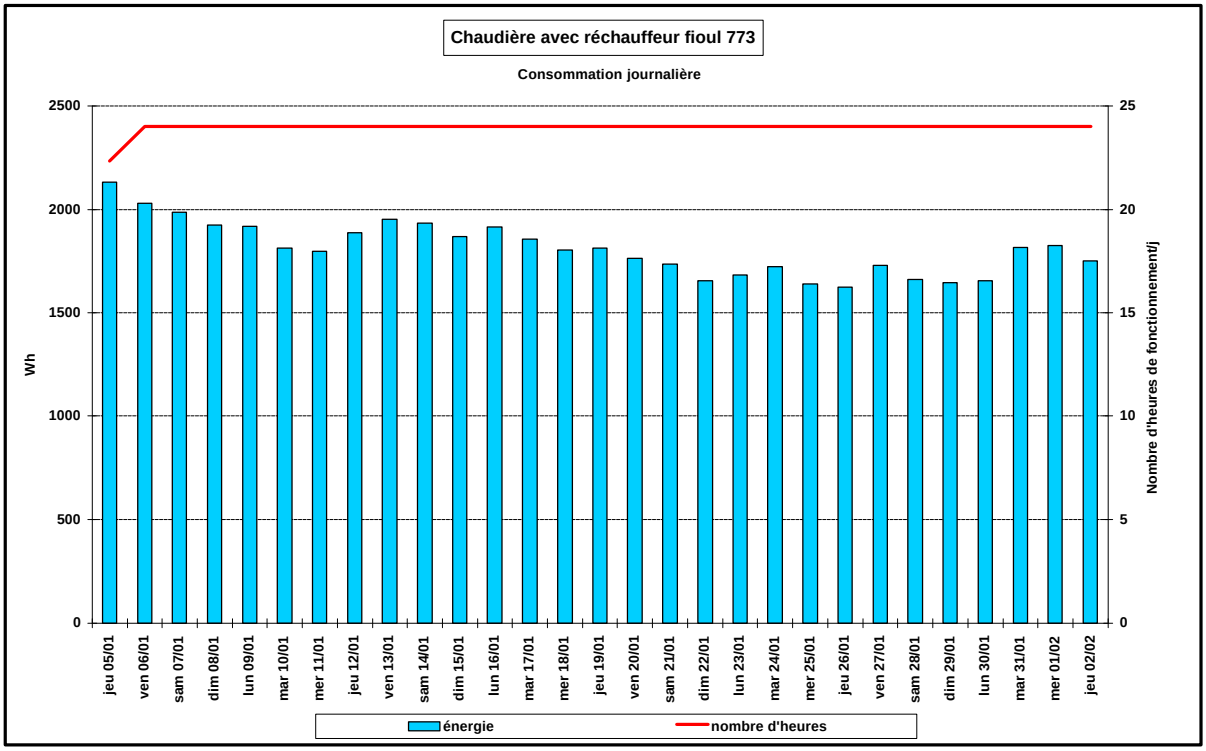


Figure 9.18 : consommation et durée de fonctionnement de la chaudière fioul 773.

La figure 9.19 indique, comme précédemment, la consommation du circulateur lorsque le brûleur est arrêté (en bas), la consommation du circulateur pendant la marche du brûleur (au milieu) et la consommation du brûleur lui-même (en haut). Sur l'ensemble de la période, qui correspond à une charge maximum pour la chaudière, le brûleur a consommé 30,3 % de l'électricité, le circulateur 7,6 % pendant que le brûleur marchait (ce qui est justifié) et 62,1 % pendant l'arrêt du brûleur (ce qui n'est pas justifié).

On voit qu'avec un asservissement correct du circulateur, cette chaudière au moment le plus difficile de l'année, aurait consommé 2,6 fois moins qu'elle ne le fait. L'économie serait de 1125 Wh/j, et la consommation résiduelle de 686 Wh/j. Or ce cas n'est pas particulièrement favorable puisque cet appareil dispose d'un réchauffeur de fioul qui double pratiquement la consommation d'un brûleur ordinaire à cette période de l'année. On peut donc estimer qu'en l'absence de réchauffeur on aurait divisé les besoins par près de 4, conduisant à une consommation quotidienne résiduelle de 412 Wh.

