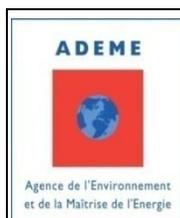
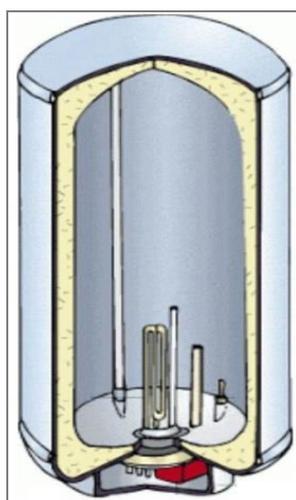


Suivi des performances réelles des chauffe-eaux à accumulation à effet joule en résidentiel

Rapport final

Juillet 2018

Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par : *Enertech*



Coordination technique ADEME :

Anne LEFRANC

Service bâtiment - Direction Villes et Territoires Durables

Anne.lefranc@ademe.fr

04 93 95 79 45

Sommaire

SYNTHESE	4
LEXIQUE	7
1 GENERALITES	8
1.1 <i>Objectifs de la mission</i>	8
1.2 <i>Parc installé et statistique de vente</i>	8
1.2.1 Importance du parc installé	8
1.2.2 Statistiques de ventes	9
1.3 <i>Réglementation et label</i>	9
1.3.1 Etiquette énergie (ERP : Energy Related Products)	9
1.3.2 Label NF Performance (LCIE 103-14/D)	14
1.4 <i>Etat de l'art de la filière</i>	15
1.4.1 Principaux Fabricants	15
1.4.2 Principaux produits du marché	15
2 METROLOGIE ET ECHANTILLON	21
2.1 <i>Métrologie</i>	21
2.1.1 Grandeurs mesurées	21
2.1.2 Consommation électrique de la résistance :	21
2.1.3 Compteur de chaleur individuel	21
2.1.4 Communication	23
2.1.5 Procédure de détermination des températures ECS stockée et EF.....	23
2.1.6 Questionnaire et relevés sur site	25
2.2 <i>Description de l'échantillon</i> :	26
2.2.1 Logements et occupants	26
2.2.2 Synthèse du questionnaire	32
2.2.3 Les 20 chauffe-eaux suivis.....	33
2.2.4 Tableau récapitulatif des caractéristiques techniques des 20 chauffe-eaux	35
3 RESULTATS DE MESURE	38
3.1 <i>Résultats généraux</i>	38
3.1.1 Tableau récapitulatif	38
3.1.2 Consommations réelles vs données ERP	39
3.2 <i>Consommation électrique</i>	40
3.2.1 Part du chauffe-eau dans la consommation électrique totale	40
3.2.2 Effets saisonniers et journaliers	41
3.2.3 Signature énergétique	42
3.2.4 Consommation et double tarification.....	44
3.2.5 Courbes de charge électriques	45
3.2.6 Comparaison aux consommations ERP.....	47
3.3 <i>Températures</i>	48
3.3.1 Température Eau Froide	48

3.3.2	Température d’ambiance autour du chauffe-eau	49
3.3.3	Température de stockage	50
3.3.4	Ecart stockage - ambiance	52
3.3.5	Consigne de température et thermostats	52
3.4	<i>Etude des puisages</i>	54
3.4.1	Puisages à température de stockage	54
3.4.2	Puisages V40	55
3.4.3	Débits instantanés mesurés aux points de puisages	56
3.4.4	V40 et débits instantanés	57
3.4.5	V40 et longueur de distribution	58
3.4.6	V40 et durée de puisage	59
3.4.7	Répartition des durées de puisage	59
3.4.8	Puisages V40 : évolution mensuelle	60
3.4.9	Puisages V40 : évolution hebdomadaire	61
3.4.10	Courbe de charge journalière V40	61
3.4.11	Energie utile puisée et profils ERP	62
3.5	<i>Pertes statiques et rendements</i>	64
3.5.1	Rappels des termes	64
3.5.2	Pertes statiques : mesure et NF performance	65
3.5.3	Constante de refroidissement : mesure et NF performance	66
3.5.4	Classe énergétique et efficacité : mesure et ERP	66
4	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	68

SYNTHESE

Mission

Cette étude présente les mesures effectuées au pas de temps de 1 minute pendant 1 an sur 20 chauffe-eaux électriques à effet joule en condition réelle, dans le but d'en caractériser la performance énergétique. 6 points de mesure sont effectués par logement en mesure communicante : températures d'eau froide et d'ECS (valables au puisage), température ambiante, comptage énergie/volume des puisages et consommation électrique.

Une analyse est également faite du marché, de la réglementation ERP et du label NF Electricité Performance.

Parc installé et ventes

Avec un parc de 17 millions d'unités dans 15 millions de logements (46% des logements en France) et 1.5 millions d'unités vendues en 2016, le chauffe-eau à effet joule demeure une référence incontournable dans la production d'eau chaude sanitaire. Sa consommation en résidentiel représenterait 5.5% de la consommation d'électricité nationale, et 37% de la consommation d'électricité des ménages équipés.

ERP et NF Performance

L'étiquette ERP, en vigueur depuis 2015, définit la classe énergétique et la consommation annuelle des chauffe-eaux. 8 profils ont été définis (de 3XS à 4XL). Le manque de résolution de ces profils conduit aujourd'hui l'ensemble du parc de CE à effet joule à être étiqueté C sous un profil de soutirage M ou L. Seuls quelques chauffe-eaux « smart » atteignent la classe B. Il faut noter que les profils M et L sont très supérieurs à la réalité des puisages en logement, ce qui conduit à sous estimer d'un facteur 3 la part *relative* des pertes statiques. La consommation annuelle, qui est déterminée au ratio des tests précédents (profils M ou L), est de fait quasi-binaire (1450kWh ou 2700kWh) pour l'ensemble des produits ce qui rend l'étiquette énergie très peu lisible.

Le label NF Performance, en vigueur depuis 2015, atteste de la sécurité et de la performance des appareils. Il procède d'une démarche volontaire des fabricants et a conduit à l'élimination progressive du marché des produits peu fiables ou très mal isolés. Il permet la mesure des pertes statiques dans des conditions stables et équivalentes pour tous les appareils. La majorité des produits à la vente sont de classe **. On constate très peu de différence énergétique entre le ** et le ***. Dans les faits les isolations sont toutes comprises entre 30 et 40mm de polyuréthane. L'épaisseur de l'isolant ou la valeur de la résistance thermique ne sont jamais communiquées.

Echantillon

Les 20 logements instrumentés se trouvent dans le département de la Drôme et bénéficient d'une eau moyennement dure selon la cartographie établie par l'ARS. Les capacités (litres) des 20 chauffe-eaux instrumentés sont globalement représentatives de la répartition statistique du parc. On constate un surdimensionnement moyen des appareils de 30% par rapport aux recommandations Promotelec. Tous les chauffe-eaux instrumentés sont de classe C (profil M ou L). Il n'y a aucun chauffe-eau smart dans l'échantillon.

RESULTATS DE LA CAMPAGNE

Résultats globaux

Les chauffe-eaux ont consommé en moyenne 1560kWh d'électricité correspondant à 28% de la consommation d'électricité des logements (39% si on se restreint aux logements qui n'ont pas de chauffage électrique). L'effet saisonnier est fort avec une consommation qui chute de moitié en été. La signature énergétique des chauffe-eaux est très fortement corrélée aux puisages, moins à la température de stockage. La part moyenne des pertes statiques est toutefois de 504kWh/an soit 32% de la consommation des appareils.

Températures

Les températures *moyennes* d'ambiance, d'eau froide et de stockage ECS sont respectivement de 20.5°C (min 15.8°C max 31.6°C), 16.4°C (min 14.4°C max 20.6°C) et 52.1°C (min 42.5°C max 64.4°C). La température de stockage présente des variations temporelles par logement de 11.7°C en moyenne. Les écarts avec l'ambiance sont en moyenne de 31.5°C donc inférieurs aux 45°C de la mesure NFP des pertes statiques. Les températures maximales atteintes varient de 47 à 81°C selon les logements. La moitié des thermostats ne sont pas réglés au maximum.

Puisages

Les volumes puisés d'ECS non mitigée sont en moyenne de 63L/j/logt ou 29L/j/pers. Pour un logement donné, le puisage maximum journalier est en moyenne 4.7 fois supérieur à sa moyenne annuelle. Les puisages ramenés à 40°C (V40) sont de 96L/j/logt ou 40L/j/pers. Ces ratios se rapprochent du guide Ademe-Costic sur l'utilisation de l'ECS en résidentiel. Les disparités sur les V40 puisés sont forts : 1 à 21 d'un logement à l'autre, 1 à 7 d'une personne à l'autre. Malgré un ratio de 1 à 4 sur les débits instantanés relevés aux points de puisage, il n'est pas observé de corrélation du V40 avec ces débits. Le V40 se corrèle surtout aux durées de puisage (nombre de personnes, comportement). Il faut noter enfin que les profils ERP (M,L, etc..) surclassent d'un facteur 3.5 les puisages réels *moyens* mesurés.

Pertes statiques et rendements

Les pertes statiques mesurées sont globalement en accord avec les données NFP. Dans les conditions réelles ces pertes représentent 1.4kWh/24h soit un Cr moyen de 0.23Wh/j/L/K. Elles représentent sur le terrain 37% de la consommation des chauffe-eaux.

Comme vu précédemment les puisages réels sont très largement inférieurs aux puisages réglementaires ce qui conduit à une efficacité moyenne sur le terrain de l'ordre de 26% (contre 38% en ERP), avec des étiquettes « recalculées sur données réelles » qui s'échelonnent entre D et G. Ces résultats, encore une fois, sont principalement liés aux puisages réels et non à une dégradation des pertes statiques sur le terrain.

PERSPECTIVE

La surestimation du ratio puisages/pertes dans le protocole de test ERP permet de définir le potentiel maximum d'un chauffe-eau, mais s'avère inadéquat à orienter l'acheteur vers le produit qui s'adapte à son besoin tout en occasionnant le minimum de pertes statiques. Cette surestimation minimise par ailleurs l'importance *relative* des pertes statiques qui est réelle sur le terrain, et qui pourrait être diminuée de plus de 40% avec une isolation renforcée (70mm par exemple) et une meilleure isolation de la trappe de visite. Cette

surisolation potentielle est aujourd'hui sans effet sensible sur l'efficacité au sens ERP et ne permet pas de gagner une classe énergétique. Elle permettrait pourtant sur le terrain un gain moyen de 200kWh par an et par logement.

La gestion de la température de stockage s'avère aussi un point clé. L'immense majorité des produits n'indique pas cette température et n'offre qu'un moyen de réglage imprécis et situé à un emplacement peu accessible. Pourtant les disparités constatées sur les températures de consigne de stockage (subies dans la plupart des cas) montrent qu'un gisement d'économie important existe. La diminution de la température de stockage de 10°C occasionne un gain de l'ordre de 150kWh/an. La possibilité de régler précisément sa température a du sens au regard du surdimensionnement chronique des chauffe-eaux et de la consommation d'eau chaude qui baisse de moitié en été. Les fabricants apportent un début de réponse avec l'apparition des fonctions « smart », mais il n'est pas certain que cette approche réponde de manière suffisante aux aléas des usages et à la saisonnalité, en un mot aux attentes de l'utilisateur désireux de maîtriser son équipement et de minimiser sa consommation.

LEXIQUE

<i>Energy Related Products (ERP)</i>	Cadre réglementaire relatif à l'étiquette énergie, aux mesures et aux calculs associés qui sont issus des règlements UE 812/2013 et UE 814/2013.
<i>NF Performance (NFP)</i>	Label français attestant de la sécurité électrique et de la performance des équipements électriques. Référence aux mesures et aux calculs issus du Cahier des Charges LCIE 103-14/D.
<i>GIFAM</i>	Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'équipement Ménager.
<i>Profil de soutirage ERP</i>	Profil temporel de soutirage ECS sur 24h défini dans le règlement UE 812/2013 et servant à quantifier l'efficacité énergétique (et donc la classe énergétique) des chauffe-eaux. 8 profils ont été définis de 3XS à 4XL.
Consommation d'entretien ou pertes statiques ou Qpr (kWh/24h)	Consommation électrique sur 24h nécessaire au maintien en température d'un chauffe-eau stockant l'ECS à 65°C et placé dans une ambiance à 20°C (Cahier des Charges LCIE 103-14/D).
<i>Constante de refroidissement (Cr ou K en Wh/24h/L/K)</i>	énergie consommée par le chauffe-eau en 24h en l'absence de soutirage, ramenée à une contenance de 1 litre et à une différence de température de 1°C entre l'eau stockée et l'ambiance.
<i>V40</i>	Volume maximum d'eau chaude mitigée à 40°C que peut fournir un chauffe-eau en un seul puisage.

1 GENERALITES

1.1 Objectifs de la mission

La division par quatre des émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2050 est une priorité affichée tant au niveau français qu'au niveau international. En France, le secteur du bâtiment représente 45% des consommations d'énergie finale et est responsable de 25% de la production des gaz à effet de serre. Il représente donc un gisement important d'économies.

Dans le logement, les consommations liées à l'eau chaude sanitaire (ECS) sont de plus en plus pesantes sur la facture des ménages, alors que celles liées au chauffage ont tendance à diminuer (effort sur les travaux d'isolation, comportements plus économes, systèmes plus performants).

L'ADEME a donc souhaité **mesurer les performances des chauffe-eaux** en conditions réelles au travers d'une **campagne de mesures de 1 an (01/12/2016 à 01/12/2017), au pas de temps de temps de la minute, sur vingt sites résidentiels existants équipés de chauffe-eaux électriques à accumulation à effet joule récents** (moins de deux ans) et de catégorie B ou C certifié « NF électricité performance » (soit ** ou *** avec la nouvelle dénomination). L'évaluation des performances s'appuie sur plusieurs critères tel que :

- *coefficient de performance réel de l'installation et puissance électrique appelée ;*
- *besoins d'eau chaude sanitaire ;*
- *pertes thermiques du stockage ;*
- *confort de l'occupant (température).*

En parallèle de cette évaluation, une réflexion sur l'état de l'art de la filière et sur la réglementation à été menée.

1.2 Parc installé et statistique de vente

1.2.1 Importance du parc installé

Selon le GIFAM, le parc existant des chauffe-eaux à effet joules compte **17 millions d'unités** dans 15 millions de logements soit **46% des logements équipés**. D'après la présente campagne de mesure, la consommation moyenne d'un chauffe-eau est de **1560kWh/an/unité**. Avec une consommation moyenne des ménages de 4710kWh/logt en France, le chauffe-eau à effet joule représenterait en moyenne **33% de la consommation d'électricité d'un logement**. Par ailleurs, d'après les chiffres qui précèdent, la consommation annuelle du parc de chauffe-eaux résidentiels au niveau national serait de l'ordre **26.5TWh** soit :

- **5.5% de la consommation nationale d'électricité en 2017** (482TWh) ;
- **7.0% de la consommation nationale d'électricité nucléaire en 2017** (379TWh produits par 58 réacteurs = 63GW installés).

Le chauffe-eau à accumulation à effet joule est un sujet énergétique prépondérant à l'échelle nationale.

1.2.2 Statistiques de ventes

En 2016 le volume des ventes de chauffe-eaux à effet joule s'élève à 1,5 millions d'unités, dont une majorité de chauffe-eaux de capacité 150L et 200L (données GIFAM, Figure 1).

La réduction des ventes amorcée depuis 2013 semble s'être annulée en 2016 avec un volume équivalent à celui des années 2011-2012. L'effet de « vase communicant » avec les chauffe-eaux thermodynamiques est limité puisque les ventes de ces derniers restent près de **17 fois inférieures à celles des chauffe-eaux effet joule en 2016**.

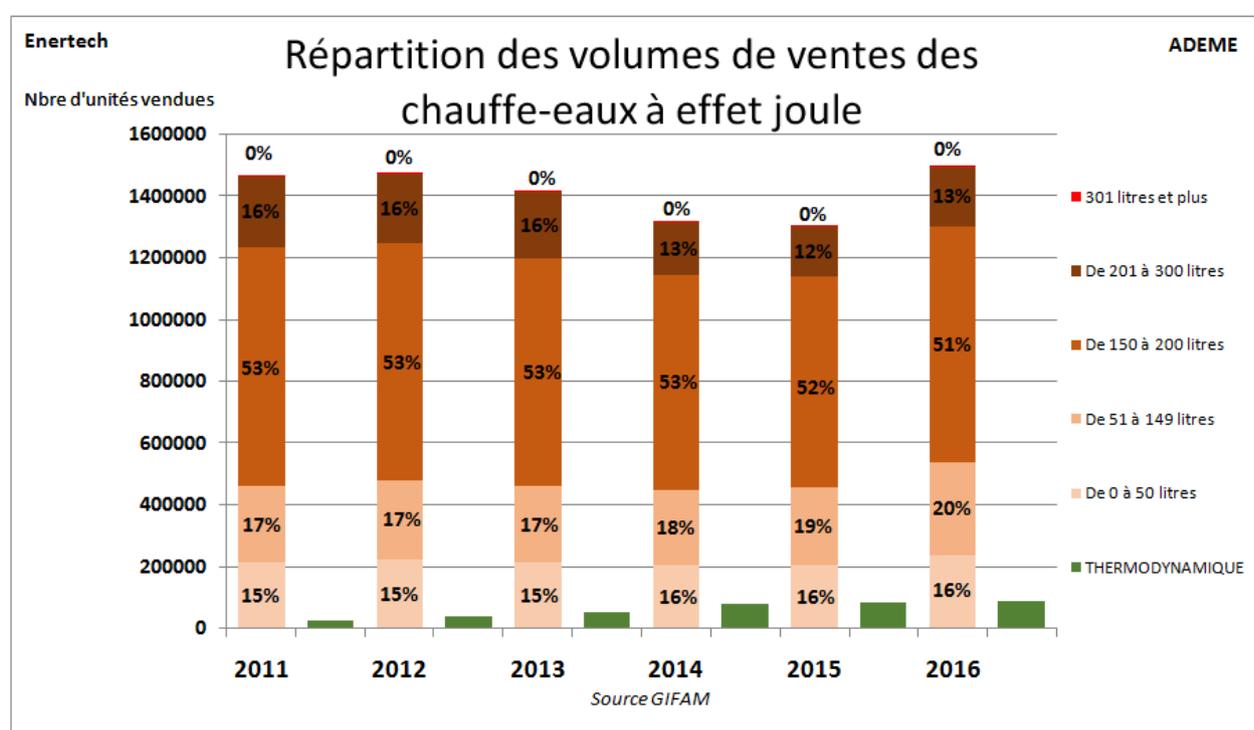


Figure 1 : Répartition des volumes de ventes des chauffe-eaux à effet joule.

Dans le contexte d'une hausse tendancielle du prix de l'électricité et surtout des exigences de la RT 2012, le système de production ECS à accumulation à effet joule a quasiment disparu du logement neuf. Il reste cependant très présent dans le parc du logement existant, et dans le tertiaire en général.

Le chauffe-eau à effet joule demeure toujours très attractif aujourd'hui, de part son faible coût, sa facilité d'intégration (compacité, absence de bruit), sa fiabilité, sa simplicité d'installation et d'entretien, son adaptabilité au tarif heure creuse.

1.3 Réglementation et label

1.3.1 Etiquette énergie (ERP : Energy Related Products)

Généralités

Depuis le 26 septembre 2015, la réglementation européenne impose aux fabricants de chauffe-eaux d'associer à leurs appareils une étiquette énergie (ERP).

Cette étiquette doit permettre aux consommateurs de comparer les produits en matière d'efficacité énergétique (Figure 2).

Les chauffe-eaux à effet joule à accumulation sont concernés par les règlements UE 812/2013 et UE 814/2013. Ces règlements établissent notamment les exigences d'éco-conception, méthodes de calculs et procédures tests permettant l'établissement de ces étiquettes. La démarche globale procède d'une auto-déclaration des fabricants avec contrôles aléatoires réalisés par une autorité de surveillance.

**INFORMATIONS APPORTÉES PAR L'ETIQUETTE ENERGETIQUE
CHAUFFE-EAU**

1 : Le **Profil de soutirage** indique la capacité à l'appareil de produire une plus ou moins grande quantité d'eau chaude sanitaire. 8 profils de soutirage sont établis par le règlement UE 812/2013. A noter que deux chauffe-eaux de capacités différentes peuvent présenter le même profil de soutirage, de même que deux chauffe-eaux ayant le même profil de soutirage peuvent présenter deux volumes de ballon différents.

2 : **Classe d'efficacité énergétique.**

3 : **Consommation annuelle d'électricité.**

4 : **Niveau de puissance acoustique.** Les chauffe-eaux à accumulation présentent un niveau sonore si faible qu'une valeur forfaitaire de 15 décibels leur a été attribuée

5 : **Fonctionnement en tarif heures creuses :** s'il figure sur l'étiquette, le chauffe-eau peut assurer le profil de puisage indiqué en ne fonctionnant qu'en heure creuse. S'il n'est pas indiqué, le chauffe-eau devra fonctionner en « marche forcée » pour assurer le profil de soutirage mentionné.

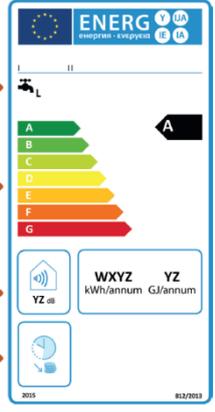
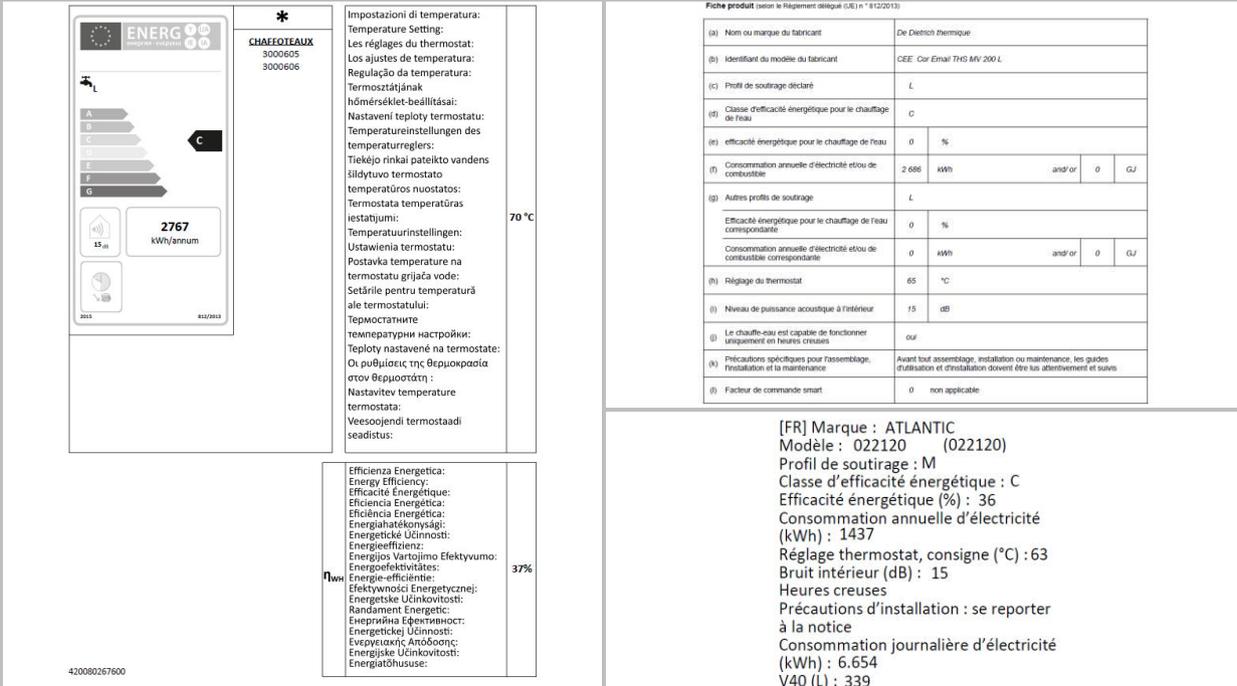


Figure 2 : informations apportées par l'étiquette énergie (source : GIFAM)

Des informations complémentaires sont généralement fournies avec l'étiquette énergie. Il s'agit d'une fiche produit réglementaire (Figure 3) dans laquelle on trouve les informations suivantes :

- l'efficacité énergétique du chauffe-eau (%),
- le réglage du thermostat dans les conditions du test (consigne T°C),
- le V40 : volume d'eau que l'on peut puiser à 40°C (litres).



Fiche produit (selon le Règlement étiquette (UE) n° 812/2013)	
(a) Nom ou marque du fabricant	De Dietrich Zenitique
(b) Identifiant du modèle du fabricant	CEE Cor Enrai THS MV 200 L
(c) Profil de soutirage déclaré	L
(d) Classe d'efficacité énergétique pour le chauffage de l'eau	C
(e) Efficacité énergétique pour le chauffage de l'eau	0 %
(f) Consommation annuelle d'électricité et/ou de combustible	2 686 kWh and/or 0 GJ
(g) Autres profils de soutirage	L
Efficacité énergétique pour le chauffage de l'eau correspondante	0 %
Consommation annuelle d'électricité et/ou de combustible correspondante	0 kWh and/or 0 GJ
(h) Réglage du thermostat	65 °C
(i) Niveau de puissance acoustique à l'intérieur	15 dB
(j) Le chauffe-eau est capable de fonctionner uniquement en heures creuses	oui
(k) Précautions spécifiques pour l'assemblage, l'installation et la maintenance	Avant tout assemblage, installation ou maintenance, les guides d'utilisation et d'installation doivent être lus attentivement et suivis
(l) Facteur de commande smart	0 non applicable

[FR] Marque : ATLANTIC
Modèle : 022120 (022120)
Profil de soutirage : M
Classe d'efficacité énergétique : C
Efficacité énergétique (%) : 36
Consommation annuelle d'électricité (kWh) : 1437
Réglage thermostat, consigne (°C) : 63
Bruit intérieur (dB) : 15
Heures creuses
Précautions d'installation : se reporter à la notice
Consommation journalière d'électricité (kWh) : 6.654
V40 (L) : 339

Figure 3 : Exemple de « fiches produit réglementaire » tirées des tests ERP.

Profil de soutirage ERP

Ces profils calibrés servent à l'établissement des indicateurs de l'étiquette. L'annexe III de la réglementation UE 814/2013 définit 8 profils de soutirage, allant de 3XS à XXL. Le fabricant est tenu de choisir le profil maximal admissible pour son appareil ou bien le profil immédiatement inférieur.

Sur les 8 profils de puisages proposés par la réglementation, seuls deux sont utilisés (M et L) pour les chauffe-eaux à effet joule ayant des capacités allant de 75 à 300Litres (Tableau 1).

Profil	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL	3XL	4XL
Qref(kWh)	0.345	2.1	2.1	2.1	5.845	11.655	19.07	24.53	46.76	93.52

Tableau 1 : Liste des profils de soutirage et énergie utile associée.

Chacun de ces profils a une définition horaire bien précise en termes de débit instantané et de température (Figure 4). L'ensemble des indicateurs de l'étiquette s'appuie sur les résultats mesurés au cours du banc d'essai soumettant le chauffe-eau à un profil donné.

	M				L					M				L			
	Q tap	f	Tm	Tp	Q tap	L/min	Tm	Tp		Q tap	f	Tm	Tp	Q tap	L/min	Tm	Tp
0:00																	
7:00	0,105	3	25		0,105	3	25		0,315	4	10	55	0,315	4	10	55	
7:05	1,400	6	40		1,400	6	40		0,105	3	25		0,105	3	25		
7:15																	
7:26																	
7:30	0,105	3	25		0,105	3	25										
7:45					0,105	3	25										
8:01	0,105	3	25														
8:05					3,605	10	10	40									
8:15	0,105	3	25														
8:25					0,105	3	25										
8:30	0,105	3	25		0,105	3	25										
8:45	0,105	3	25		0,105	3	25										
9:00	0,105	3	25		0,105	3	25										
9:30	0,105	3	25		0,105	3	25										
10:00																	
10:30	0,105	3	10	40	0,105	3	10	40									
11:00																	
11:30	0,105	3	25		0,105	3	25										
11:45	0,105	3	25		0,105	3	25										
12:00																	
12:30																	
12:45	0,315	4	10	55	0,315	4	10	55									
14:30	0,105	3	25		0,105	3	25										
15:00																	
15:30	0,105	3	25		0,105	3	25										
16:00																	
16:30	0,105	3	25		0,105	3	25										
17:00																	
18:00	0,105	3	25		0,105	3	25										
18:15	0,105	3	40		0,105	3	40										
18:30	0,105	3	40		0,105	3	40										
19:00	0,105	3	25		0,105	3	25										
19:30																	
20:00																	
20:30	0,735	4	10	55	0,735	4	10	55									
20:45																	
20:46																	
21:00					3,605	10	10	40									
21:15	0,105	3	25														
21:30	1,400	6	40		0,105	3	25										
21:35																	
21:45																	
23:50																	

Définition des termes :

Qref : Somme de Qtap

Qtap : «contenu énergétique utile» (Qtap), le contenu énergétique, exprimé en kWh, de l'eau chaude fournie à une température égale ou supérieure à la température utile de l'eau et à des débits d'eau égaux ou supérieurs au débit utile de l'eau.

f : «débit utile d'eau», le débit minimal, exprimé en litres par minute, auquel l'eau chaude contribue à l'énergie de référence.

Tm : «température utile de l'eau», la température de l'eau, exprimée en degrés Celsius, à partir de laquelle l'eau chaude contribue à l'énergie de référence.

Tp : «température de pointe», la température minimale de l'eau, exprimée en degrés Celsius, qui doit être atteinte au cours d'un puisage d'eau.

Figure 4 : détail horaire des profils de soutirage M et L (les deux principaux profils rencontrés).

Efficacité et classe énergétique ERP

L'efficacité est calculée à partir des profils réglementaires. Ces derniers définissent l'énergie utile de référence (énergie puisée). La consommation totale du chauffe-eau pendant le test, Q_{elec} , est convertie en énergie primaire et corrigée d'un facteur de appelé Q_{cor} qui permet de valoriser une partie des pertes (le gain moyen sur l'efficacité est de l'ordre 0.7 points ce qui n'est pas négligeable). Enfin un facteur correctif lié à la fonction smart est également prévu. Ce dernier permet à certains chauffe-eaux d'atteindre la classe B.

Sur les 250 chauffe-eaux à effet joule référencés de capacités de 75 à 300L, l'efficacité ERP moyenne est de 37.4% en énergie primaire avec coefficient 2.58 (soit $\eta = 96.5\%$ en énergie finale). Nous verrons que **sur le terrain les puisages moyens sont bien inférieurs aux profils réglementaires, ce qui conduit les pertes à prendre quatre fois plus d'importance en part relative dans la consommation totale (9% en ERP, 37% en réalité)**. Les efficacités réelles sont ainsi 4 à 5 classes inférieures aux efficacités ERP (Cf §3.5).

La méthode ERP ne permet donc pas en l'état de prendre la mesure réelle des pertes statiques sur le terrain. Elle n'incite pas aujourd'hui les fabricants à améliorer les niveaux d'isolation thermique des chauffe-eaux.

$$\eta_{wh} = \frac{Q_{ref}}{(Q_{fuel} + CC \cdot Q_{elec})(1 - SCF \cdot smart) + Q_{cor}}$$

$$Q_{cor} = -k \cdot (CC \cdot (Q_{elec} \cdot (1 - SCF \cdot smart) - Q_{ref}))$$

$$SCF = 1 - \frac{Q_{fuel.week.smart} + CC \cdot Q_{elec.week.smart}}{Q_{fuel.week} + CC \cdot Q_{elec.week}}$$

Formule simplifiée dans le cas d'un chauffe-eau électrique non smart :

$$\eta_{wh} = Q_{ref} / (2.58 * (Q_{elec} - 0.23 * (Q_{elec} - Q_{ref})))$$

η_{wh} : efficacité énergétique (%).
 Q_{ref} : puisage utile journalier » (kWh/j) issu du profil de puisage réglementaire (M, L, XL,...).
 Q_{elec} : consommation électrique journalière mesurée.
CC : coefficient de conversion en énergie primaire (CC=2.58).
 Q_{cor} : terme de correction d'ambiance exprimé en kWh, qui tient compte du fait que le lieu d'installation du chauffe-eau n'est pas thermiquement isolé.
k : terme de correction d'ambiance (k=0.23 pour les profils 3XS à XL et k=0 pour les profils > à XL)
SCF : facteur de commande intelligente ». Si $SCF \geq 0.07$ alors smart=1.

Figure 5 : méthode de calcul d'efficacité énergétique ERP

La classe d'efficacité énergétique de l'étiquette dépend de l'**efficacité énergétique mesurée selon le profil de soutirage déclaré** (Figure 6). En septembre 2017, la réglementation renforce les exigences énergétiques en interdisant à la vente les chauffe-eaux effet joule de classe inférieure à C. En septembre 2018, la réglementation renforcera les exigences énergétiques pour tous les profils de soutirage XXL, 3XL et 4XL (ce qui ne concerne pas les chauffe-eaux individuels).

Sur 270 chauffe-eaux à effet joule de 40 à 500L recensés sur le marché, **89% sont étiquetés de classe C**.

Classes d'efficacité énergétique pour le chauffage de l'eau, selon les profils de soutirage déclarés, η_{wh} en %

	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL
A***	$\eta_{wh} \geq 62$	$\eta_{wh} \geq 62$	$\eta_{wh} \geq 69$	$\eta_{wh} \geq 90$	$\eta_{wh} \geq 163$	$\eta_{wh} \geq 188$	$\eta_{wh} \geq 200$	$\eta_{wh} \geq 213$
A**	$53 \leq \eta_{wh} < 62$	$53 \leq \eta_{wh} < 62$	$61 \leq \eta_{wh} < 69$	$72 \leq \eta_{wh} < 90$	$130 \leq \eta_{wh} < 163$	$150 \leq \eta_{wh} < 188$	$160 \leq \eta_{wh} < 200$	$170 \leq \eta_{wh} < 213$
A*	$44 \leq \eta_{wh} < 53$	$44 \leq \eta_{wh} < 53$	$53 \leq \eta_{wh} < 61$	$55 \leq \eta_{wh} < 72$	$100 \leq \eta_{wh} < 130$	$115 \leq \eta_{wh} < 150$	$123 \leq \eta_{wh} < 160$	$131 \leq \eta_{wh} < 170$
A	$35 \leq \eta_{wh} < 44$	$35 \leq \eta_{wh} < 44$	$38 \leq \eta_{wh} < 53$	$38 \leq \eta_{wh} < 55$	$65 \leq \eta_{wh} < 100$	$75 \leq \eta_{wh} < 115$	$80 \leq \eta_{wh} < 123$	$85 \leq \eta_{wh} < 131$
B	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$35 \leq \eta_{wh} < 38$	$35 \leq \eta_{wh} < 38$	$39 \leq \eta_{wh} < 65$ 6%	$50 \leq \eta_{wh} < 75$	$55 \leq \eta_{wh} < 80$	$60 \leq \eta_{wh} < 85$
C	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$36 \leq \eta_{wh} < 39$ 30%	$37 \leq \eta_{wh} < 50$ 59%	$38 \leq \eta_{wh} < 55$	$40 \leq \eta_{wh} < 60$
D	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$33 \leq \eta_{wh} < 36$	$34 \leq \eta_{wh} < 37$ 4%	$35 \leq \eta_{wh} < 38$	$36 \leq \eta_{wh} < 40$
E	$22 \leq \eta_{wh} < 26$	$23 \leq \eta_{wh} < 26$	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$30 \leq \eta_{wh} < 33$ 1%	$30 \leq \eta_{wh} < 34$	$30 \leq \eta_{wh} < 35$	$32 \leq \eta_{wh} < 36$
F	$19 \leq \eta_{wh} < 22$	$20 \leq \eta_{wh} < 23$	$23 \leq \eta_{wh} < 26$	$23 \leq \eta_{wh} < 26$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$28 \leq \eta_{wh} < 32$
G	$\eta_{wh} < 19$	$\eta_{wh} < 20$	$\eta_{wh} < 23$	$\eta_{wh} < 23$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 28$

250 Chauffe-eaux répertoriés en 2017

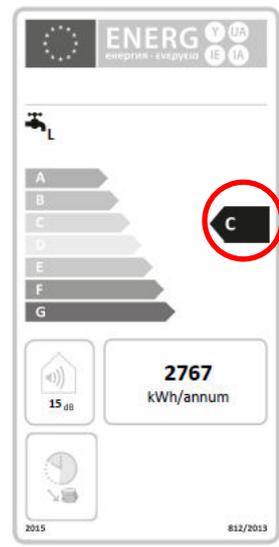


Figure 6 : Classes d'efficacité en fonction du profil déclaré et de l'efficacité mesurée sur profil ERP.

Consommation annuelle ERP

L'une des informations les plus visibles sur l'étiquette énergie est la consommation annuelle. Pour calculer cette consommation, la réglementation propose de (Figure 7) :

- prendre la consommation électrique journalière mesurée durant le test ERP ;
- annualiser cette consommation en la multipliant par 366 jours ;
- atténuer la consommation obtenue **d'un facteur 0,6**.

A ceci s'ajoute, comme pour le calcul de rendement, le terme de correction d'ambiance « Qcor » dont l'influence sur le résultat est faible.

la consommation annuelle d'électricité AEC, en kWh d'énergie finale, est calculée de la façon suivante:

$$AEC = 0,6 \cdot 366 \cdot \left(Q_{dec} \cdot (1 - SCF \cdot smart) + \frac{Q_{cor}}{CC} \right)$$

Formule simplifiée dans le cas d'un chauffe eau électrique non smart :

$$AEC = 0.6 \times 366 \times (Q_{elec} - (0.23 \times (Q_{elec} - Q_{ref})))$$

Q elec = consommation électrique journalière mesurée pour un profil de soutirage définit.
SCF = « facteur de commande intelligente ». Si SCF ≥ 0.07 alors smart=1.
Qcor = «terme de correction d'ambiance», un terme, exprimé en kWh, qui tient compte du fait que le lieu d'installation du chauffe-eau n'est pas thermiquement isolé (0.23).
CC = «coefficient de conversion», E primaire/E finale (2.58).