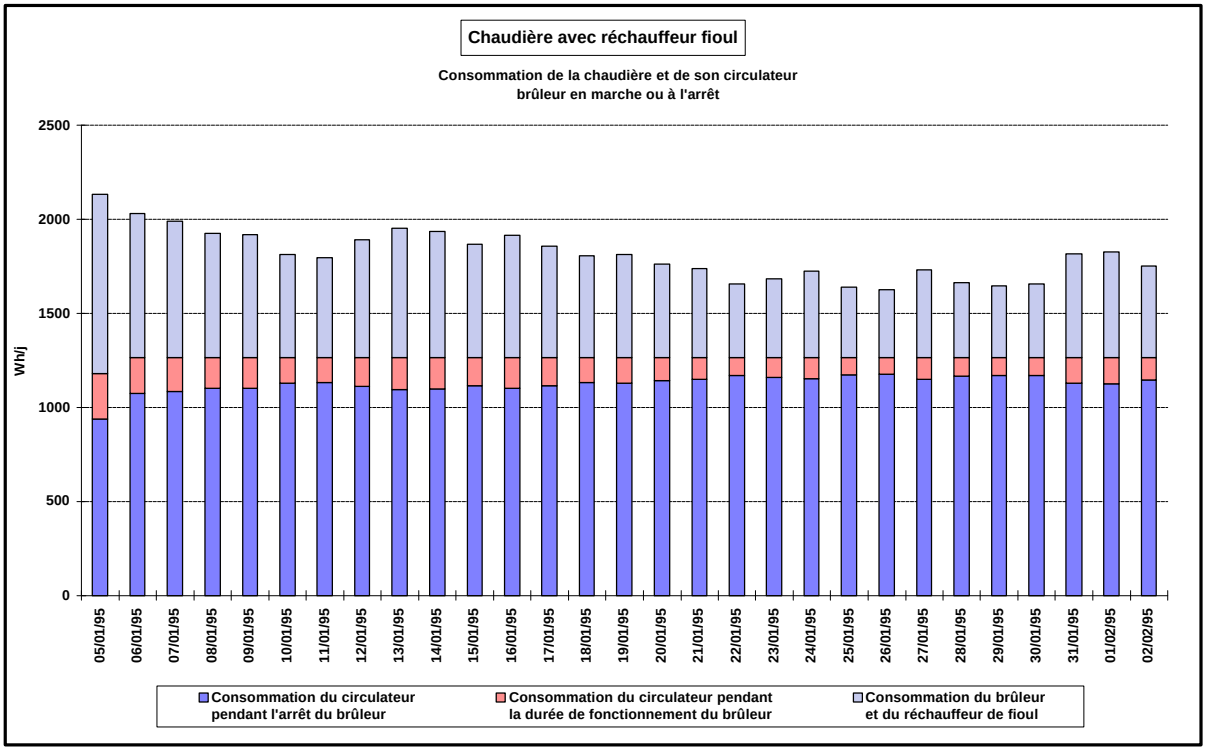


Figure 9.19 : structure de la consommation électrique quotidienne d'une chaudière fioul avec réchauffeur- Hiver.

En conclusion, on a pu montrer que les besoins journaliers « normaux » d'un brûleur fioul et du circulateur associé se situent entre 150 Wh/j en été (production d'eau chaude) et 450 ou 700 Wh/j (peut-être un peu plus par jour de très grand froid) en hiver selon que le brûleur possède ou non un réchauffeur de fioul. Toute consommation supérieure à ces valeurs est le fait d'asservissements peu judicieux qui conduisent, été comme hiver, à un gaspillage dépassant 1000 Wh/j. Ceci constitue un gisement potentiel qu'il faudrait évaluer en estimant la part des chaudières existantes placées dans cette situation, ce que le cadre trop étroit de cette étude n'a pas permis de faire.

9-2-4 Consommations électriques annuelles des chaudières fioul

Il est impossible de fournir des valeurs mesurées de la consommation annuelle car le nombre de chaudières suivies est insuffisant : il en aurait fallu plusieurs pour chaque mois de l'année afin de rendre compte correctement des variations de consommations saisonnières.

Mais on peut tenter de raisonner par comparaison avec les chaudières murales pour lesquelles on dispose de données fiables sur une année complète. Examinons trois critères de comparaison permettant de différencier la consommation électrique de ces deux types de chaudières :

☛ ***la consommation des circulateurs*** : s'ils ne sont pas asservis au thermostat d'ambiance, leur consommation est la même pour toutes les chaudières, et elle constitue de beaucoup la part prépondérante de la consommation totale. En revanche, si les circulateurs sont asservis au thermostat, leur consommation sera réduite et ne présentera pas de différences

significatives d'un type de chaudière à l'autre puisque les durées annuelles de fonctionnement des brûleurs sont sensiblement les mêmes.

En conclusion ce poste sera le même pour les chaudières murales et les chaudières au fioul.

☛ ***la consommation du brûleur*** d'une chaudière fioul est nettement supérieure à celle d'une chaudière murale (qui vaut 10 à 15 W), à cause du ventilateur et de la pompe fioul qui absorbent plus de 100 W, quand il n'y a pas aussi un réchauffeur (encore 100 W). Compte tenu de la durée annuelle de fonctionnement moyen des brûleurs, c'est en fin d'année environ 75 kWh de plus qui sont consommés par la chaudière fioul.

☛ ***consommation du circulateur nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire***. Toutes les chaudières fioul ne servent pas à la production d'eau chaude, alors que pratiquement toutes les chaudières murales sont mixtes. Lorsqu'elles assurent cette production, les chaudières fioul doivent disposer d'un circulateur puisque pratiquement seules les solutions avec stockage indépendant sont diffusées aujourd'hui. *A contrario* il n'est pas toujours nécessaire pour les chaudières murales de recourir au circulateur pour produire l'eau chaude (solution du bain marie). Il est donc probable que, dans l'ensemble, la consommation électrique liée à la production d'eau chaude ne doit pas différer sensiblement pour les chaudières murales et les chaudières au fioul (sauf si le circulateur de certaines chaudières fioul était amené à fonctionner 24h/24).

Globalement il n'y a finalement que la consommation des brûleurs qui va différencier les chaudières fioul des chaudières murales. Si on suppose qu'il y a la même proportion de circulateurs correctement asservis dans le parc de chaudières fioul que dans l'échantillon de chaudières murales servant de référence (voir § 9.1.6), on peut en conclure qu'en moyenne, la consommation électrique des chaudières fioul se situe entre 375 et 400 kWh/an (contre 297 pour les chaudières murales), ce qui représente, à titre de comparaison, une consommation annuelle supérieure de 60 à 70 % à celle d'un lave-linge.