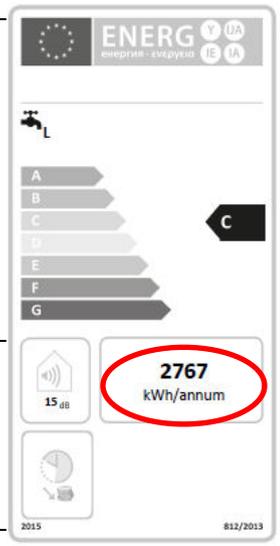


Figure 7 : méthode de calcul de la consommation annualisée ERP.

Malgré le facteur 0.6, les consommations affichées sur l'étiquette ERP restent très supérieures aux consommations réelles, et sont surtout « binaires » dans la mesure où elles procèdent toutes des mêmes profils M ou L.

L'étiquette actuelle est donc critiquable dans la mesure où elle incite peu les fabricants à mieux isoler les chauffe-eaux, et où elle ne guide pas l'acheteur vers le chauffe-eau qui occasionnera le minimum de pertes.

1.3.2 Label NF Performance (LCIE 103-14/D)

Le Label NF Performance *électricité* est en application depuis le 17/05/2015. Ce Label est délivré par le LCIE (Laboratoire Central des Industries de l'Electricité) filiale de *Bureau VERITAS* et mandaté par l'AFNOR (Association française de normalisation). Cet unique label n'est pas obligatoire mais s'impose pourtant sur la quasi-totalité des produits du marché français. Il atteste de la sécurité électrique mais aussi de la performance sur les volets suivants (cahier des charges LCIE 103-14/D) :

5 - DEFINITION ET CRITERES D'OBTENTION DES CATEGORIES					
5.1 Chauffe-eau à accumulation horizontal					
Grandeur mesurée	Abréviation	Unité	Catégorie A	Catégorie B	Catégorie C
Capacité de stockage	V	l	$\geq V_n$	$\geq V_n$	$\geq V_n$
Quantité d'eau chaude fournie	V ₄₀	l	$\geq 1.5 V$	$\geq 1.7 V$	$\geq 1.75 V$
Durée de remise en température	t _{R,50}	h.min	≤ 7.00	≤ 7.00	≤ 7.00
Température de déclenchement en butée haute	θ _{Ai}	°C	≥ 60	≥ 60	≥ 60
Variation cyclique	Δθ	°C	≤ 12	≤ 12	≤ 8
Puissance installée	P _n	kW	≤ 6	≤ 6	≤ 6
Pertes statiques	Q _{pr}	KWh/24h	$\leq 0.939 + 0.0104 V$	$\leq 0.75 + 0.008 V$	$\leq 0.675 + 0.0072 V$
Charge thermique de la résistance		W/cm ²			≤ 6
Système anticorrosion permanent					OUI
Indicateur de chauffe					OUI

Figure 8 : extrait du cahier des charges LCIE 103-14/D.

Consommation d'entretien NFP

Pour l'estimation des pertes statiques ou consommation d'entretien (Q_{pr} en kWh/24h) un régulateur externe est utilisé pour piloter précisément la température du chauffe-eau à 65°C¹. La température ambiante est de 20°C. Cette mesure de la consommation électrique nécessaire au maintien en température du ballon s'effectue sur une période d'environ une semaine (NF EN 60379).

Constante de refroidissement

La constante de refroidissement (Cr ou K en Wh/24h/l/K) est déduite de la consommation d'entretien (Q_{pr}) par la formule suivante définie par le LCIE :

$$K = (Q_{pr} / (\text{Capacité ballon} * 0.45)) * 1000 * 0.95$$

Le facteur 0.95 traduisant l'effet du différentiel de température de régulation des appareils.

VERTICAUX MURAUX 50 À 200 L - Ø DE RACCORDEMENT HYDRAULIQUE : 3/4" (20/27)															
CAPACITÉ (litres)	TENSION (volts)	PUISSANCE (watts)	TEMPS DE CHAUFFE*	CAPACITÉ D'EAU CHAUDE À 40°C**	CONSTANTE DE REFOUILLISSEMENT	CONSOMMATION D'ENTRETIEN kWh / 24 h**	CLASSE ÉNERGÉTIQUE	DIMENSIONS (mm)						POIDS À VIDE (kg)	CODE
								Ø	H	A	B	Z	C		
50	230 mono	1200	2h46	-	0,33	0,79	C	505	575	370	-	172	530	23	053005
75	230 mono	1200	4h10	141 L	0,28	1,00	C	510	700	575	-	120	530	26	053007
100	230 mono	1200	5h46	192 L	0,28	1,33	C	510	865	750	-	115	530	30	051010
150	230 mono	1800	5h33	279 L	0,21	1,48	C	530	1165	1050	800	115	550	38	051015
200	230 mono	2200	5h17	382 L	0,18	1,73	C	530	1480	1050	800	430	550	46	051020

CE -  (60 L) -  (de 75 à 200 L) - IP 25

Figure 9 : Illustration d'informations issue de la norme NFP.

Le coefficient de perte ainsi calculé par les tests NFP est fourni par les fabricants **mais ne figure pas sur l'étiquette énergie, ce qui semble regrettable dans la mesure où il constitue le seul paramètre objectif permettant de qualifier l'efficacité énergétique d'un chauffe-eau à effet joule.**

¹ Déclenchement à 65°C et enclenchement 60°C

1.4 Etat de l’art de la filière

1.4.1 Principaux Fabricants

Le marché du chauffe-eau à effet joule réunit 3 principaux groupes se déclinant eux-mêmes en différentes « marques » :



Des « marques » à part entière sont également disponibles uniquement dans les Grandes Surface de Bricolage (GSB) dont certaines sont identifiées parmi les fabricants ci-dessus. En voici quelques unes, données à titre indicatif :

Leroy Merlin	Castorama	Mr Bricolage	Brico-Dépôt	Bricomarché	Bricorama
Equation (Atlantic)	Régent (Ariston)	Sauter	Acapulco	Olympic	Olympic
Sauter	Basic (Ariston)	Olympic	Ariston	Sauter	Sauter
Waterslim	Blyss (Ariston)			Addax	
Welcome	Simat (Ariston)				

1.4.2 Principaux produits du marché

Nous avons recensé 268 chauffe-eaux à effet joule de 40 à 500L chez les principaux fabricants (Ariston, Atlantic, Chaffoteaux, DeDietrich, Fleck, Sauter Thermor) et constitué une base de données contenant l’ensemble des caractéristiques (ERP, NFP) disponibles sur ces produits. Quelques résultats statistiques sont présentés ici, sur 249 chauffe-eaux de 75 à 300L.

Classe énergétique (ERP) (Figure 10)

Plus de 90% des chauffe-eaux recensés sont de catégorie C. Les classes inférieures à C disparaissent peu à peu du marché.

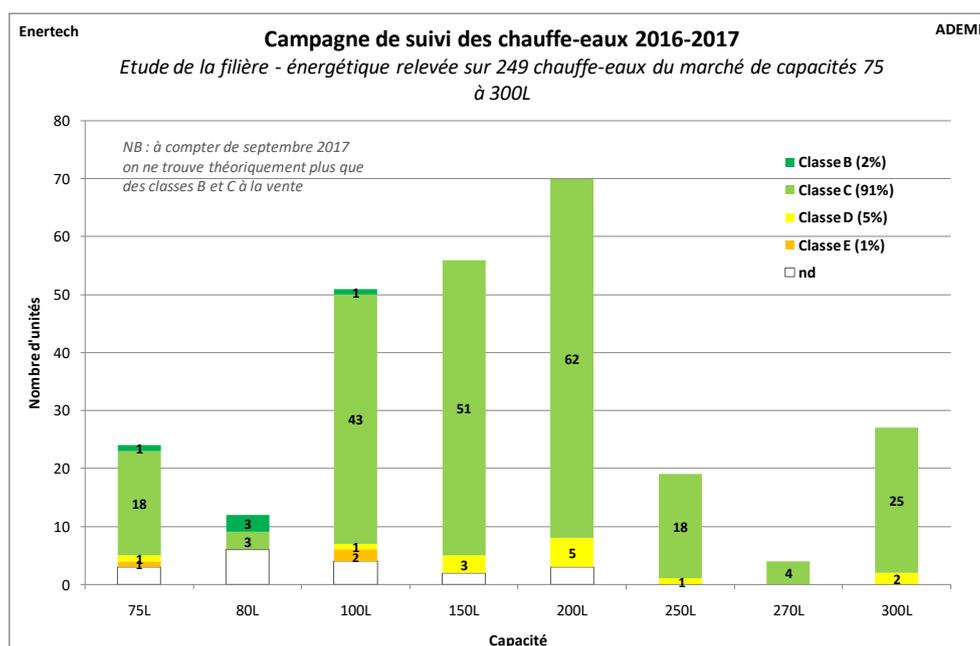


Figure 10 : répartition des classes énergétiques des chauffe-eaux du marché en fonction des capacités.

Catégorie (NF Performance) (Figure 11)

Près des deux tiers des chauffe-eaux recensés sont de classe NFP 2 étoiles. La part des classes 2 étoiles est relativement invariante selon les capacités. Les classes NFP 1 étoile disparaissent peu à peu du marché. Les classes 3 étoiles constituent un petit tiers du parc.

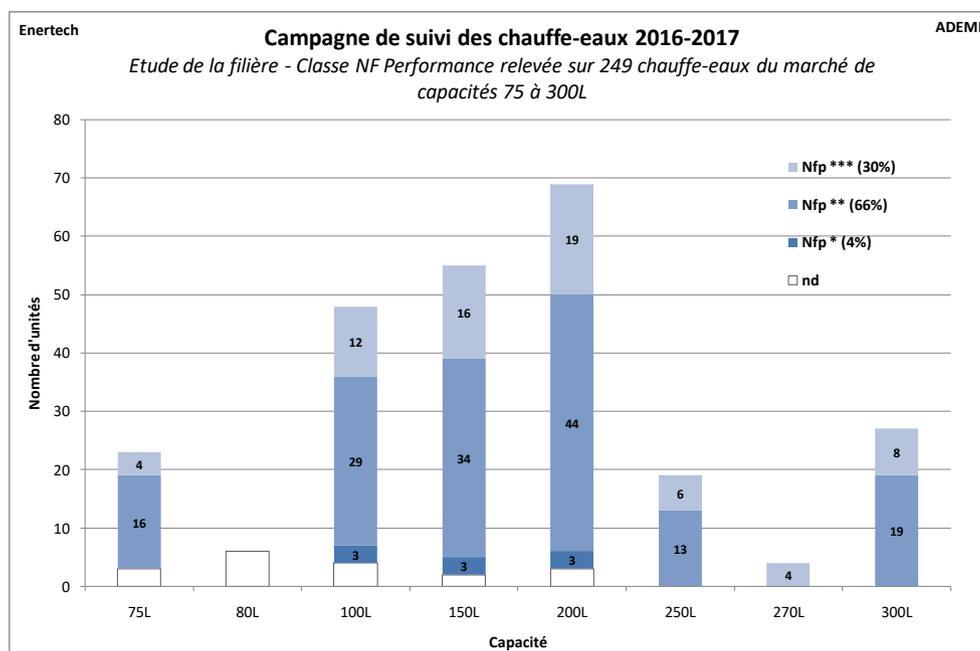


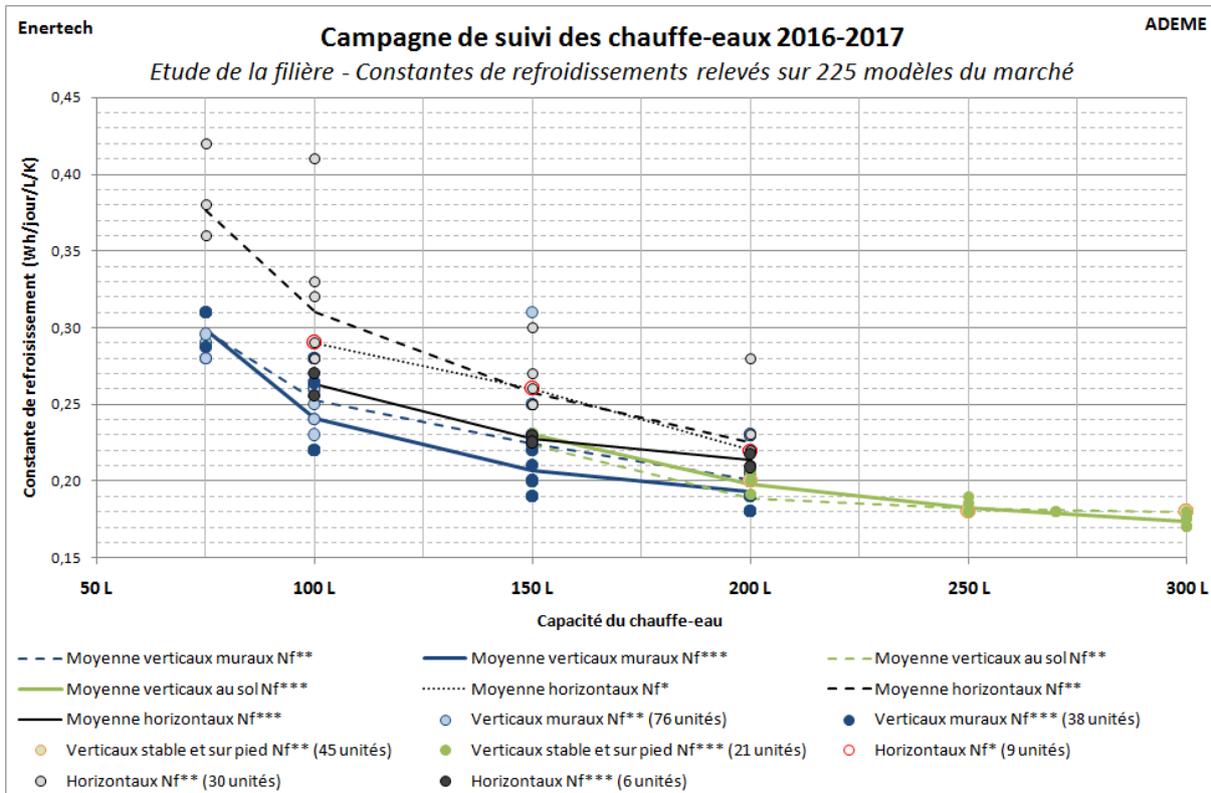
Figure 11 : répartition des catégories NF performance en fonction des capacités

Constante de refroidissement (NF Performance) (Figure 12)

Nous constatons peu de différence entre les Cr des chauffe-eaux de type « vertical mural » et de type « vertical sur socle ».

En revanche, le Cr est dégradé pour les modèles de type « horizontal » : de 13% pour 200L à 26% pour 75L par rapport aux modèles verticaux.

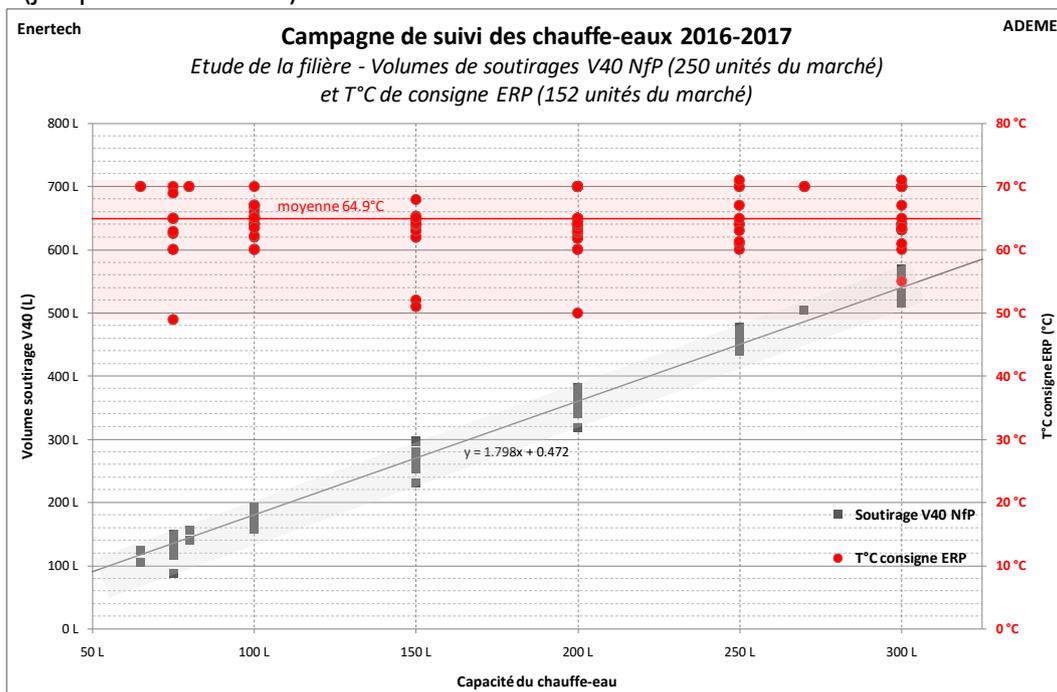
Pour une capacité (litres) et un type donnés (vertical, horizontal), nous constatons peu de variation des Cr entre les modèles 2 étoiles et les modèles 3 étoiles. Dans les faits les épaisseurs d'isolation sont toutes très proche.



Température de stockage et V40 (NF Performance et ERP) (Figure 13)

Les températures de stockage ERP sont en moyenne de 65°C pendant les tests, avec un écart important d’un modèle à l’autre (50 à 70°C) qui est fonction du thermostat.

Le V40 correspond en moyenne à 1,8 fois la capacité du ballon, avec une variabilité de +/- 70L, et ce quelle que soit la capacité du ballon. Pour les chauffe-eaux de faibles capacités, 75L par exemple, nous constatons donc une variation importante du V40 d’un modèle à l’autre (jusqu’à 90% d’écart).



Heure Pleine/Heure Creuse ou tarification de base (ERP) (Figure 14)

Au sens de l'étiquette ERP, nous pouvons constater qu'à partir d'une capacité de 150L la majorité des chauffe-eaux sont qualifiés en heure pleine/heure creuse. C'est par ailleurs la norme pour la quasi-totalité des chauffe-eaux de 250L et 300L.

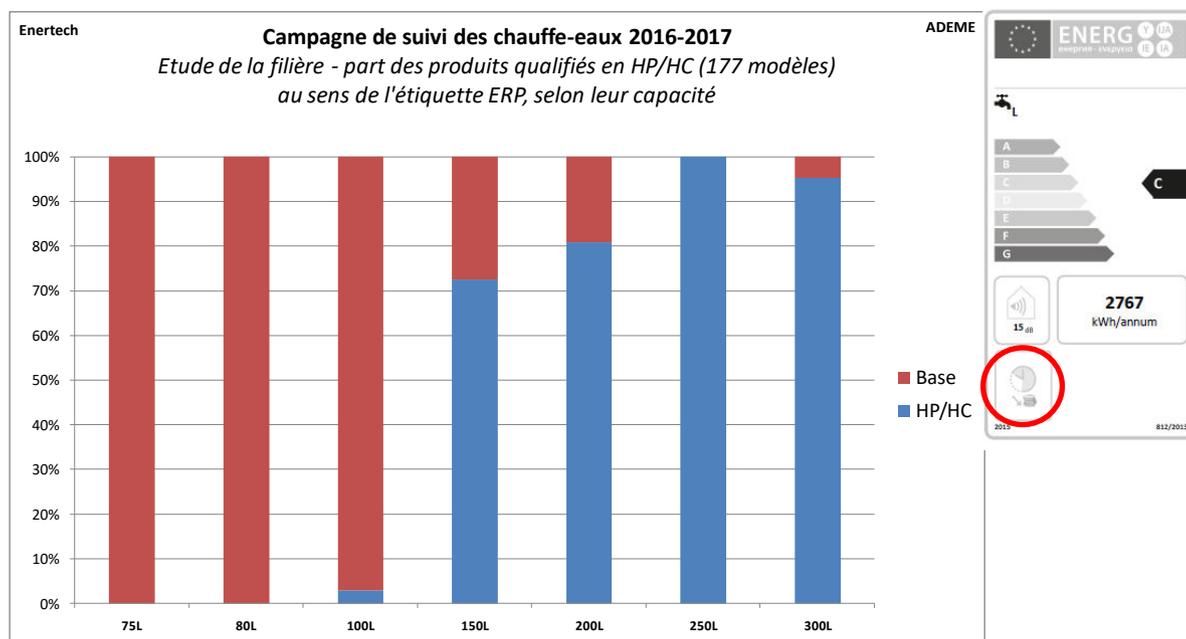


Figure 14 : part des chauffe-eaux qualifiés en heure pleine/heure creuse au sens de l'ERP, en fonction de leur capacité.

Il faut noter que la certification d'un chauffe-eau en heure pleine/heure creuse diffère de la qualification en tarif de base par le fait que maximum « deux recharges » du chauffe-eau sont possibles par 24h (l'heure creuse durant 8h), tandis qu'un chauffe-eau en tarif de base pourra théoriquement être 3 fois plus sollicité. Ce point est donc déterminant sur la lisibilité de l'étiquette énergie (Cf. paragraphe suivant).

Consommations annualisées ERP (Figure 15)

Nous rappelons ici que les consommations annuelles au sens de l'ERP sont quasi-binaires puisque seulement deux profils de soutirages sont utilisés (M ou L). Les chauffe-eaux déclarés profil M ont une consommation annuelle moyenne de 1450kWh/an, tandis que ceux déclarés profils L, ont une consommation moyenne de 2700kWh/an.

L'aptitude d'un chauffe-eau à satisfaire le profil L n'est pas toujours vérifiée, et parfois de manière infime, ce qui a des conséquences très grandes sur la consommation affichée. Ceci conduit à des absurdités sur la consommation affichée :

- D'après l'étiquette s, les chauffe-eaux horizontaux de 100L et de 200L consomment deux fois moins d'électricité que les chauffe-eaux verticaux de même capacité (cf. « cas n°3 » et « cas n°6 » du de la Figure 15).
- A l'inverse, les chauffe-eaux de 150L horizontaux (cas n°4) consomment deux fois plus d'électricité que les chauffe-eaux verticaux de même capacité.
- Selon les données affichées sur l'étiquette ERP, il n'existe pas de différences entre un chauffe-eau de 300L et un chauffe-eau de 100L :
 - même profil de soutirage (profil L) ;
 - même consommation annualisée (environ 2700kWh/an) ;

- même classe énergétique (classe C).

La seule différence sur l'étiquette, et qui rend le 300L plus attractif aux yeux du consommateur, est le fait que le 300L puisse fonctionner en heure creuse, fonctionnement présenté sur l'étiquette comme plus économique financièrement. Pourtant, l'écart entre ces deux chauffe-eaux est en moyenne de 400 kWh/an de pertes statiques (données NF Performance). L'utilisateur en tarif de base fera-t-il le bon choix ?

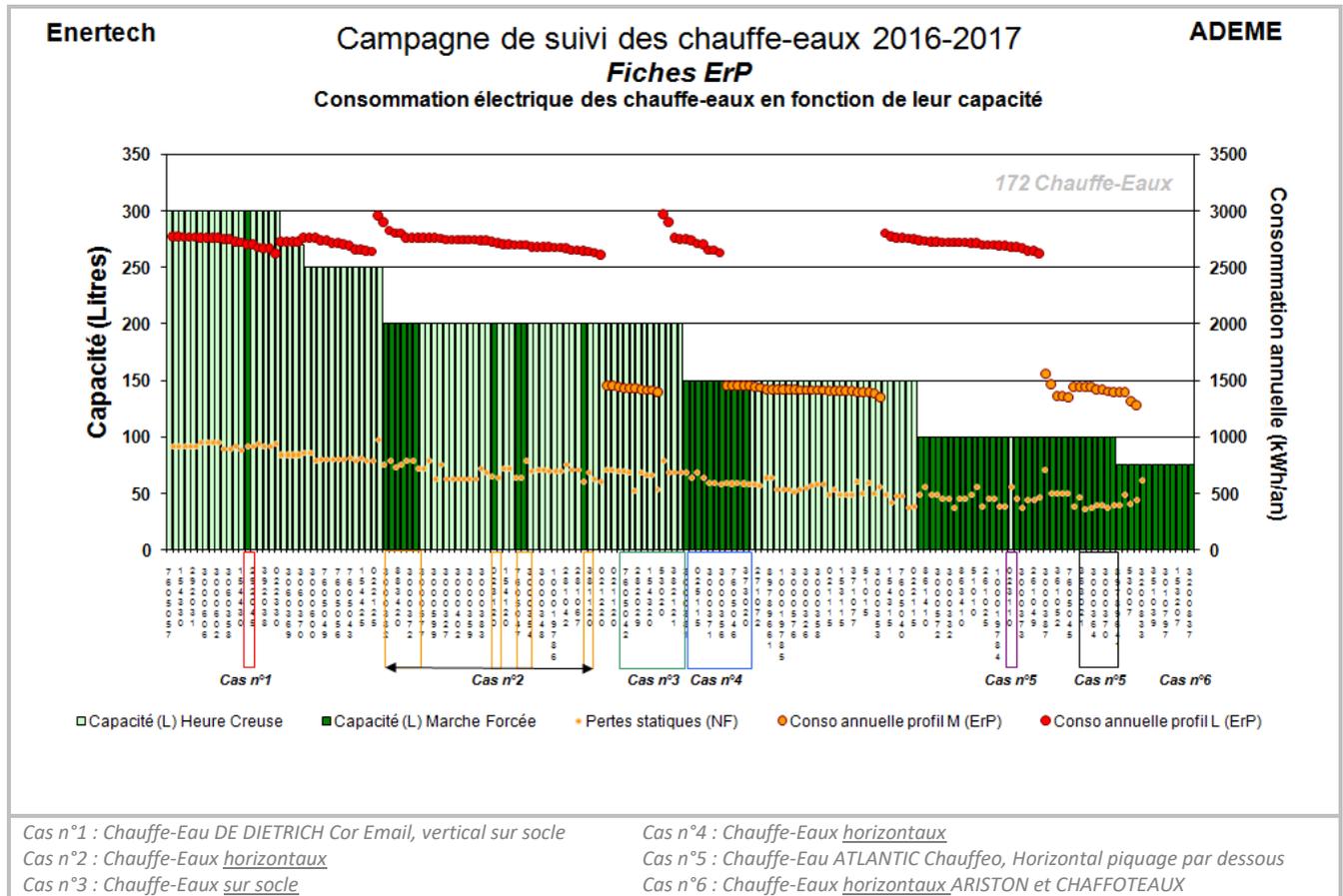


Figure 15 : évolution des consommations électrique annuelle (ERP) en fonction des capacités.

Fonction SMART

Nous avons identifié 8 modèles de chauffe-eaux équipés de la fonction SMART (auto-apprentissage des profils de puisage de l'utilisateur permettant de minimiser la température de stockage dans une certaine plage, généralement 55-65°C). Ils sont présentés en Figure 16.



Fabricant	Modèle	Type	Capacité (L)	Classe ErP
ARSITON	PRO EVO	PRO EVO 100	100	B
ARSITON	PRO EVO	PRO EVO 80	75	B
ARSITON	VELIS EVO	COMPACT plat	65	B
ARSITON	VELIS EVO	COMPACT plat	45	B
ARSITON	VELIS EVO	COMPACT plat	45	B
ATLANTIC	VIZENGO	Verticaux sur socle	300	C
ATLANTIC	VIZENGO	Verticaux sur socle	250	C
ATLANTIC	VIZENGO	Verticaux sur socle	200	C
ATLANTIC	VIZENGO	Verticaux muraux	200	C
ATLANTIC	VIZENGO	Verticaux muraux	150	C
ATLANTIC	INGENIO	COMPACT plat	100	C
ATLANTIC	INGENIO	COMPACT plat	80	B
ATLANTIC	INGENIO	COMPACT plat	50	B
ATLANTIC	LINEO	COMPACT plat	40	B
ATLANTIC	LINEO	COMPACT plat	65	B
ATLANTIC	LINEO	COMPACT plat	80	C
SAUTER	PRODIGO	Verticaux sur socle	300	C
SAUTER	PRODIGO	Verticaux sur socle	200	C
SAUTER	PRODIGO	Verticaux muraux	200	C
SAUTER	PRODIGO	Verticaux muraux	150	C
SAUTER	GUELMA	COMPACT plat	80	C
SAUTER	GUELMA	COMPACT plat	65	B
THERMOR	MALICIO	COMPACT plat	65	B
THERMOR	MALICIO	COMPACT plat	80	C
THERMOR	MALICIO	COMPACT plat	50	B

Figure 16 : Chauffe-eaux dotés d’une fonction smart identifiés sur le marché.

NB : Seuls les chauffe-eaux smart et de capacité inférieure ou égale à 75L parviennent à atteindre la classe B de l’étiquette énergie.

2 METROLOGIE ET ECHANTILLON

2.1 Métrologie

2.1.1 Grandeurs mesurées

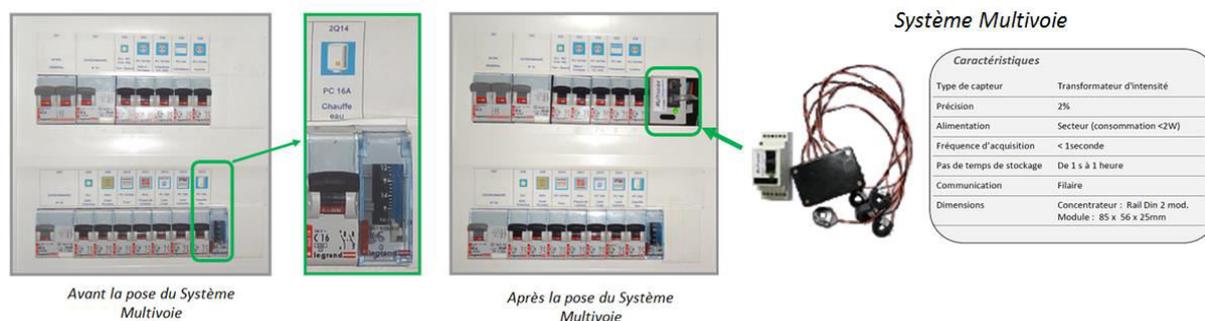
Afin de mesurer les performances en conditions réelles des chauffe-eaux électriques, nous avons suivi **au pas de temps de la minute** les paramètres suivants :

- ✓ Consommation électrique de l'appareil,
- ✓ Volume d'eau puisée,
- ✓ Energie thermique puisée,
- ✓ Température de l'eau en entrée du chauffe-eau,
- ✓ Température de l'eau en sortie du chauffe-eau.

Nous avons également suivi au pas de temps de 10 minutes la température ambiante du local dans lequel est situé le chauffe-eau.

2.1.2 Consommation électrique de la résistance :

Les consommations électriques des chauffe-eaux ont été suivies à partir d'une pince ampèremétrique située au niveau du disjoncteur dédié dans le tableau électrique.



Cette pince ampèremétrique a été raccordée à un concentrateur de données. Ils composent à eux deux le système Multivoie.

2.1.3 Compteur de chaleur individuel

Afin de mesurer le volume d'eau chaude puisée et l'énergie thermique produite par le chauffe-eau, nous avons fait installer par une entreprise de plomberie un compteur de chaleur sur chaque chauffe-eau.

Ce compteur Multical 402 de chez Kamstrup nous a fourni les informations « énergie puisée » et « volume puisé » sous forme d'impulsions, à raison de :

- 1 Pulse pour 100Wh (pour l'énergie)
- 1 Pulse pour 1 litre (pour le volume)

La somme des pulses émis par les compteurs a été enregistrée au pas de temps de la minute par nos enregistreurs d'impulsions et de températures qui communiquent en permanence les informations au module radio du système Multivoie.

Ce même mesureur est également doté de deux sondes de températures que nous avons disposées sur l'arrivée d'eau froide et le départ d'eau chaude de l'installation (Figure 17).

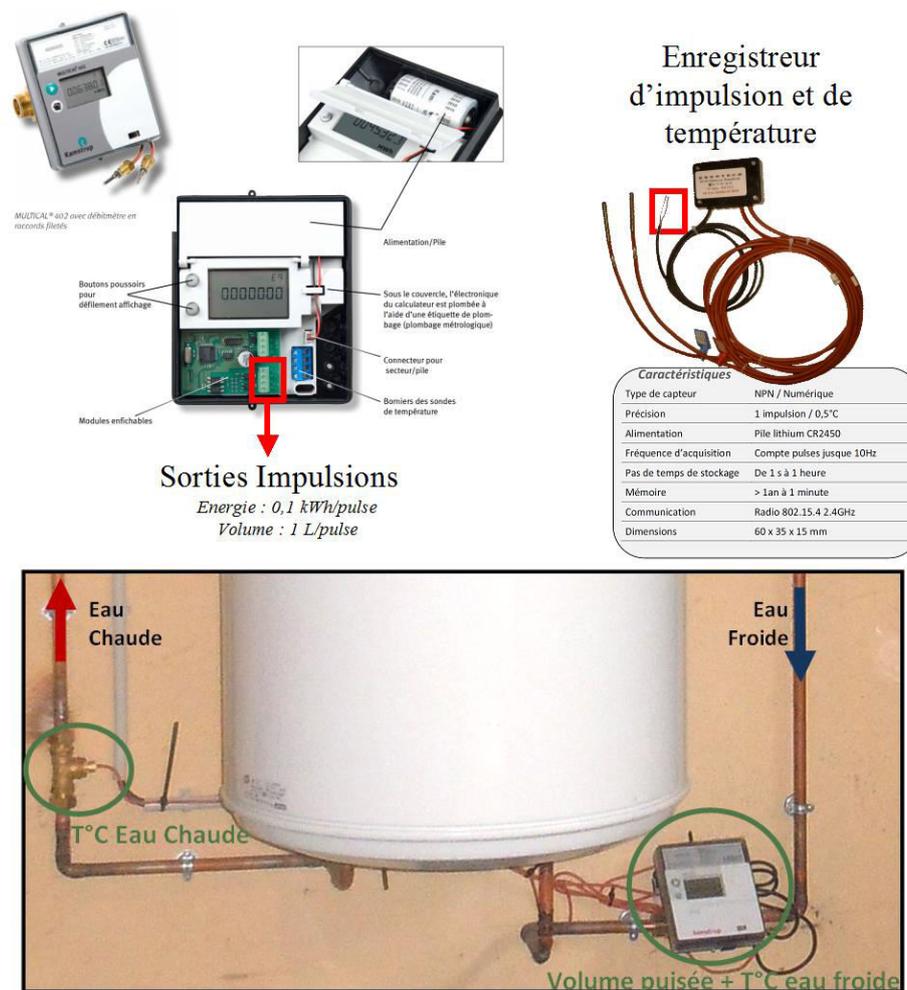


Figure 17 : Mise en œuvre du compteur de chaleur Multical 402 de Kamstrup

Nota : pour cette campagne de mesure, nous avons utilisé deux technologies d'enregistreurs d'impulsion et de température :

- *Les deux tiers des enregistreurs utilisés sont ceux présentés ci-dessus (module radio)*
- *L'autre tiers utilisé fonctionne en filaire (connecté en RJ45 au concentrateur)*

Pour ces enregistreurs filaires, nous nous sommes aperçu en fin de campagne que la somme des pulses enregistrés ne correspondaient pas rigoureusement à la différence d'index « énergie » et « volume » des compteurs suivis.

Ces enregistreurs filaires ont pourtant déjà été utilisés par nos soins et nous ont apportés entière satisfaction. Les investigations menées en interne et auprès du fabricant de ce matériel n'ont permis de déceler aucun dysfonctionnement.

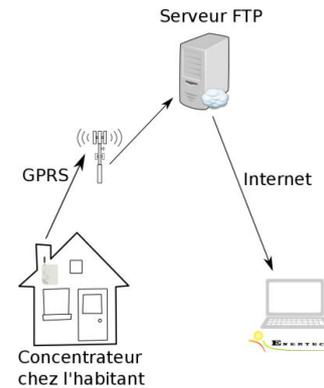
Même si certains de ces enregistreurs présentaient des écarts de l'ordre de 10% entre « somme des pulses enregistrés » et « différence d'index », nous avons préféré écarter les informations « énergie » et « volume » de ces capteurs pour les 7 logements concernés, et ne que les différences d'index. Certains graphiques du paragraphe 3.4 « Etude des puisages » ne comportent donc que 13 logements au lieu de 20.

Ce dysfonctionnement est heureusement sans conséquence sur les principales conclusions de l'étude.

2.1.4 Communication

Sur ce même concentrateur de données sont également raccordés pour la fonction communicante :

- ✓ un module radio réceptionnant les données mesurées par le module température/impulsions ;
- ✓ un module GPRS qui permet le renvoi de l'ensemble des données mesurées sur un serveur FTP (interne à ENERTECH) via le réseau de téléphonie mobile.



2.1.5 Procédure de détermination des températures ECS stockée et EF.

Comme expliqué précédemment, les températures « eau chaude stockée » et « eau froide » ont été mesurées à l'aide de sondes de contact sur les tuyaux d'entrée d'eau froide et de sortie chauffe-eau.

Ces températures évoluent dans le temps et, lorsqu'il n'y a pas de puisage, sont proches de la température ambiante du local où se trouve le chauffe-eau.