9 - 3 ALIMENTATION ELECTRIQUE DES CHAUDIERES GAZ AU SOL

Les chaudières gaz au sol sont divisées en deux grandes familles : les chaudières avec brûleur atmosphérique et les chaudières avec brûleur à air soufflé. L'alimentation électrique des premières s'apparentera plutôt à celle des chaudières murales, alors que pour les secondes, on trouvera de nombreuses similitudes avec les chaudières au fioul.

L'échantillon suivi (quatre unités) a malheureusement concerné uniquement les mois d'été à une exception près, ce qui ne présente pas un grand intérêt pour notre analyse.

Mais toutes les conclusions qui précèdent peuvent s'appliquer à ce type de chaudières, notamment en ce qui concerne l'asservissement des circulateurs qui reste le principal problème de toutes les installations individuelles. Des différences notables de consommation peuvent naître des types de brûleurs, les modèles à air soufflé consommant entre 70 et 100 W, alors que les modèles atmosphériques ne nécessitent que quelques watts pour la régulation et le contrôle de la flamme. Mais là aussi la part de la consommation du circulateur dans la consommation

totale sera prépondérante et il faudra veiller d'une part à la nature de l'asservissement et d'autre part au choix de la vitesse du circulateur.

Au-delà de ces considérations générales il ne paraît pas possible de donner plus de précisions sur les chaudières gaz au sol à partir des mesures de la campagne Ciel. Concernant leur consommation annuelle, il est probable qu'elles se situeront en moyenne, et dans l'état actuel des installations, entre la consommation des chaudières murales et celle des chaudières fioul sans réchauffeur, les brûleurs atmosphériques se rapprochant certainement de 300 kWh/an et les brûleurs à air soufflé de 350 ou 375 kWh/an. Il est très vraisemblable que le potentiel d'économie réalisable sur ces chaudières en améliorant l'asservissement des circulateurs est le même que pour les autres chaudières, c'est à dire 1 kWh/j pour les appareils concernés, sachant qu'on peut estimer qu'au moins un appareil sur deux est concerné.

9 - 4 DISCUSSION SUR L'ALIMENTATION ELECTRIQUE DES CHAUDIERES

Les analyses qui précèdent ont mis en évidence :

☛ la part presque mineure des brûleurs dans la consommation totale actuelle des chaudières, quel que soit leur type,

☛ le rôle essentiel des circulateurs et surtout de la nature de leur asservissement sur cette consommation,

☛ les écarts de consommation importants qui peuvent naître autour de la consommation des brûleurs, selon la nature de la technologie utilisée (atmosphérique, à air soufflé, etc.) et les options (réchauffeur fioul), puisque l'échelle de consommation peut s'étendre, toute technologie confondue, d'environ 10 ou 20 W à 350 W.

Pour améliorer cet état de faits et réaliser des économies, deux voies sont possibles : l'asservissement des circulateurs au fonctionnement du brûleur, la sélection correcte du débit du circulateur et les améliorations technologiques.

9-4-1 L'asservissement du circulateur au brûleur

Cette disposition est simple: elle consiste à asservir le fonctionnement du circulateur au thermostat d'ambiance, de façon à ce qu'il soit directement associé à la production de chaleur et transfère cette chaleur du lieu de production jusqu'au lieu d'émission. En dehors de cela le circulateur est en principe toujours inutile. Sauf dans certains cas qu'il faut évoquer :

il peut arriver que l'installation de chauffage soit mal conçue ou souffre d'un déséquilibre thermohydraulique et que la chute de température ne soit pas la même d'un émetteur à l'autre. Il peut dans ce cas être nécessaire (mais c'est vraiment un pis aller) de brasser l'eau dans l'installation pendant quelque temps après l'arrêt du brûleur pour homogénéiser la température des circuits. Il ne semble pas pour autant utile de brasser l'eau 24h/24. La solution est tout simplement de placer une temporisation de quelques minutes sur la commande du circulateur.

certains fabricants diffusent des chaudières basses températures qui nécessitent une circulation d'eau continue dans la chaudière. Celle-ci adapte en permanence les démarrages du brûleur pour maintenir une température de départ (ou de retour) fixée par une loi quelconque. Ce cas est incontournable et il n'est effectivement pas possible d'arrêter le circulateur. Mais il

semble qu'un calcul économique doit être fait : d'une part la recherche des basses températures permet d'augmenter le rendement annuel d'exploitation, donc de réduire la consommation de combustible. D'autre part, le fonctionnement continu du circulateur engendre une surconsommation d'environ 1 kWh/j qui conduit à une dépense supplémentaire de 200 F d'électricité, soit le prix de 1000 kWh de gaz ou de mazout, sans compter les frais d'entretien et de renouvellement du circulateur. Il faut que les besoins du logement à chauffer soient importants pour que l'augmentation de rendement des basses températures génère une économie de 1000 kWh.

il existe des systèmes de pilotage des circuits de chauffage qui permettent de régler la température de départ (repérer par une sonde) au moyen d'une vanne trois voies motorisée et d'un régulateur imposant une loi quelconque. Pour ces dispositifs, l'arrêt de la circulation d'eau inhibe rapidement la fonction régulante puisque la sonde de température n'est plus informée de l'état des circuits. Il est là aussi impossible d'asservir le circulateur au brûleur. Toutefois ces systèmes sont très rares dans les installations individuelles et on les destine plutôt aux installations de taille importante où le coût élevé de cette régulation se justifie. Ces dispositifs sont totalement inexistants sur les installations avec chaudières murales. Enfin, il faut rappeler que d'autres solutions techniques existent pour assurer une régulation adaptée *a priori* aux besoins sans imposer un fonctionnement continu du circulateur.

certaines chaudières à fioul disposent d'une pompe de recyclage qui permet d'éviter les surchauffes mais également de maintenir le corps de chaudière à une température minimum nécessaire pour des questions de corrosion. A notre connaissance cette solution est inutile et n'existe pas sur les installations individuelles, elles sont réservées aux installations de taille importante.