Le graphique suivant (Figure 18) illustre le comportement des sondes en fonction des puisages :

- lorsqu'il n'y a pas de puisage, les températures d'eau chaude et d'eau froide se confondent, en tendant vers la température ambiante du local (début et fin du graphe) ;
- lorsqu'il y a un puisage de plus de 2 minutes, la température d'ECS augmente pour atteindre ce que nous considérons comme étant la température de stockage, pour ensuite diminuer doucement vers la valeur de la température ambiante. Pour l'eau froide, sa température diminue puis augmente à nouveau doucement pour tendre vers la température ambiante ;
- lorsqu'il y a un puisage d'une durée inférieure à 2 minutes, les sondes de température d'eau chaude et d'eau froide n'atteignent pas les valeurs observées lors de puisages de 2 minutes et plus.

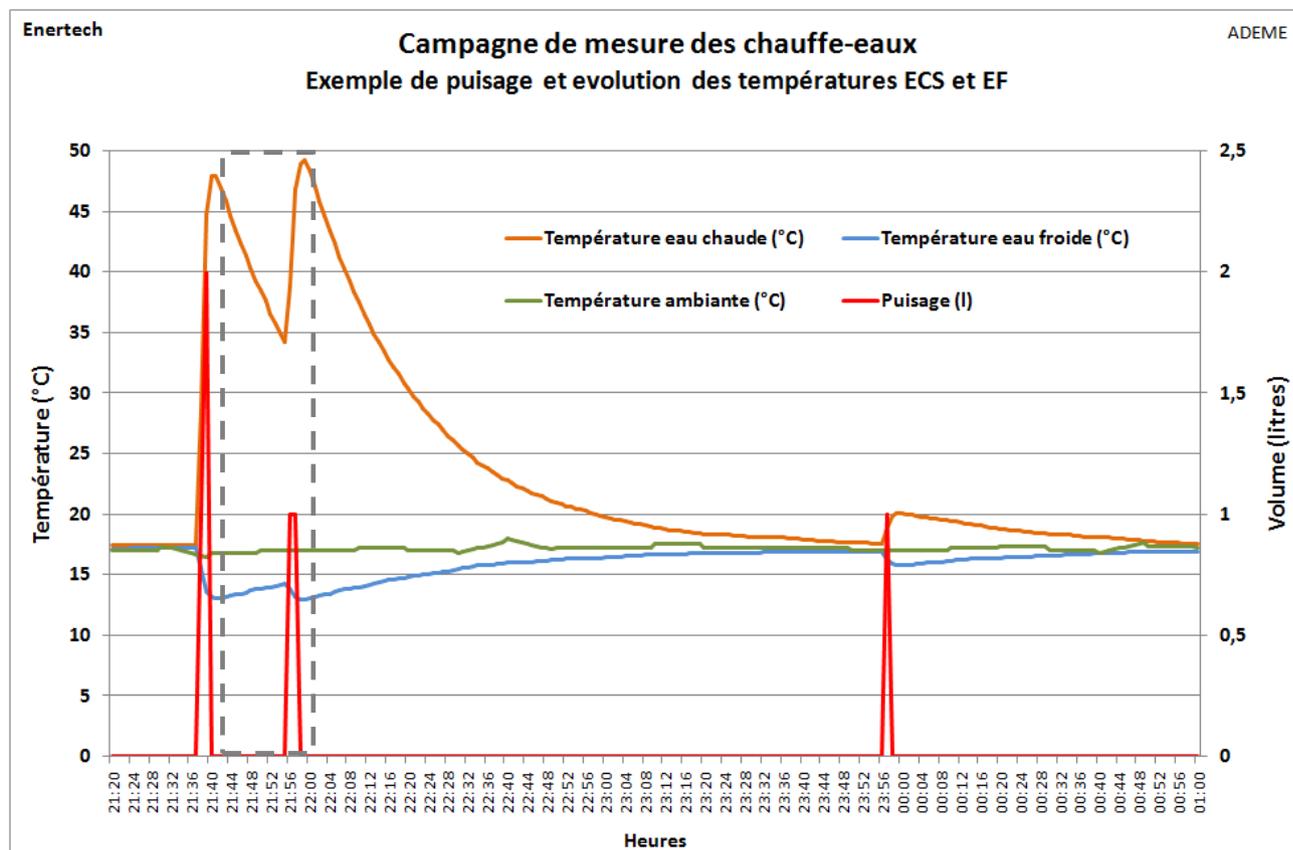


Figure 18 : évolution des températures en fonction des puisages (pas de temps 1 min.)

Pour obtenir la température d’eau chaude et d’eau froide, nous avons utilisé la procédure suivante, illustrée dans le Tableau 2 :

- détection d’un cycle de puisage supérieur à 2 minutes ;
- extraction des températures de stockage et d’eau froide, du début du puisage jusqu’à « début puisage +5 min. » ;
- sélection de la température max. pour « T°C Eau Chaude » et de la température min. pour « T°C Eau Froide ».

Date	Heure	Puisage (L)	T°C ambiante (°C)	T°C Eau Chaude	T°C Eau froide (°C)
25/03/2017	21:30	0	17,4	17,5	17,2
25/03/2017	21:31	0	17,3	17,5	17,3
25/03/2017	21:32	0	17,2	17,5	17,3
25/03/2017	21:33	0	17,1	17,5	17,3
25/03/2017	21:34	0	17	17,5	17,3
25/03/2017	21:35	0	16,9	17,5	17,3
25/03/2017	21:36	0	16,8	17,5	17,2
25/03/2017	21:37	0	16,7	17,5	17,2
25/03/2017	21:38	1	16,6	28,7	15,5
25/03/2017	21:39	2	16,5	44,8	13,6
25/03/2017	21:40	0	16,8	48	13,2
25/03/2017	21:41	0	16,8	47,9	13,1
25/03/2017	21:42	0	16,8	47	13,2
25/03/2017	21:43	0	16,8	45,9	13,2
25/03/2017	21:44	0	16,8	44,7	13,3
25/03/2017	21:45	0	16,8	43,5	13,4
25/03/2017	21:46	0	16,8	42,4	13,4
25/03/2017	21:47	0	16,8	41,4	13,5
25/03/2017	21:48	0	16,8	40,4	13,7
25/03/2017	21:49	0	16,8	39,3	13,8
25/03/2017	21:50	0	17	38,5	13,9

Tableau 2 : Données issues de la zone en pointillée du graphique en Figure 18.

Cette méthode nous a permis d'extraire, pour l'ensemble des 20 chauffe-eaux suivis, près de 17 000 cycles de puisage supérieurs à 2 minutes (contre 48 000 cycles de puisages mesurés, supérieurs à 1 min). Pour chacun de ces 17 000 cycles nous avons ainsi pu extraire une durée de puisage, un volume puisé et des températures valables d' « Eau Chaude Stockage » et d' « Eau Froide » à appliquer sur ce puisage (Tableau 3).

Logement	Date	Heure	Durée (min.)	Volume (litres)	T°C ECS	T°C EF	T°C ambiance
Log1	25/03/2017	10:29	6	14	50,1	12,8	17,0
Log1	25/03/2017	10:37	3	7	49,9	12,8	17,5
Log1	25/03/2017	11:31	4	4	50,2	13,0	17,1
Log1	25/03/2017	11:48	16	41	52,0	12,7	18,2
Log1	25/03/2017	12:16	2	3	49,6	13,0	17,6
Log1	25/03/2017	21:38	2	3	48,0	13,1	16,6
Log1	25/03/2017	21:56	2	2	49,3	13,0	17,0
Log1	26/03/2017	10:05	8	19	49,9	12,7	16,6
Log1	26/03/2017	10:14	3	7	49,4	12,7	16,8
Log1	26/03/2017	13:49	6	9	50,9	12,7	16,7

Tableau 3 : Exemple de post-processing des puisages avec les températures EF, ECS et ambiance associées.

2.1.6 Questionnaire et relevés sur site

Un questionnaire a été soumis aux occupants pour mieux connaître les particularités de chaque installation (occupation du logement, nombre de douches et/ou de bains par semaine, temps passé sous la douche, utilisation de l'eau chaude pour la vaisselle, etc.).

Nous avons également relevé la position de réglage des thermostats, mesuré les débits de chaque points de puisages et calculé un métré des linéaires de distribution dans chaque logement.

QUESTIONNAIRE CHAUFFE EAU Date

Ancien TM Nouveau TM

Index compteur électrique

Index compteur thermique

Contacteur jour nuit (O / N) Position (auto / marche forcée)

Nom prénom

Adresse

Maison/appartement

Surface

Nombre de pièces

Date de construction

Locataire privée / Locataire social / Propriétaire

Si locataire, charge énergétique en sus ou compris dans le loyer ?

INFORMATION SUR LES OCCUPANTS

Nombre occupantadultes ;enfants (âges :))

Professions

Température de confort douche

Ressenti/avis sur l'ECS

occupation et tranche d'âge

SEMAINE		
0-18 ans	18-60	>60
Nuit		
Matinée		
Midi		
Après-midi		
Soirée		

Nuit : 21h-7h
Matinée : 7h-11h30
Midi : 11h30-13h30
Après-midi : 13h30-17h
Soirée : 17h-21h

WEEK END		
0-18 ans	18-60	>60
Nuit		
Matinée		
Midi		
Après-midi		
Soirée		

Nuit : 21h-7h
Matinée : 7h-11h30
Midi : 11h30-13h30
Après-midi : 13h30-17h
Soirée : 17h-21h

Occupation sur l'année

Mois	Janvier	Février	Mars
% occupation			
Mois	Juillet	Août	Septembre
% occupation			
Mois	Avril	Mai	Jun
% occupation			
Mois	Octobre	Novembre	Décembre
% occupation			

7h le mois = 100%
4 semaines = 90%
3 semaines = 70%
2 semaines = 45%

Lave vaisselle (o / n)	A la main au fil de l'eau (o / n)

Frequence douche et bain

	Nbre de douche			Nbre de bain	
	Par jour	Par semaine	Durée moy.	Par jour	Par semaine
Personne 1					
Personne 2					
Personne 3					
Personne 4					

PUISAGES

Nombre de points de puisages

Evier
Douche seule
Baignoire-douche

Débits aux points de puisages

	débit	Robinet (mitigeur, thermostatisé, mélangeur)	Reducteur débit (oui/non)
Evier/lavabo cuisine			
Evier/lavabo salle de bain			
Evier/lavabo			
Evier/lavabo			
Douche 1			
Douche 2			
Baignoir 1			
Baignoir 2			
Autre			

Distance puisage /production

Plan distribution/production (longueur et diamètre canalisation, calorifugeage, volume chauffe/eau chauffée...)

Figure 19 : questionnaire soumis aux logements participants et relevés sur site.

2.2 Description de l'échantillon :

2.2.1 Logements et occupants

Les 20 logements ayant participé à cette campagne de mesure se situent dans le département de la Drôme, dans un rayon de 50km. Ils se trouvent tous dans des zones bénéficiant d'une eau « moyennement dure » (entre 20 et 30°F) selon l'ARS (Figure 21). Deux logements sur les 20 sont tout de même équipés d'un adoucisseur.

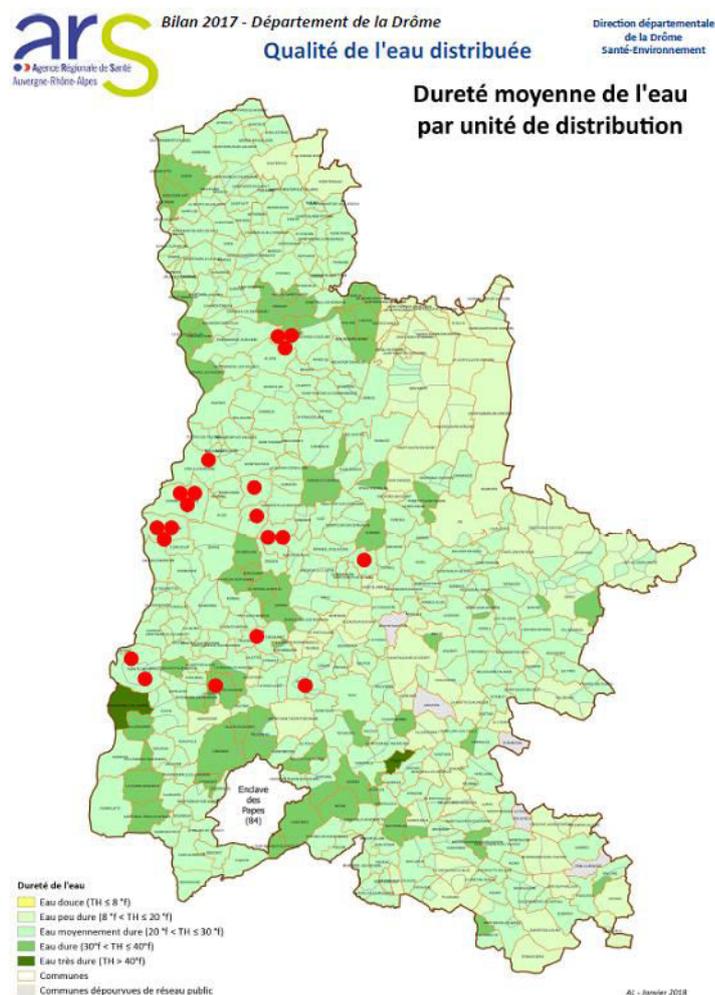


Figure 20 : Localisation des logements instrumentés et dureté de l'eau (carte ARS)

La surface moyenne des logements est de 100m², avec en moyenne 2.4 occupants par logement (Figure 21 à Figure 23). L'échantillon compte :

- 1/3 d'appartement et 2/3 de maisons individuelles ;
- 15 propriétaires et 5 locataires sociaux ;
- 48 occupants.

Concernant les options tarifaires des abonnements électriques, les deux tiers des logements ont un abonnement « heure pleine/heure creuse » (Figure 24).

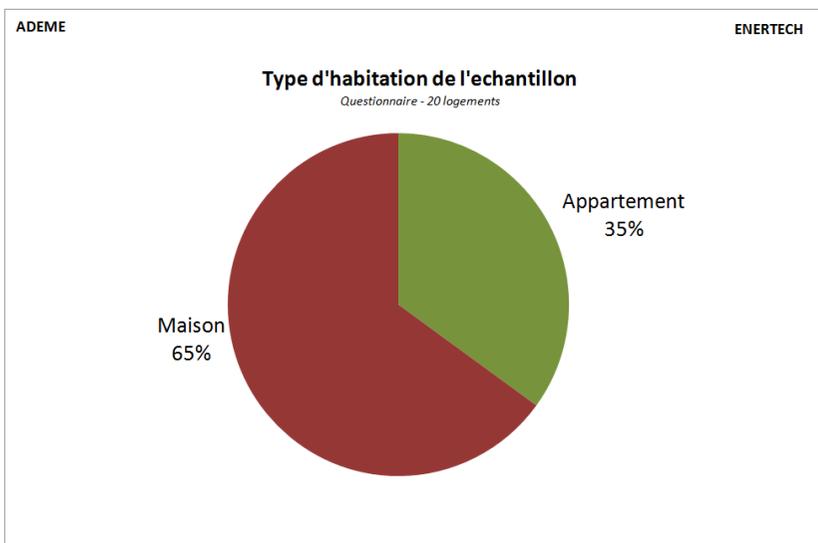


Figure 21 : types d'habitats de l'échantillon.

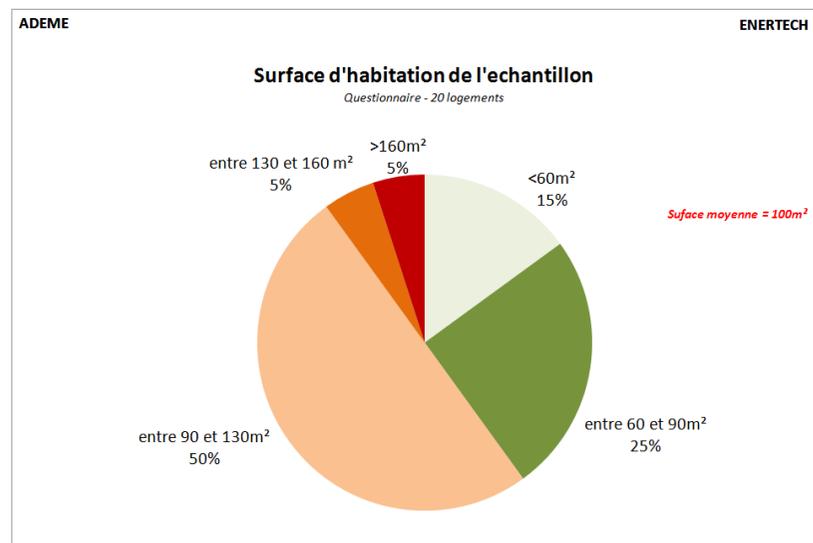


Figure 22 : surfaces d'habitation de l'échantillon.

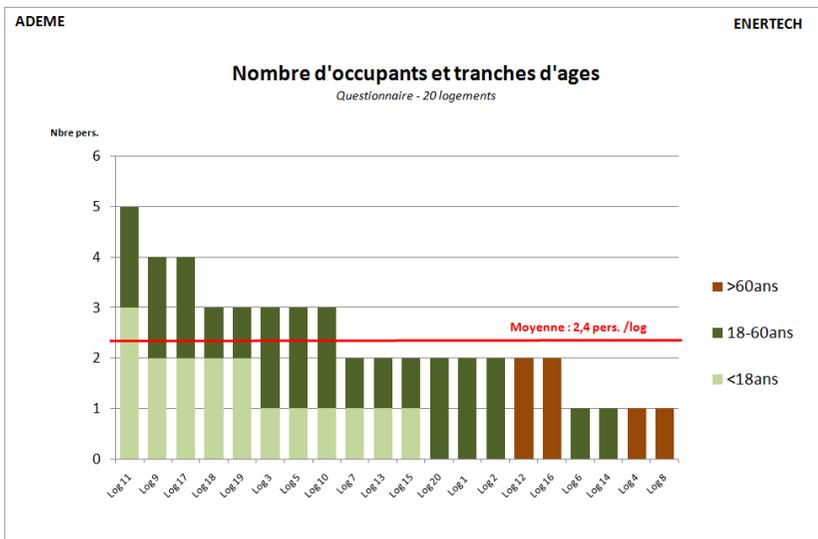


Figure 23 : nombre d'occupants et tranches d'âge de l'échantillon.

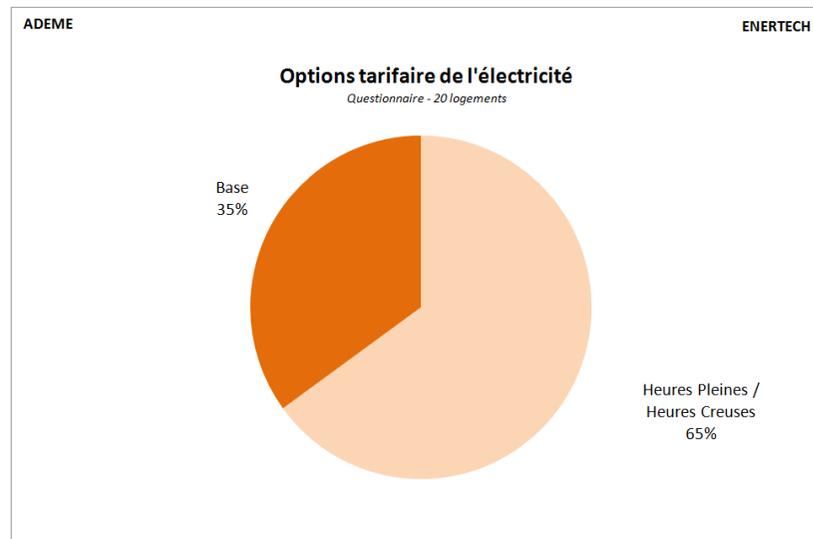


Figure 24 : options tarifaires de l'échantillon.