Hormis quelques cas incontournables, mais en réalité assez rares, il semble donc que l'asservissement des circulateurs au fonctionnement du brûleur soit généralement possible et énergétiquement souhaitable. On peut néanmoins objecter que l'énergie électrique absorbée par le circulateur n'est pas perdue puisqu'elle peut dans certains cas être récupérée par l'installation de chauffage.

En effet l'électricité absorbée par le circulateur finit intégralement en chaleur soit autour du moteur (récupération par le local où est la chaudière), soit dans le fluide puisque le mauvais rendement de l'aubage transforme le circulateur en brasseur d'eau, ce qui produit de la chaleur. Cette chaleur est en principe récupérée par l'installation, sauf en dehors des périodes de chauffage. Mais à l'intérieur de ces périodes de chauffage il faut encore distinguer les moments où le logement est en demande, auquel cas l'énergie est effectivement récupérée, et ceux où il n'y est pas et où l'énergie est alors non récupérable. En définitive sur une année complète le rendement de récupération de ces apports sera d'environ 50 % dans le meilleur des cas. Cela réduit bien évidemment l'inconvénient de laisser le circulateur fonctionner 24h/24 mais ne justifie en rien cette pratique, ni économiquement, ni énergétiquement. Sur un plan économique la chaleur récupérée est très chère (de l'ordre de 1,50 F/kWh puisque le rendement est de 50 %), et sur un plan énergétique rien ne semble devoir justifier l'utilisation de l'électricité en dehors de ses usages spécifiques, là où il existe de nombreuses énergies concurrentes moins nobles.

9-4-2 Le choix du débit du circulateur

A chaque installation correspond un débit théorique plus ou moins bien connu mais qu'il faut mettre en oeuvre. De lui dépend le bon fonctionnement de l'ensemble. Le problème vient de ce qu'il est difficile de connaître le débit qui circule dans une installation. D'où la tentation généralisée de toujours faire tourner les circulateurs à une vitesse plus élevée que ce qui serait juste nécessaire pour un fonctionnement satisfaisant. A ce sujet il faut rappeler seulement les conséquences énergétiques de cette façon de procéder : **l'augmentation de la puissance électrique absorbée par une pompe croit avec le cube du débit (ou de la vitesse de rotation) de cette pompe.** Peut-être faudrait-il là aussi sensibiliser les installateurs, tant cette disposition est elle-même source d'économie.

9-4-3 Les améliorations technologiques

Cet aspect a déjà été développé dans le § 9.1.7.4 au sujet des chaudières murales. La plus grande partie de l'électricité consommée par les chaudières l'est avant tout dans les circulateurs et les pompes (fioul), ainsi que dans les ventilateurs (brûleur à air soufflé). Le rendement de ces appareils est étonnamment faible (en moyenne moins de 10 %) et mériterait certaines recherches. Rappelons qu'il faudrait améliorer les profils d'aubage aussi bien pour les circulateurs que pour les ventilateurs, améliorer le rendement mécanique des transmissions et enfin améliorer le rendement des petits moteurs électriques.

9 - 5 LA VENTILATION MECANIQUE CONTROLEE

Le projet Ciel ne s'est pas directement intéressé à la ventilation mécanique contrôlée (VMC), mais un suivi d'une année complète a été fait dans le cadre de l'autre expérimentation déjà mentionnée (voir § 9.1.6) que nous menons pour le compte de la communauté européenne et de l'ADEME. Nous aborderons donc brièvement ce thème car il est en partie lié à ce qui vient d'être dit au sujet des chaudières.

Rappelons pour mémoire qu'il existe principalement trois grands types de VMC :

☛ la ventilation simple flux. C'est de très loin la plus répandue. Elle comporte un ventilateur qui extrait l'air du logement 24h/24 à débit en principe constant, avec toutefois la possibilité d'augmenter ponctuellement le débit en cuisine aux heures des repas.

☛ la ventilation double flux. Elle est assez rare et consiste tout à la fois en un soufflage et une extraction d'air du logement. Elle comporte donc toujours deux ventilateurs. Elle fonctionne 24h/24.

☛ la ventilation hygroréglable. Relativement récente sur le marché elle se répand très vite. C'est une ventilation de type simple flux mais qui module les débits d'air extraits en fonction des besoins détectés par des capteurs d'humidité. Elle fonctionne 24h/24 mais dans une plage de débit très variable.

Le suivi effectué pendant un an a été mené sur une VMC simple flux placée dans un pavillon de 4 pièces. Le débit soufflé est de 180 m3/h et **la consommation d'électricité a été de 311 kWh en un an, soit 852 Wh/j. A titre de comparaison, cet appareil anodin dont on ne parle jamais consomme donc annuellement 32 % de plus qu'un lave-linge**. La puissance appelée en continue est de 30 W, mais compte tenu de l'utilisation du régime accéléré à certains moments de la journée, la puissance annuelle moyenne (et continue) est de 35 W. Ces résultats ne sont pas vraiment une surprise puisque ces valeurs correspondent à celles que donnent les fabricants.

En revanche, il faut revenir sur le rendement des ventilateurs : dans le cas précédent, le débit pulsé est de 180 m3/h avec une dépression de 80 Pa ce qui correspond à des besoins théoriques de 4 W. Or la puissance du moteur est de 30 à 35 W. Le rendement global de l'ensemble motoventilateur vaut donc environ 10 à 13 %.

La ventilation mécanique est pratiquement généralisée dans les logements neufs en France. Il existe donc des millions de ventilateurs dont le rendement est proche de 10 % et dont la principale fonction est ... de faire de l'air chaud. Malheureusement cette chaleur n'est pas récupérable puisqu'elle est rejetée avec l'air extrait à l'extérieur du logement.

En conclusion, la consommation électrique de la ventilation n'a jamais été prise en compte car c'est un poste considéré comme marginal dans la mesure où il appelle moins qu'une ampoule de 40 W. Mais il fonctionne 8760h/an. Or en un an, la VMC consomme plus qu'un lave-linge, qu'un lave-vaisselle ou qu'un téléviseur. Comme pour les chaudières, la VMC pose le problème du rendement dérisoire des pompes et ventilateurs, certes peu consommateurs en soi, mais qui existent à des millions d'exemplaires et fonctionnent 24h/24.

TROISIEME PARTIE : LES ENSEIGNEMENTS

CHAPITRE 10 : LES ENSEIGNEMENTS DE LA CAMPAGNE CIEL

10 - 1 LE DIAGNOSTIC INDIVIDUEL REMIS AUX USAGERS

Parmi les premières retombées de la campagne Ciel, il y a d'abord eu le diagnostic individuel remis à chaque foyer ayant accepté de participer à l'opération.

Ces diagnostics comprenaient :

- ☛ une plaquette de présentation générale de l'opération
- ☛ un rapport personnalisé détaillant les consommations du logement
- ☛ des plaquettes de l'ADEME sur les lampes basses consommations, sur les réfrigérateurs et congélateurs, sur les lave-vaisselle et les éléments de cuisson électrique.
- ☛ deux livrets de l'EDF répondant à des questions générales sur l'électricité et sur la sécurité des installations.

En remerciement, une lampe fluocompacte basse consommation était remise par EDF à chaque usager.

Le rapport personnalisé comprenait d'abord un diagramme de répartition des consommations du ménage en fonction des différents appareils suivis. La part du poste froid, située en moyenne autour de 35 % de la consommation d'électricité spécifique, était en général le fait majeur de cette répartition dans laquelle le poste « autres » restait encore assez important puisque l'ensemble des usages n'était pas instrumenté. Ce premier document était essentiel car il permettait à chacun de relativiser ses différentes consommations, de voir là où il y avait des gisements importants d'économie.

Afin de mieux préciser encore cette répartition, le diagnostic fournissait ensuite, pour chaque appareil, le coût des kWh consommés, en tenant compte des différentes tarifications horaires dont bénéficiait l'utilisateur. Ceci constituait un élément déterminant pour le sensibiliser à la consommation de ses matériels.

Enfin le rapport individualisé se terminait par plusieurs pages de conseils d'utilisation allant de recommandations pour l'achat de matériels neufs, aux modes d'utilisations économes et à l'entretien de chaque type d'appareil.

Un exemplaire complet de ce diagnostic figure en annexes de ce rapport.

10 - 2 BILAN DE LA CAMPAGNE CIEL

La campagne Ciel constitue une des premières tentatives européennes d'exploration systématique du parc électroménager. Elle s'est déroulée dans une région de France assez représentative de ce que sont la plupart des régions françaises caractérisées par un mélange de ruralité et d'urbanisation. Ce mélange a forgé au fil du temps des habitudes et des modes de vie assez typiques de cette double appartenance ville-campagne.

A l'évidence la campagne Ciel ne peut prétendre être représentative du parc électroménager français. Elle n'en a ni l'intention, ni les moyens. Mais les analyses lourdes et minutieuses qui ont pu être faites sur chaque type d'appareils ont permis de comprendre des modes de fonctionnement, de découvrir l'ampleur du phénomène des veilles, de mettre à jour certaines « dérives » technologiques, ou d'établir ce qui est le fait du comportement et de la technologie dans la consommation des ménages. Elles ont permis aussi et peut-être surtout de hiérarchiser les priorités. Car l'un des principaux enseignements de la campagne Ciel est peut-être justement d'avoir remis chaque poste de consommation à sa place, d'avoir découvert que le froid était et de très loin le plus gros consommateur d'électricité du logement, d'avoir constaté et expliqué pourquoi finalement un lave-linge ne consommait peut-être pas tant que cela, d'avoir montré que les chaudières ou la ventilation mécanique contrôlée pouvaient consommer beaucoup plus qu'un lave-vaisselle ou qu'un lave-linge. La campagne Ciel a permis de hiérarchiser les postes utilisateurs d'électricité, et donc aussi de hiérarchiser les priorités d'action à venir. Accessoirement la campagne Ciel a permis de comprendre, par exemple par l'analyse des cycles, comment avaient évolué les habitudes des gens ou quel rôle jouait le téléviseur dans leur foyer et leurs loisirs.