Capacité des chauffe-eaux (Figure 25, Figure 26 et Figure 27)

La capacité moyenne des chauffe-eaux observée chez les 20 participants est de 92 litres par personne (min 40L/pers, max 200L/pers).

Par rapport aux recommandations de dimensionnement de la profession, nos participants ont des chauffe-eaux surdimensionnés (+30% par rapport aux ratios Promotelec et +60% par rapport aux ratios Atlantic).

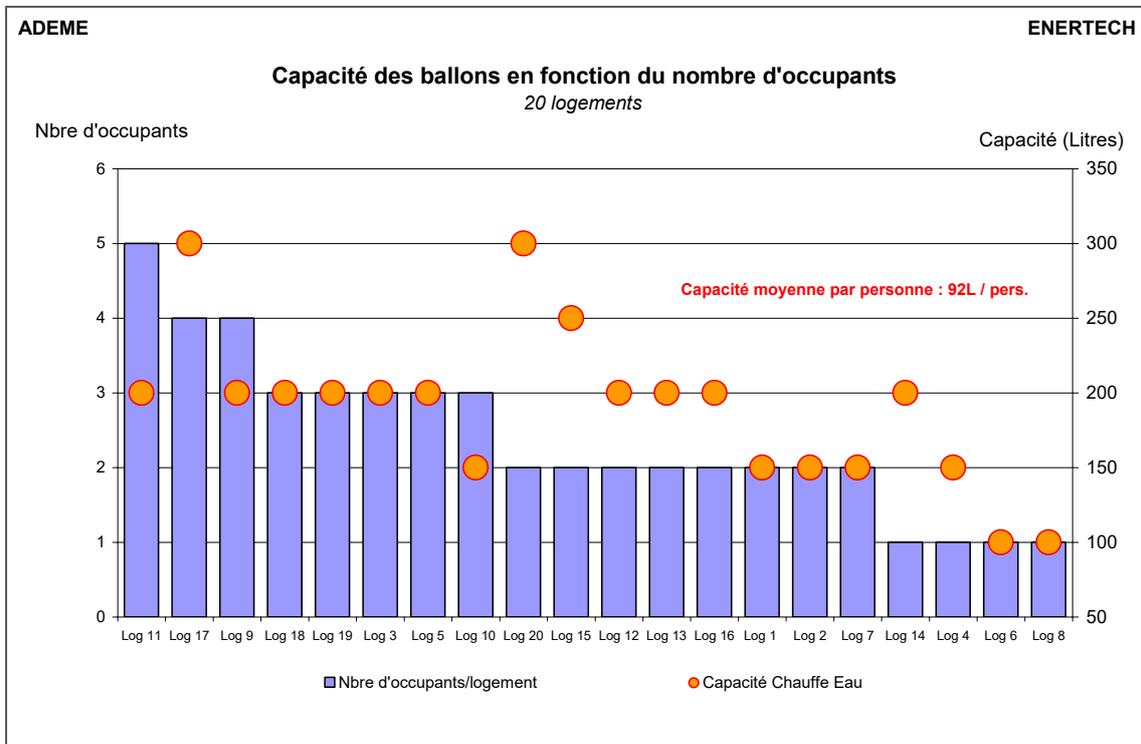


Figure 25 : répartition des capacités des ballons en fonction du nombre d'occupants.

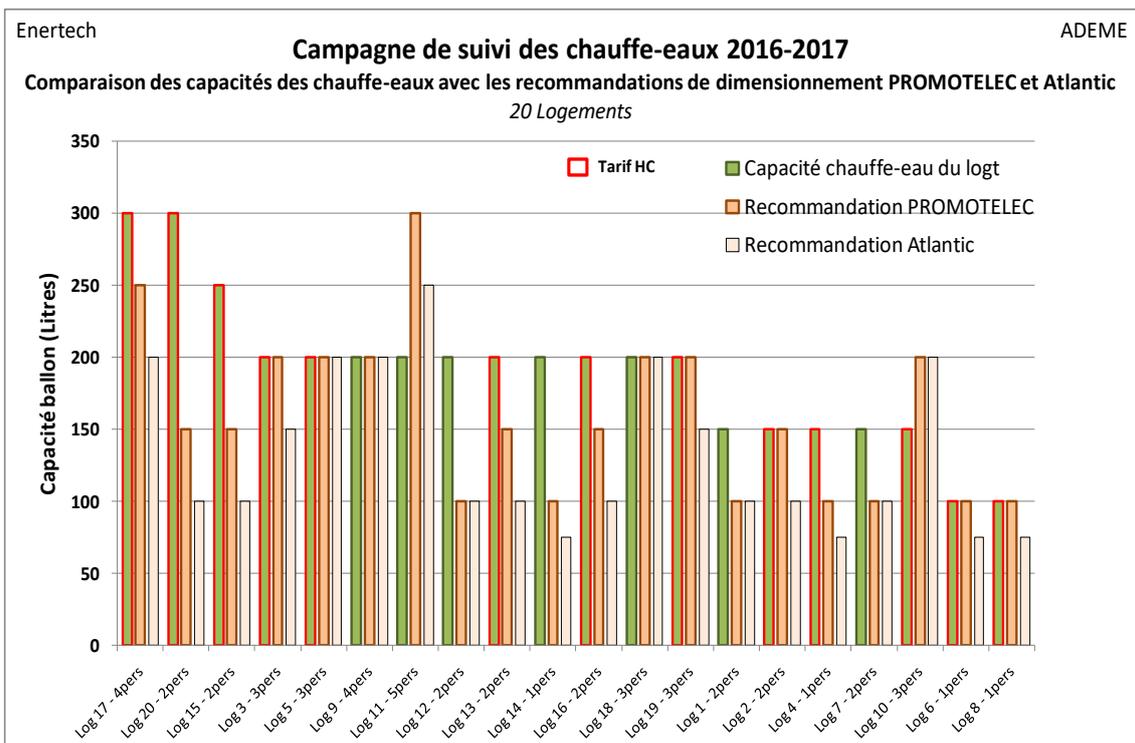


Figure 26 : comparaison des capacités des ballons par rapport aux préconisations PROMOTELEC et Atlantic.

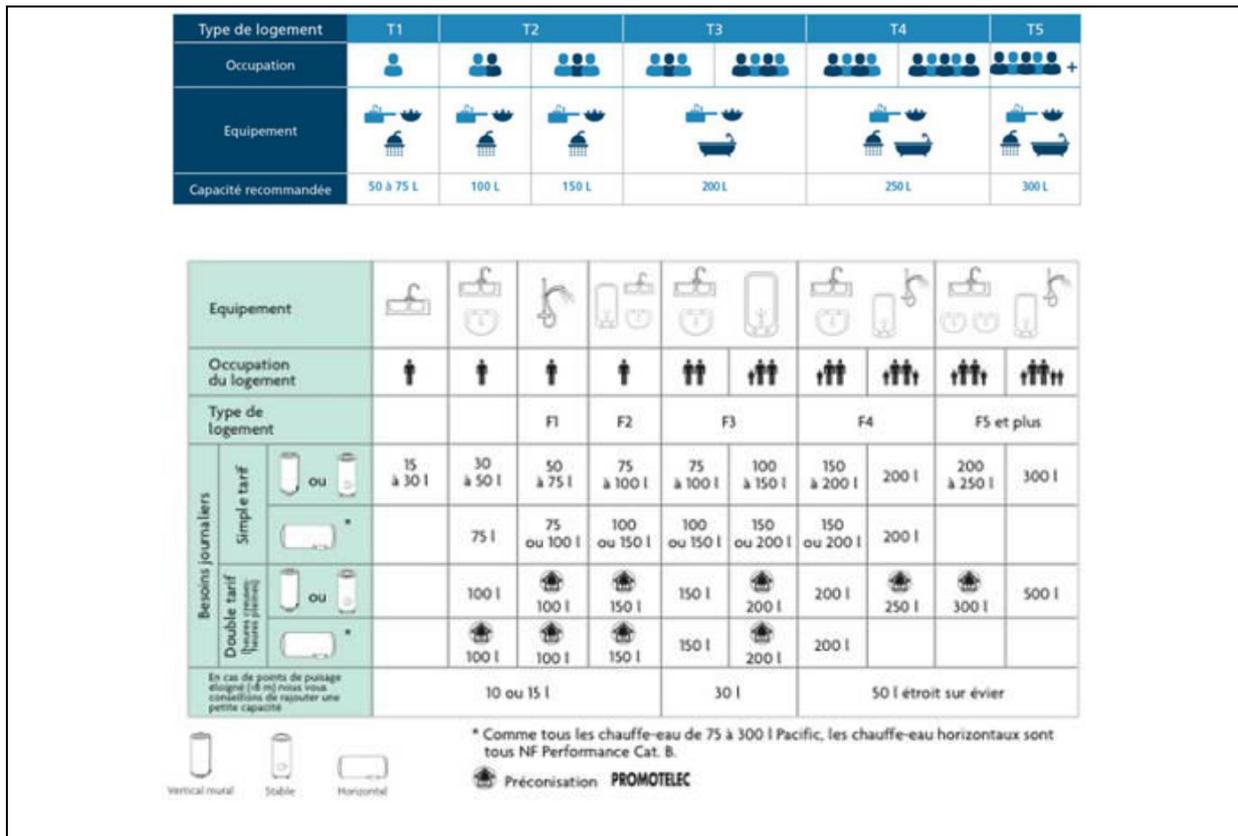


Figure 27 : recommandations de choix des capacités de chauffe-eaux (Atlantic en haut, PROMOTELEC en bas).

Points de puisages (Figure 28)

Nous avons relevé 3 à 6 points de puisages par logements (moyenne de 3.75) avec 9 logements sur 20 équipés d’une baignoire.

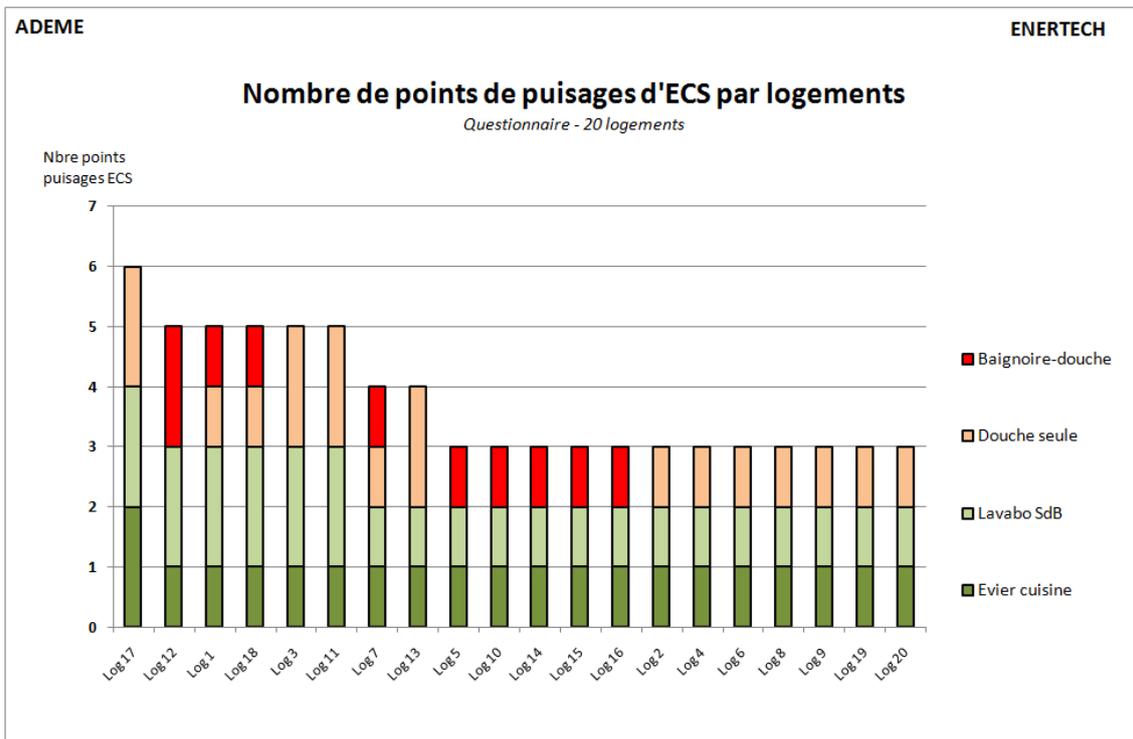


Figure 28 : répartition du nombre de points de puisages par logement.

La majorité des robinets relevés sont de type mitigeur, y compris aux points douche/baignoire (Figure 29).

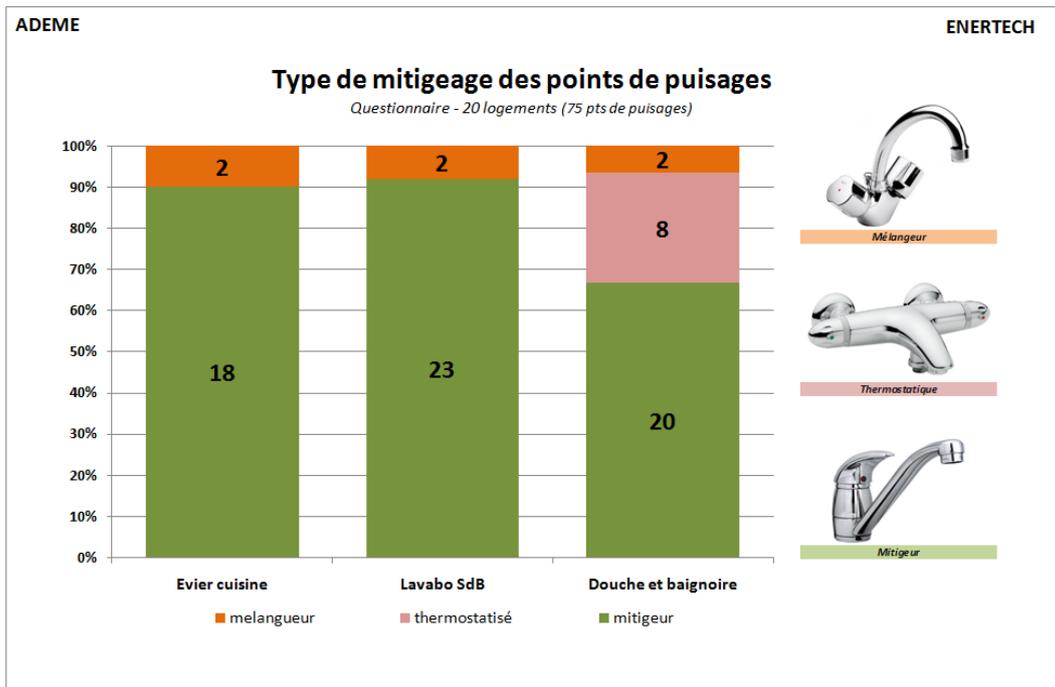


Figure 29 : typologies de mitigeurs rencontrés par point de puisage.

Comportement des usagers (Figure 30 et Figure 31)

D’après le questionnaire rempli par les participants, le nombre de bains ou douches varie de 1 à 14 par personne et par semaine et de 1 à 35 par logement et par semaine !

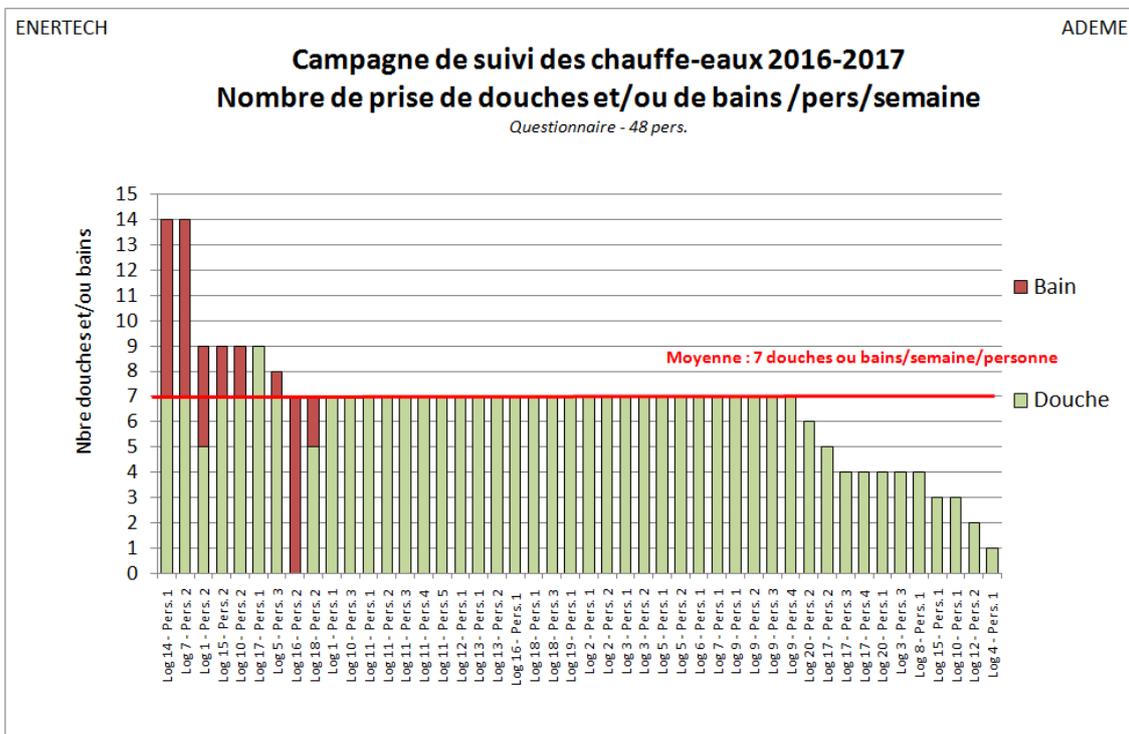


Figure 30 : répartition du nombre de bains et/ou douche hebdomadaires déclarés par personne.