Tous les contacts que nous avons pu avoir au cours de cette étude avec des partenaires européens (anglais, suédois, italiens et portugais notamment) nous montrent que tous attachent une extrême importance aux résultats acquis et aux observations faites. C'est très réconfortant après les difficultés de tous ordres, et parfois l'incompréhension ou l'indifférence, qu'il a fallu surmonter pour accéder à ce résultat. Des échanges ont commencé avec ces partenaires et l'étude qui précède a déjà voulu être le témoin de cette confrontation des résultats, notamment à travers l'analyse systématique des travaux effectués en Suède par ***Nutek***. Le coût de ces campagnes est trop lourd pour que chacun ignore ce qui est fait ailleurs d'une part, et il est peu probable d'autre part que des campagnes de mesures à l'échelle nationale voient le jour et permettent de donner avec certitude la consommation mesurée pour chaque type d'appareils. Il faudra donc échanger et valoriser au mieux les acquis afin de parvenir ensemble à des méthodes de travail, de mesures et d'analyse communes qui nous conduiront à un niveau de connaissances permettant aux uns et aux autres, pouvoirs publics, industriels et grand public, d'engager en toute connaissance de cause les actions qui s'imposent dans le cadre d'une politique de Maîtrise de la Demande Electrique.

Mais la campagne Ciel n'aurait pas pu avoir lieu sans l'existence du système de mesures Diace de Landis et Gyr et les possibilités qu'il a offertes, nous fournissant non seulement la mesure de l'énergie mais aussi celle de la puissance appelée, élément essentiel de la MDE si l'on veut comprendre et maîtriser les pointes.

Dans l'immédiat, la suite de la campagne Ciel pourrait se structurer ainsi :

D'une part :

☛ poursuite des travaux d'analyse, tant est riche la base de données. Tous les facteurs explicatifs n'ont pu être exploités, parfois parce qu'un complément d'enquête sur place aurait été nécessaire pour lever un doute.

☛ développement des échanges avec les partenaires européens engagés dans le même type de travaux et de campagnes afin de constituer un noyau européen de compétences et d'accélérer le niveau de connaissance de chacun à la lumière des travaux des autres.

☛ mise en place rapidement, grâce à des fonds européens, de campagnes de dimensions européennes à caractère thématique qui permettront d'approfondir la connaissance de certains appareils particuliers présentant un enjeu énergétique (appareils de production de froid par exemple), afin de permettre aux pouvoirs publics et aux industriels de faire des choix stratégiques en disposant de tous les éléments techniques, commerciaux et économiques nécessaires.

☛ mise en place, dans les mêmes conditions que précédemment, de campagnes de mesures thématiques destinées à connaître certains usages qui n'ont pas ou peu été explorés jusqu'à ce jour (cuisson, éclairage, etc.).

☛ développement d'échanges avec les industriels européens concernés afin d'initier des pistes de recherches permettant des améliorations technologiques affectant des secteurs sensibles (recherche sur l'amélioration du rendement des pompes, des ventilateurs, etc.).

☛ réorientation des stratégies prioritaires à la lumière des analyses qui précèdent afin de porter les efforts sur les appareils ou les secteurs qui sont effectivement les plus critiques d'un point de vue consommation énergétique ou appel de puissance.

☛ lancer des enquêtes permettant d'identifier avec précision le potentiel d'économies d'énergie qui entoure l'usage des chaudières de tout type, ainsi peut-être que la ventilation.

☛ faire des campagnes de mesures spécifiquement axées sur l'analyse des puissances appelées, avec des pas de temps très courts entre chaque mesure.

☛ évaluer l'impact de l'information personnalisée qui a été faite sur le terrain.

D'autre part :

☛ vulgariser et communiquer les résultats sur la zone d'expérimentation, voire l'ensemble de la Communauté Européenne,

☛ valoriser et médiatiser cette opération

La campagne Ciel apparaît en réalité comme le point de départ de travaux et de recherches à venir, car elle a permis de mieux cerner les enjeux et les priorités. On lui doit aussi d'avoir contribué à sensibiliser à la MDE un certain nombre d'acteurs du secteur énergétique. Il faut souhaiter que d'autres campagnes viennent renforcer la dynamique qui s'est créée afin de pérenniser les acquis et les savoir-faire qui se sont développés ■

ANNEXES

CIEL !

VOICI VOTRE RAPPORT

d'analyse des consommations électriques de vos appareils ménagers et quelques conseils pratiques

Vous trouverez dans le présent dossier :

⇒ 1 plaquette de présentation générale de l'opération

⇒ 1 rapport personnalisé des consommations de votre logement

⇒ Quelques plaquettes **ADEME**
- L'éclairage, lampes à basse consommation
- Réfrigérateur, congélateur
- Lave-vaisselle, four et plaque de cuisson

⇒ Deux livrets **EDF**
- EDF répond à vos questions
- L'électricité chez vous en toute sécurité.

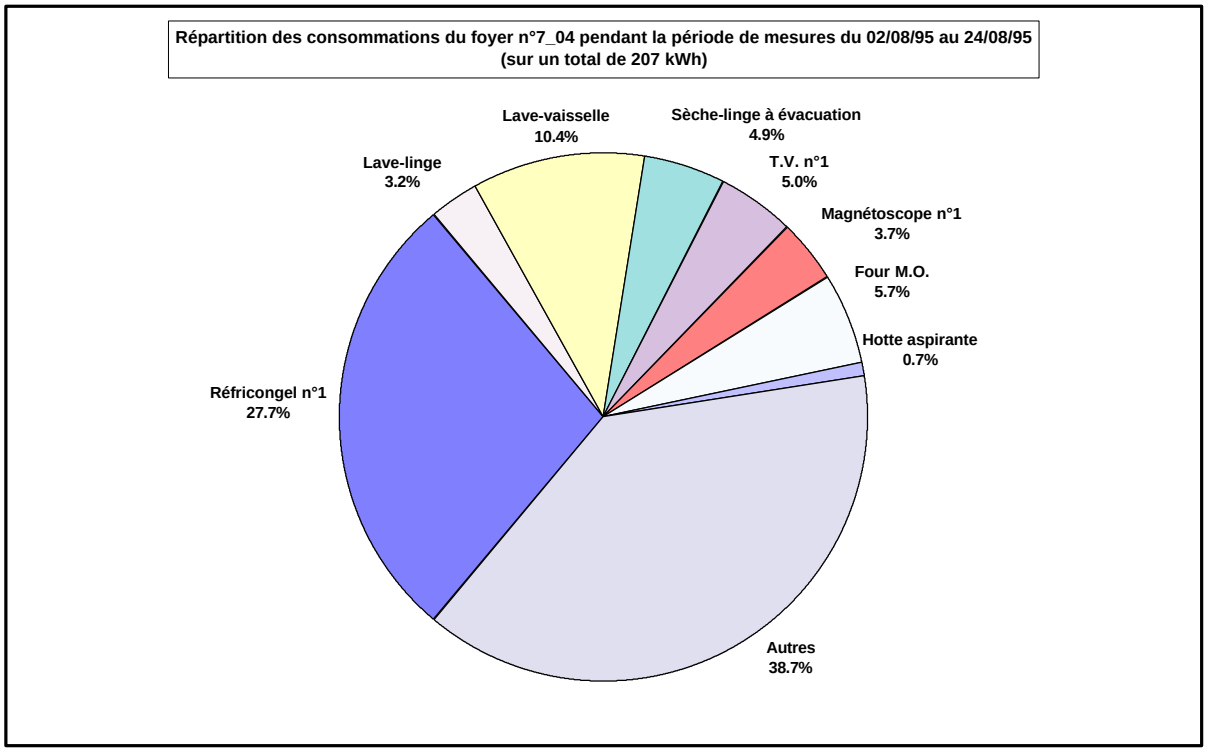
PREAMBULE :

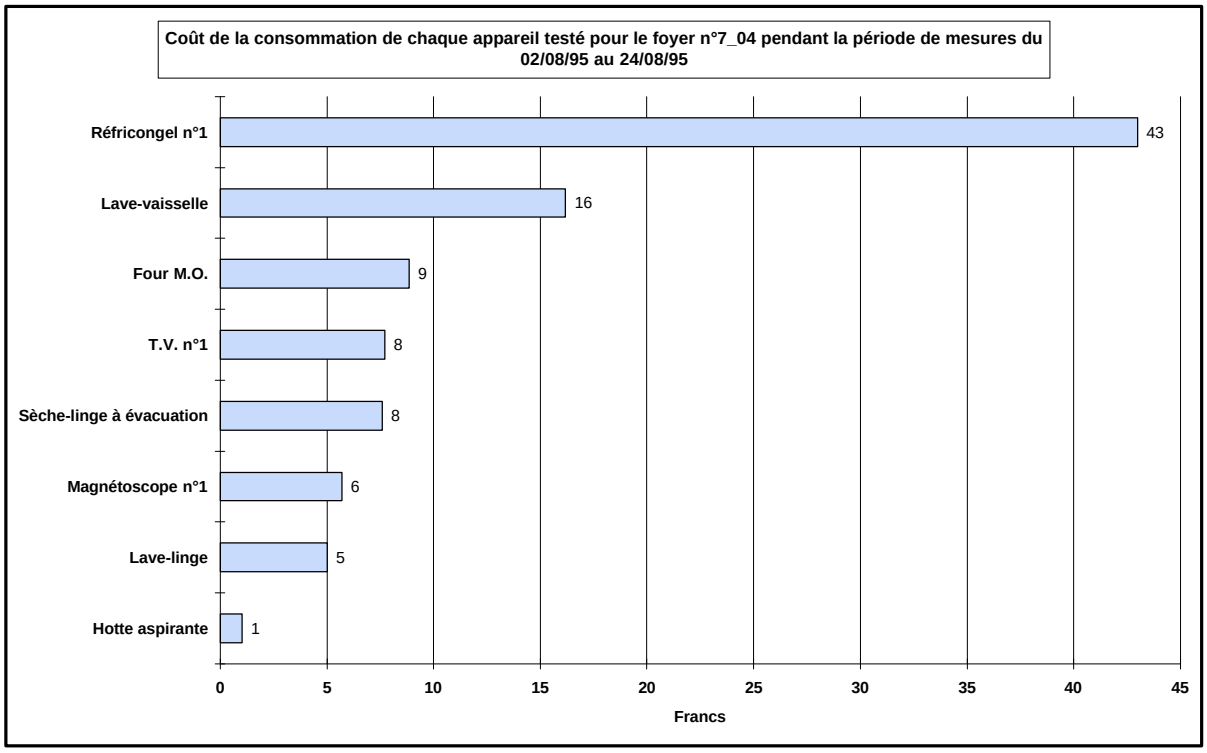
Outre toutes les analyses (courants porteurs, transmissions de données, réduction de consommations, ...etc.) expérimentales menées au niveau International et National de la campagne de mesures effectuée dans votre logement, nous souhaitons vous apporter quelques éléments personnalisés de vos consommations.

C'est pourquoi nous avons analysé de façon confidentielle la consommation de vos appareils électroménagers.

Nous avons reproduit ci-après, sous forme de graphiques, la consommation électrique des principaux appareils électroménagers de votre logement. Si nécessaire, un commentaire de la consommation de chaque appareil analysé vous est proposé.