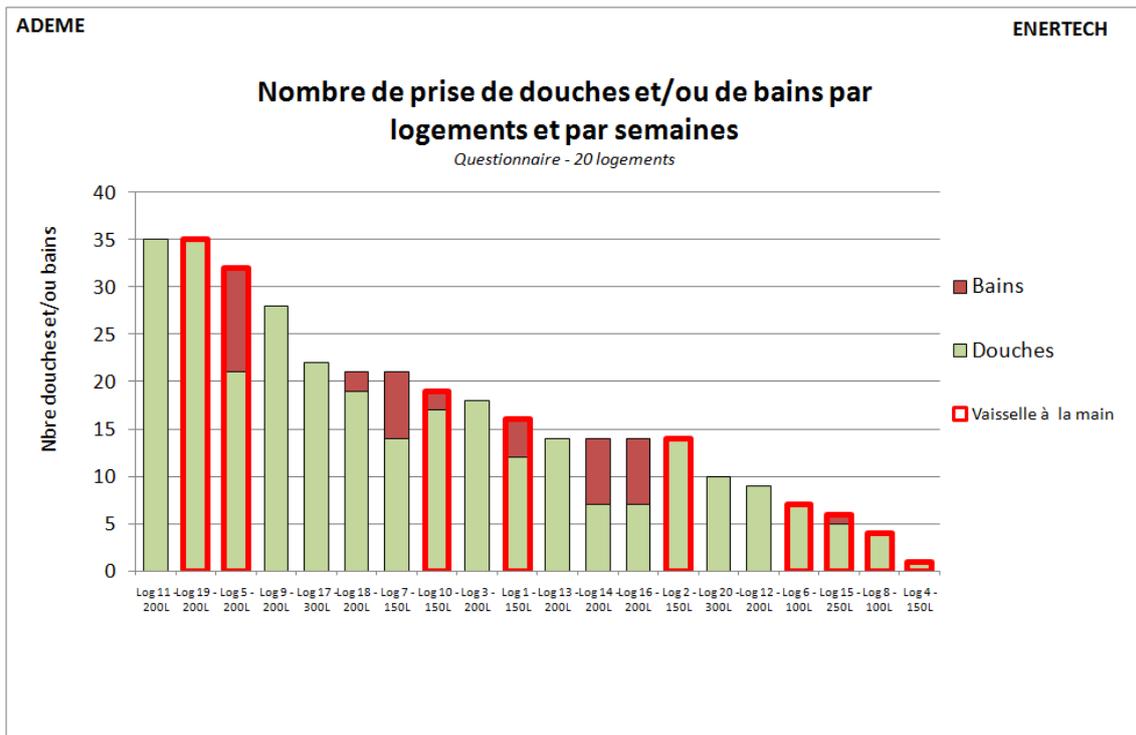


Figure 31 : répartition du nombre de bains et/ou douche hebdomadaire déclaré par logement.

2.2.2 Synthèse du questionnaire

	Log 1	Log 2	Log 3	Log 4	Log 5	Log 6	Log 7	Log 8	Log 9	Log 10	Log 11	Log 12	Log 13	Log 14	Log 15	Log 16	Log 17	Log 18	Log 19	Log 20	
Typologie maison	appart.	maison	maison	appart	appart	appart	maison	appart	maison	appart	maison	maison	maison	maison	maison	maison	maison	maison	appart.	maison	
Surface habitable	100	100	120	70	75	30	100	45	85	45	107	125	120	114	90	90	220	150	110	110	
Nbre chbres	2	3	3	1	2	1	3	2	3	2	3	3	3	2	2	3	4	4	3	2	
Proprio/locataire/locataire social	proprio	proprio	proprio	loc. social	loc. social	proprio	proprio	loc. social	proprio	loc. social	proprio	proprio	proprio	proprio	locataire social	proprio	proprio	proprio	proprio	proprio	
Tarification jour/nuit	non	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	non	oui	non	non	oui	non	oui	oui	oui	non	oui	oui	
Contacteur jour/nuit	non	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	non	oui	non	non	oui	non	oui	oui	oui	non	oui	oui	
Nbre occupants	2	2	3	1	3	1	2	1	4	3	5	2	2	1	2	2	4	3	3	2	
Dont adultes	2	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2	
Dont enfants	0	0	1	0	1	0	1	0	2	1	3	0	1	0	1	0	2	2	2	0	
Taux d'occupation r(nbre pers/jour)	1,7	1,2	1,7	1	1,9	0,5	1,75	0,3	2,7	2,6	1,8	2	1,3	0,25	1,5	2	2,4	1,9	1,5	0,85	
Lave vaisselle	non	non	oui	non	non	non chauffé	oui	non	oui	non	oui	oui	oui	oui	non	0	oui	oui	non	oui	
Vaisselle à la main	non	oui	oui	peu	oui	oui	non	oui	oui	oui	non	oui	oui	non	oui	très peu	peu	peu	oui	oui	
Nbre tot . douches/semaines/foyer	12	14	18	1	21	7	14	4	28	17	35	9	14	7	5	7	22	19	35	10	
Nbre tot . bains/semaines/foyer	4	0	0		11	0	7	0	0	2	0	0	0	7	1	7	0	2	0	0	
Nbre tot . douches/semaines/pers.	6	7	6	1	7	7	7	4	7	6	7	4,5	7	7	2,5	3,5	5,5	6,3	11,7	5	
Nbre tot . bains/semaines/pers.	2	0	0	0	3,7	0	3,5	0	0	1	0	0	0	7	0,5	3,5	0	0,7	0	0	
Nbre points puisages chaud	5	3	5	3	3	2	4	3	3	3	5	5	4	4	3	3	6	5	3	3	
Nbre douche seule	1	1	2	1	0	1	1	1	1	0	2	0	2	0	0	0	2	1	1	1	
Nbre baignoire-douche	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	2	0	1	1	1	0	1	0	0	
Débit evier cuisine	7,8	6	-	4,6 et 12	2,4 et 8	5,5	10	11	8	7	9,2	5,5	12	1,5	6	15	8,4	17	9,2	6,5	
Débit evier SdB 1	5,5	4,8	-	5,5 et 12	2 et 7,5	4,5	6	17	6	7	10	15	4,5	10	3 et 10	11	6,1	3,5	4,6 et 6	5,8	
Débit evier SdB 2	6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	13	-	-	-	-	5,4	10	-	-	
Débit douche 1	4,8	10	-	5,5 et 8,5	2,2 et 9,2	5	6	8	6,3	6,5	8	9,2	8	9,2	5 et 6	12	6,2	4,4	4	9,5	
Débit douche 2	6	-	-	-	-	-	9,2	-	-	-	-	10	12	-	-	-	9,33	5,1	-	-	
Evier cuisine	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	melangeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	melangeur	mitigeur
Evier SdB1	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	melangeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	melangeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	
Evier SdB2	mitigeur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	mitigeur	mitigeur	-	-	-	-	mitigeur	mitigeur	-	-	
Douche1	mitigeur	thermostatisé	thermostatisé	mitigeur	mitigeur	thermostatisé	mitigeur	melangeur	thermostatisé	mitigeur	thermostatisé	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	mitigeur	thermostatisé	thermostatisé	
Douche2	mitigeur	-	thermostatisé	-	-	-	mitigeur	-	-	-	mitigeur	mitigeur	melangeur	-	-	-	mitigeur	mitigeur	-	-	
Longueur reseau distribution	14	8	26	6	5	8	29	5	12	5	13	29	23	19	14	13	30	15	15	20	
Volume ballon	150	150	200	150	200	100	150	100	200	150	200	200	200	200	250	200	300	200	200	300	
Volume chauffé (oui/non)	non	non	oui	oui	non	non	non	non	non	non	non	non	non	non	oui	non	oui	non	oui	oui	

Tableau 4 : récapitulatif des informations relatives à chaque logement instrumenté.

		TOTAL	Log 1	Log 2	Log 3	Log 4	Log 5	Log 6	Log 7	Log 8	Log 9	Log 10	Log 11	Log 12	Log 13	Log 14	Log 15	Log 16	Log 17	Log 18	Log 19	Log 20
TARIF BASE		8	✓						✓	✓	✓		✓	✓		✓				✓		
TARIF HEURE CREUSE	22H30-6H30	2													✓							✓
	0H00-8H00	5		✓	✓	✓											✓	✓				
	1H30-7H30 et 15H30-17H30	3						✓											✓		✓	
	2H00-7H00 et 12H30-15H30	2					✓					✓										

Tableau 5 : créneaux heures pleine / heures creuses des 12 logements concernés.

2.2.3 Les 20 chauffe-eaux suivis

Ci-dessous une photographie de chacun des chauffe-eaux suivis.



Log 1



Log 2



Log 3



Log 4



Log 5



Log 6



Log 7



Log 8



Log 9



Log 10



Log 11



Log 12



Log 13



Log 14



Log 15



Log 16



Log 17



Log 18



Log 19



Log 20

Classe énergétique et catégorie NF performance

L'ensemble des 20 chauffe-eaux de notre échantillon sont de classe énergétique C et labellisés NF Performance ** conformément au cahier des charges de l'étude.

Concernant les volumes de l'échantillon, nous observons une représentativité conforme aux statistiques de vente 2016 excepté pour les volumes inférieurs à 50L (Figure 32).

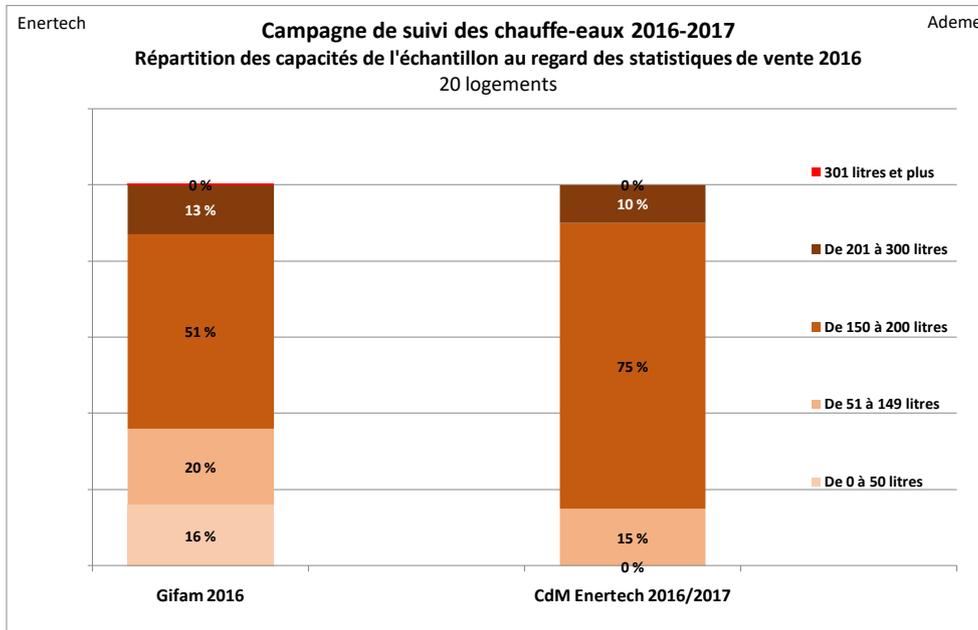


Figure 32 : répartition des capacités entre échantillon et statistique GIFAM.

Thermostats

La majorité des thermostats rencontrés sont de marque COTHERM (75%) comme montré en Figure 33. Remarque importante : dans plus de la moitié des cas, le réglage observé des thermostats n'était pas en position maximum comme c'est pourtant le cas en sortie d'usine. Les changements sont opérés soit par l'installateur sur sa propre décision, soit par l'installateur sur demande de l'occupant, soit par l'occupant lui-même.

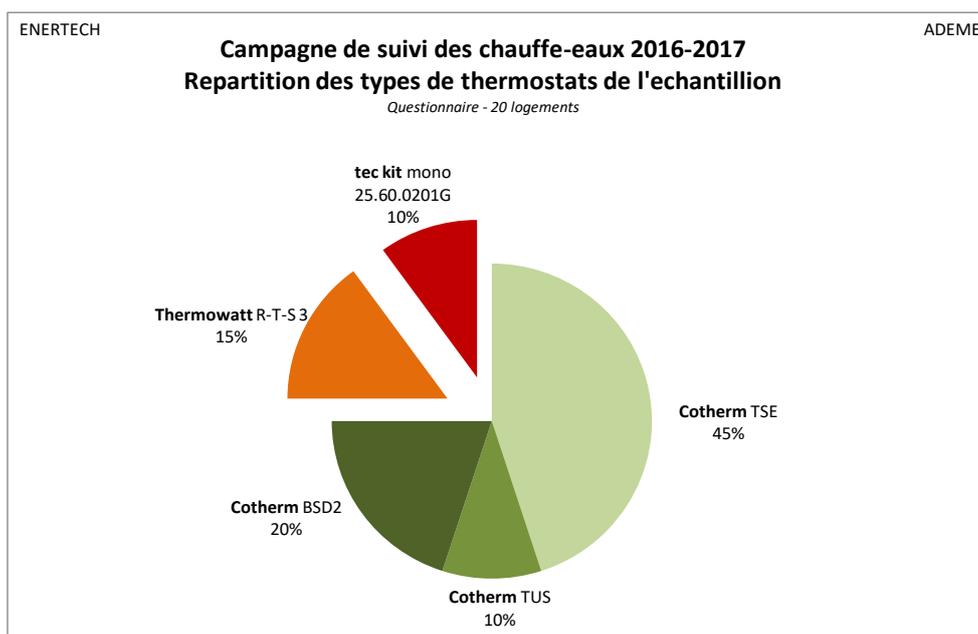


Figure 33 : répartition des types de thermostat de l'échantillon.

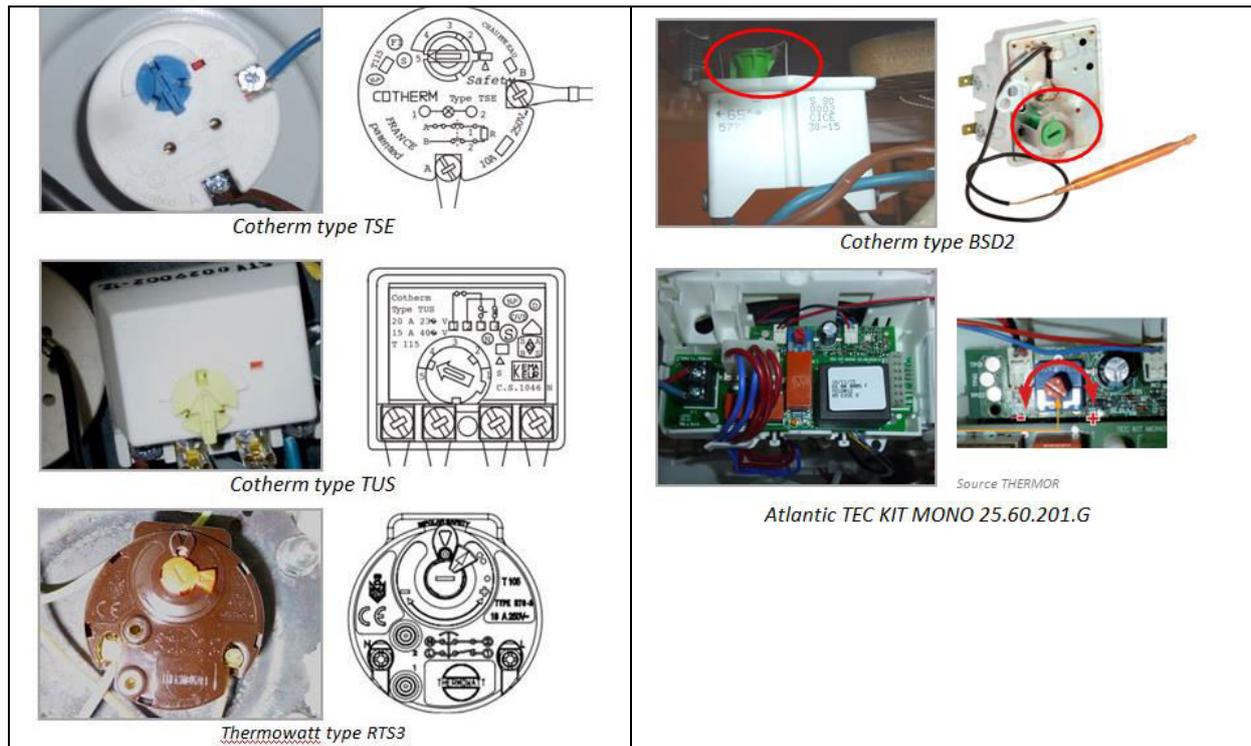


Figure 34 : Thermostats rencontrés sur les 20 chauffe-eaux instrumentés

2.2.4 Tableau récapitulatif des caractéristiques techniques des 20 chauffe-eaux

Le Tableau 6 en double page suivante récapitule l'ensemble des informations relatives aux 20 chauffe-eaux instrumentés.