En complément, nous avons situé le coût moyen par jour de chacun de vos appareils électroménagers, qui bien évidemment peut-être variable selon le tarif en vigueur, l'abonnement, les taxes, ... etc.).


Répartition des consommations du foyer n°7_04 pendant la période de mesures du 02/08/95 au 24/08/95
(sur un total de 207 kWh)
Lave-vaisselle
10.4%
Sèche-linge à évacuation
4.9%
Lave-linge
3.2%
T.V. n°1
5.0%
Magnétoscope n°1
3.7%
Four M.O.
5.7%
Hotte aspirante
0.7%
Réfricongel n°1
27.7%
Autres
38.7%


Coût de la consommation de chaque appareil testé pour le foyer n°7_04 pendant la période de mesures du
02/08/95 au 24/08/95
Réfricongel n°1
43
Lave-vaisselle
16
Four M.O.
9
T.V. n°1
8
Sèche-linge à évacuation
8
Magnétoscope n°1
6
Lave-linge
5
Hotte aspirante
1
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
Francs

DES CONSEILS PRATIQUES

Voici des mesures qui auront des conséquences directes sur vos coûts d'énergie. Chaque conseil représente une bonne occasion d'économiser de l'énergie à la maison.

Un mot sur vos vieux appareils ménagers :

Parmi tous vos appareils électriques, vous en possédez au moins un depuis plus de 10 ans, et vous songez probablement à le remplacer. Lorsque vous remplacerez cet appareil, ne manquez surtout pas de lire l'étiquette du prix de l'appareil et aussi l'étiquette qui vous indique combien d'électricité consomme l'appareil.

Un mot sur votre lave-vaisselle :

Utilisez votre lave-vaisselle seulement lorsqu'il est rempli. Vous économiserez l'énergie nécessaire à son fonctionnement ainsi que l'eau chaude qu'il utilise. Lorsque vous utilisez le lave-vaisselle, optez pour le cycle économiseur d'énergie et faites sécher la vaisselle à l'air libre, de façon à réduire l'énergie que nécessite le séchage.

Un mot sur votre four à micro-ondes :

L'utilisation quotidienne du four à micro-ondes constitue une véritable économie d'énergie pour la cuisson des aliments en petite ou moyenne quantité seulement. Evitez de l'utiliser pour décongeler les aliments. Prévoyez d'avance et faites décongeler les aliments au réfrigérateur.

Utilisez le programme économique de votre machine à laver :

Si votre machine à laver est dotée des programmes "économique" et/ou "1/2 charge", pensez à les utiliser. En procédant ainsi, vous pouvez économiser de l'énergie électrique, de l'eau et produit de lavage. Toutefois, l'économie sera plus conséquente si vous ne faites qu'une machine pleine plutôt que deux à moitié pleines.

Pour votre machine à laver le linge, choisissez la bonne température de lavage :

Il faut savoir que pendant un cycle de lavage complet d'une machine à laver à 90°C, la dépense en électricité se répartit comme suit : 10 % pour faire fonctionner moteurs et programmes et 90 % pour chauffer l'eau ! C'est pourquoi il est intéressant de pouvoir choisir soi-même la température de lavage pour l'abaisser par rapport au programme normalement conseillé quand le linge introduit est peu sale.

Pour votre réfrigérateur et votre congélateur, quelques bonnes habitudes à prendre :

Pour votre réfrigérateur et votre congélateur, une bonne installation et une maintenance régulière sont nécessaires. Ce type d'appareil se place loin des sources de chaleur (cuisinière, radiateur) car il réagit à la température ambiante et consomme d'autant plus d'électricité que la température est élevée.
Il faut procéder à un dégivrage régulier, car dès que la couche de givre atteint une épaisseur de 5 mm, l'excès de givre engendre des surconsommations.
Il est également important de choisir des appareils d'une capacité adaptée à vos besoins. Plus un réfrigérateur est volumineux, plus il consomme d'électricité.

Assurez-vous que la distance des appareils au mur est conforme aux recommandations du fabricant : l'air doit circuler librement derrière.

De plus, pour dépenser moins, nous vous conseillons :

- De limiter le nombre d'ouvertures de portes.
- De laisser complètement refroidir vos plats avant de les mettre au frais.
- De couvrir les plats cuisinés pour limiter la formation de givre dans le réfrigérateur.

Pensez à remplacer les ampoules à incandescence par des fluocompactes (basse consommation).

Comme vous le savez, l'éclairage fluorescent convient dans la plupart des endroits de la maison. Le fluorescent utilise 75 % moins d'électricité et il procure la même qualité d'éclairage qu'une ampoule à incandescence. De plus, il a une durée de vie 8 fois plus grande.

Le fluorescent compact est facile à installer : il se visse dans une douille ordinaire. Consultez un spécialiste de l'éclairage pour vous procurer le fluorescent qui correspond le mieux à vos besoins.

Attention au mode veille de certains de vos appareils.

Si vous avez pour habitude de laisser vos appareils en mode veille, cela peut représenter une consommation importante par rapport à la consommation d'utilisation. Par exemple : la consommation de veille d'un téléviseur peut représenter 360 WH/jour alors que la consommation d'utilisation n'est que de 180 WH si vous utilisez par exemple 3 heures par jour votre appareil.

Pour toutes informations complémentaires, vous pouvez contacter l'un des organismes cités dans les plaquettes ci-jointes (EDF - ADEME) ou :

SOCOTEC : Mr DUPAQUIER Denis
22/24 Avenue Jean Jaurès
71100 CHALON/SAONE

Tél : 85.48.54.45.