	Log 1	Log 2	Log 3	Log 4	Log 5	Log 6	Log 7	Log 8	Log 9	Log 10
Marque	STATE	THERMOR	ATLANTIC	THERMOR	NO NAME	THERMOR	ATLANTIC	DE DIETRICH	DE DIETRICH	DE DIETRICH
Gamme	BLINDEE	DURALIS	CHAUFFEO	BLINDEE	200 VERT 555 STEA MO	DURALIS	CHAUFFEO	CES	CES	CES
Type	Vertical sur socle	Vertical ur socle	Vertical mural	Vertical sur socle	Vertical mural	Horizontal mural	Vertical mural	Vertical mural	Vertical mural	Vertical mural
Diamètre (mm)	560	505	530	505	555	505	530	505	513	505
Capacité réelle(L)	150	150	200	150	200	100	150	100	200	150
Classe énergie	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Profil de soutirage déclaré	M	M	L	M	L	L	M	L	L	M
Tarif (ErP)	?	HC	HC	HC	?	Base	HC	Base	HC	HC
NF Élec.	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Tension	230 MONO	230 MONO	230 MONO	230 MONO	230 MONO	230 MONO	230 MONO	230 MONO	230 MONO	230 MONO
Puissance (W)	1600	1800	2200	1600	2400	1800	1650	1200	2400	1800
Temps de chauffe à $\Delta T=50^{\circ}C$	5h49	5h11	5h17	6h00	5h30	3h07	5h33	5h18	5h32	5h23
Prod. d'eau à 40°C (NF)	256	278	382	275	?	184	279	183	373	276
Pertes statiques à 65°C (kWh/24h) et T°C amb. 20°C	1.79	1.59	1.73	1.61	1.7	1.21	1.48	1.25	1.91	1.63
Constantes de refroidissement(Wh/l.K.24h)	0.25	0.22	0.18	0.23	0.18	0.26	0.31	0.26	0.20	0.23
Ref	871189	271083	021120	271072	?	263123	021115	100010304	100010306	100010305
Conso annuelle kWh (ERP)	1424	1455	2632	1460	2767	2650	1418	2726	2686	1460
T°C de consigne (ERP)	63.37	63.93	64	65.29	70	65.2	68	65	65	65
Rendement (ERP)	37	36	39	36	37	38	36	0	0	0
Prod. d'eau à 40°C (ERP)	256	261	360	288	?	163	275	176	352	252
Thermostat	Cotherrm TSE	tec kit mono 25.60.0201G	Cotherrm TSE	Cotherrm TSE	Cotherrm TUS	tec kit mono 25.60.0201G	Cotherrm TSE	Cotherrm BSD2	Cotherrm BSD2	Cotherrm BSD2
Position thermostat	3,5 sur 5	au maximum (65°C)	4 sur 5	4 sur 5	3 sur 5	inaccessible	4 sur 5	au maximum (65°C)	au maximum (65°C)	au maximum (65°C)

	Log 11	Log 12	Log 13	Log 14	Log 15	Log 16	Log 17	Log 18	Log 19	Log 20
Marque	REGENT	THERMOR	ATLANTIC	ATLANTIC	THERMOR	ATLANTIC	ATLANTIC	ATLANTIC	ATLANTIC	ATLANTIC
Gamme	200 VERT 555 STEA MO	STEATIS	CHAUFFEO	CHAUFFEO	BLINDEE	CHAUFFEO	CHAUFFEO	CHAUFFEO	CHAUFFEO	CHAUFFEO
Type	Vertical mural	Vertical mural	Vertical mural	Vertical mural	Vertical sur socle	Vertical mural	Vertical sur socle	Vertical mural	Vertical mural	Vertical sur socle
Diamètre (mm)	555	513	530	530	575	530	570	530	530	570
Capacité réelle(L)	200	200	200	200	250	200	300	200	200	300
Classe énergie	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Profil de soutirage déclaré	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
NF Élec.	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Tension	230 MONO	230 MONO	230 MONO	230 MONO	230 MONO	230 MONO	230 MONO	230 MONO	230 MONO	230 MONO
Puissance (W)	2400	2400	2200	2200	3000	2200	3000	2200	2200	3000
Temps de chauffe à ΔT=50° C	5h30	5h32	5h17	5h17	4h32	5h17	5h33	5h17	5h17	5h33
Prod. d'eau à 40°C (NF)	?	373	382	382	443	382	569	382	382	569
Pertes statiques à 65°C (kWh/24h) et T°C amb. 20°C	1,7	1,91	1,73	1,73	2,18	1,73	2,58	1,73	1,73	2,58
Constantes de refroidissement(Wh/l.K.24h)	?	0,2	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Ref	?	281042	021120	021120	282035	021120	022130	021120	021120	022130
Conso annuelle kWh (ERP)	2767	2686	2632	2632	2718	2632	2676	2632	2632	2676
T°C de consigne (ERP)	70	64,99	64	64	?	64	55	64	64	55
Rendement (ERP)	37	38	39	39	?	39	38	39	39	38
Prod. d'eau à 40°C (ERP)	?	352	360	360	?	360	497	360	360	497
Thermostat	Cotherm TUS	Cotherm BSD tri	Cotherm TSE	Cotherm TSE	Thermowatt R-T-S 3	Cotherm TSE	Thermowatt R-T-S 3	Cotherm TSE	Cotherm TSE	Thermowatt R-T-S 3
Position thermostat	4 sur 5	au maximum (65°C)	5 puis 3 sur 5	5 puis 3 sur 5	*(max = **)	5 sur 5	au maximum	3 sur 5	4,5 sur 5	*(max = **)

Tableau 6 : récapitulatif des caractéristiques techniques des 20 chauffe-eaux de l'échantillon.

3 RESULTATS DE MESURE

3.1 Résultats généraux

3.1.1 Tableau récapitulatif

Le Tableau 7 récapitule l'ensemble des mesures réalisées sous forme de valeurs moyennes annuelles. **Les chauffe-eaux ont consommé en moyenne 1560kWh/an/logt pour 1057kWh/an d'énergie utile et 504kWh/an de pertes statiques.** Le rendement brut en énergie primaire est en moyenne de 24% (sans facteur correctif Qcor).

Logement	Nb pers.	Capacité	Tarif réel (sur site)	Puisages (m3/an)	Puis. V40 (m3/an)	T°C EF	T°C amb	T°C moy ECS	T°C max ECS	Conso. électrique (kWh/an)	Energie Utile (kWh /an)	Pertes statiques (kWh/an)	Cr déduit mesure (Wh/j/L/K)	Rendement (sans Qcor)
Log 1	2 pers.	150 L	base	20.6	29.2	15.1 °C	18.6 °C	50.4 °C	56 °C	1681	1021	660	0.36	24%
Log 2	2 pers.	150 L	HP/HC	19.6	33.8	15.3 °C	20.0 °C	57.9 °C	67 °C	1535	976	559	0.26	25%
Log 3	3 pers.	200 L	HP/HC	43.1	48.7	16.0 °C	23.5 °C	43.2 °C	53 °C	1712	1473	239	0.16	33%
Log 4	1 pers.	150 L	HP/HC	3.4	3.8	17.4 °C	19.6 °C	42.5 °C	49 °C	427	112	314	0.24	10%
Log 5	3 pers.	200 L	HP/HC	38.4	48.6	15.6 °C	21.0 °C	46.5 °C	47 °C	1618	1260	358	0.18	30%
Log 6	1 pers.	100 L	HP/HC	8.5	16.5	17.0 °C	19.7 °C	61.9 °C	57 °C	614	277	337	0.21	17%
Log 7	2 pers.	150 L	base	18.1	22.7	18.4 °C	20.1 °C	45.5 °C	72 °C	1511	991	520	0.36	25%
Log 8	1 pers.	100 L	base	2.6	5.2	17.4 °C	21.4 °C	63.3 °C	63 °C	366	117	250	0.16	12%
Log 9	4 pers.	200 L	base	26.6	45.5	18.3 °C	19.9 °C	55.4 °C	69 °C	2322	1608	715	0.26	27%
Log 10	3 pers.	150 L	HP/HC	38.9	61.4	14.4 °C	21.3 °C	54.8 °C	65 °C	2317	1800	517	0.27	30%
Log 11	5 pers.	200 L	base	28.1	54.9	14.4 °C	15.8 °C	64.4 °C	63 °C	2143	1525	618	0.17	28%
Log 12	2 pers.	200 L	base	16.0	26.6	16.3 °C	17.6 °C	55.7 °C	81 °C	1639	866	773	0.26	20%
Log 13	2 pers.	200 L	HP/HC	18.7	24.4	15.3 °C	18.1 °C	47.5 °C	74 °C	1469	917	552	0.24	24%
Log 14	1 pers.	200 L	base	22.2	27.8	20.6 °C	31.6 °C	44.9 °C	57 °C	1182	919	264	0.26	30%
Log 15	2 pers.	250 L	HP/HC	30.2	43.0	15.4 °C	21.3 °C	50.4 °C	57 °C	1755	1256	499	0.18	28%
Log 16	2 pers.	200 L	HP/HC	17.1	28.3	16.9 °C	17.6 °C	55.0 °C	65 °C	1417	846	571	0.20	23%
Log 17	4 pers.	300 L	HP/HC	58.8	92.2	16.4 °C	19.7 °C	53.4 °C	60 °C	3583	2952	632	0.16	32%
Log 18	3 pers.	200 L	base	19.1	24.2	16.4 °C	19.4 °C	46.2 °C	53 °C	1171	732	439	0.21	24%
Log 19	3 pers.	200 L	HP/HC	13.1	21.4	14.6 °C	20.8 °C	56.0 °C	64 °C	1449	767	682	0.25	21%
Log 20	2 pers.	300 L	HP/HC	18.3	23.3	17.3 °C	23.5 °C	46.2 °C	50 °C	1295	720	575	0.22	22%
Moyennes :				23 m3/an	34 m3/an	16.4 °C	20.5 °C	52.1 °C	61 °C	1 560 kWh/an	1 057 kWh/an	504 kWh/an	0.23	24%

(26% avec Qcor)

Tableau 7 : synthèse des principaux résultats de la campagne de mesure.

3.1.2 Consommations réelles vs données ERP

Energie puisée, pertes statiques et consommation annuelle ERP (Figure 35)

Le graphique ci-dessous vise à comparer, pour chaque logement, les énergies puisées et pertes statiques mesurées des chauffe-eaux suivis par rapport aux données ERP de ces mêmes chauffe-eaux. Les « pertes mesurées » correspondent à la différence entre la consommation électrique et l'énergie puisée, toutes deux mesurées au pas de temps de la minute pendant un an.

Concernant les données ERP, nous disposons pour chaque chauffe-eau des informations suivantes (Cf. §1.3.1) :

- **Energie utile** (Qref), spécifique à chaque profil de soutirage :
 - Profil M : Qref = 5.845kWh/jour;
 - Profil L : Qref = 11.655kWh/jour.
- **Consommation électrique journalière** (Qelec), indiqué sur chaque fiche produit réglementaire.
- **Consommation électrique annuelle** (AEC) : affichée sur l'étiquette énergie et issue de la méthode de calcul mentionnée précédemment (points rouges sur le graphique).

Les « pertes statiques ERP » affichées sur le graphique correspondent à la différence entre Qelec (x365j) et Qref(x365j).

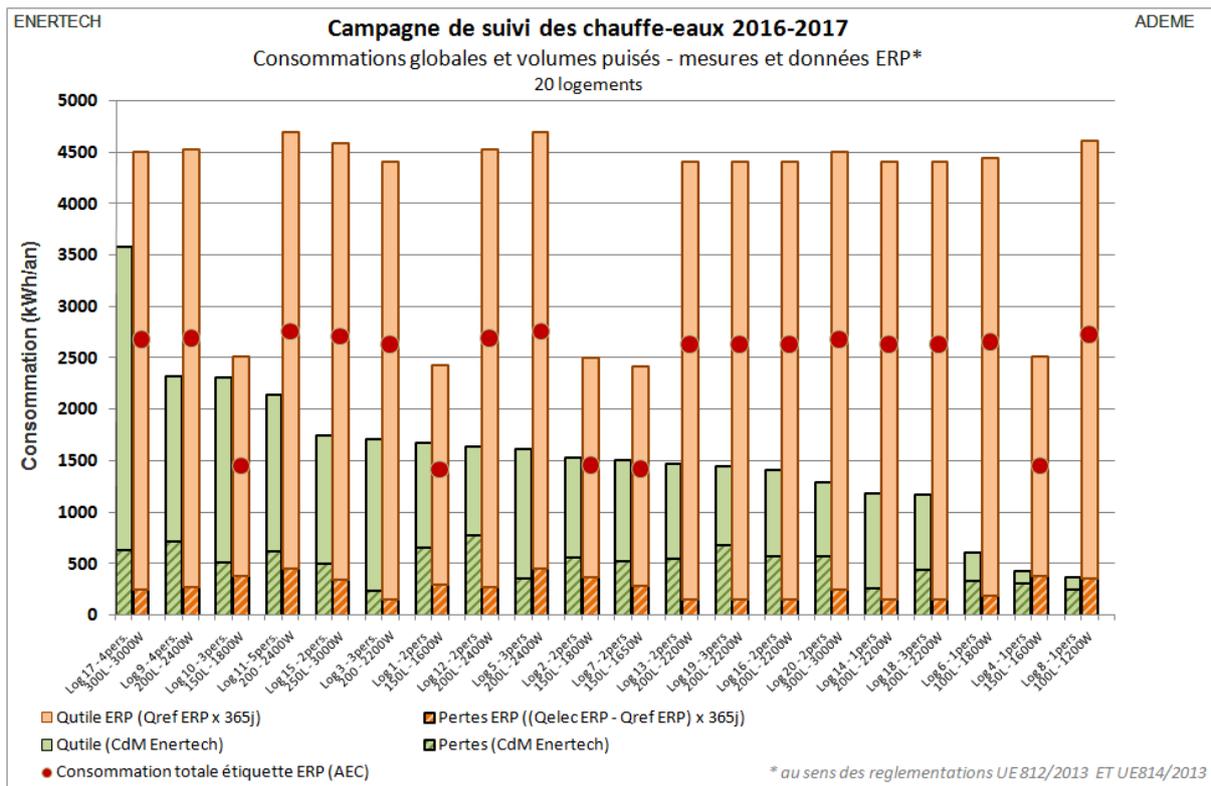


Figure 35 : comparaison des consommations réelles aux tests ERP.

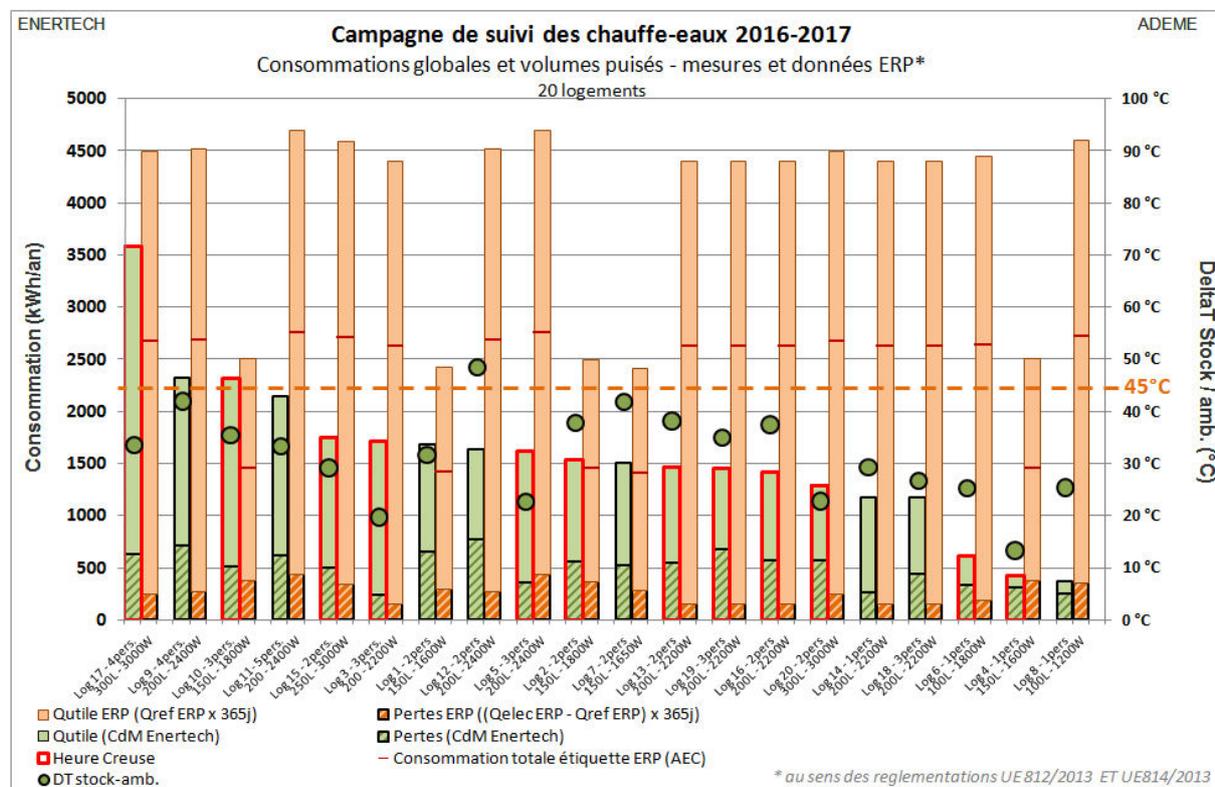
Nous confirmons ici que les profils de soutirage ERP (Qref) ont un caractère binaire et maximal qui ne reflète pas les puisages moyens mesurés dans les logements. La consommation AEC qui en est déduite conserve ce caractère binaire et se trouve dans la plupart des cas très au dessus des consommations réelles malgré le facteur de réduction 0.6 (points rouges).

Enfin on remarque que les tests ERP minimisent très largement l'importance relative des pertes statiques sur la consommation totale, ce qui est logique puisque le test vise plutôt à estimer la capacité maximale du chauffe-eau et non à refléter un usage moyen.

Comparaison des pertes et $DT_{STOCK-AMBIANCE}$ avec les données ERP (Figure 36)

Si l'on considère les pertes mesurées et les pertes ERP annualisées, ainsi que les écarts de températures chauffe-eau / ambiance mesurées, on se rend compte par le calcul que l'égalité des pertes en valeur absolue supposerait des écarts chauffe-eau / ambiance de 18°C en moyenne (8°C à 36°C selon les cas).

Cela signifie que les écarts moyens stockage/ambiance durant les tests ERP sont très faibles (18°C en moyenne d'après ce qui précède) ce qui est cohérent de la philosophie employée consistant à maximiser les puisages. Ce phénomène creuse encore la distorsion entre énergie utile et perte et minimise de surcroît les pertes par le bas du chauffe-eau (partie non isolée).



3.2 Consommation électrique

3.2.1 Part du chauffe-eau dans la consommation électrique totale

Sur 14 logements où le relevé d'index général du logement a pu être effectué, la consommation du chauffe-eau a représenté en moyenne **28% de la consommation électrique du logement** (Figure 38). Cette moyenne passe à 39% dans le cas des logements non équipés de chauffage électrique. Pour 3 de ces logements le ratio se situe autour de 50%.

Ces chiffres viennent confirmer ceux évoqués en §1.2.1 et souligne l'importance énergétique majeure du chauffe-eau à effet joule dans la facture électrique des logements équipés.

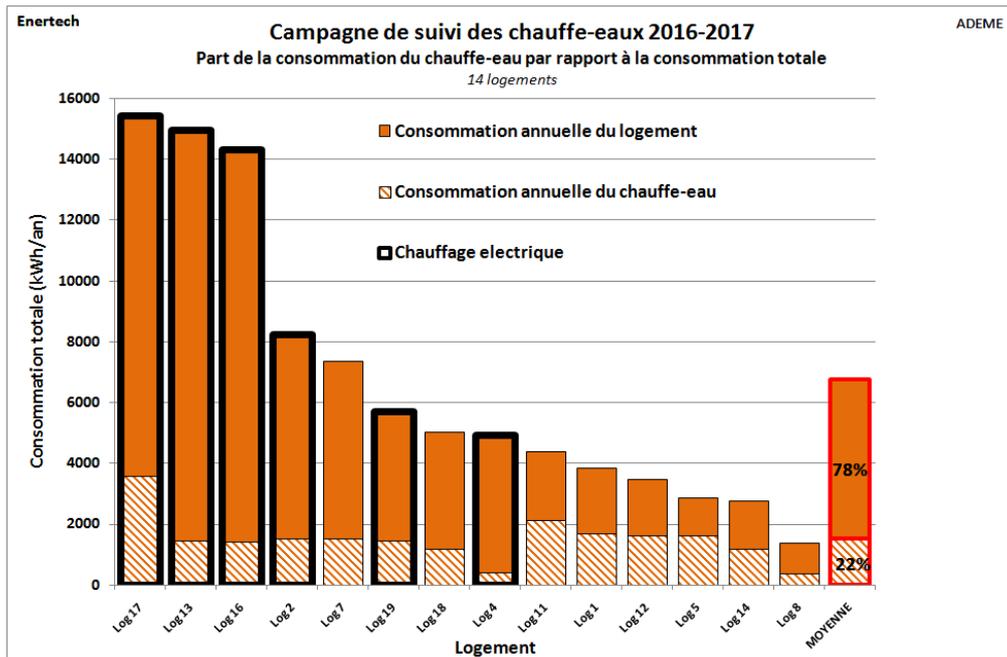


Figure 37 : consommation électrique des chauffe-eaux et consommation totale des logements.

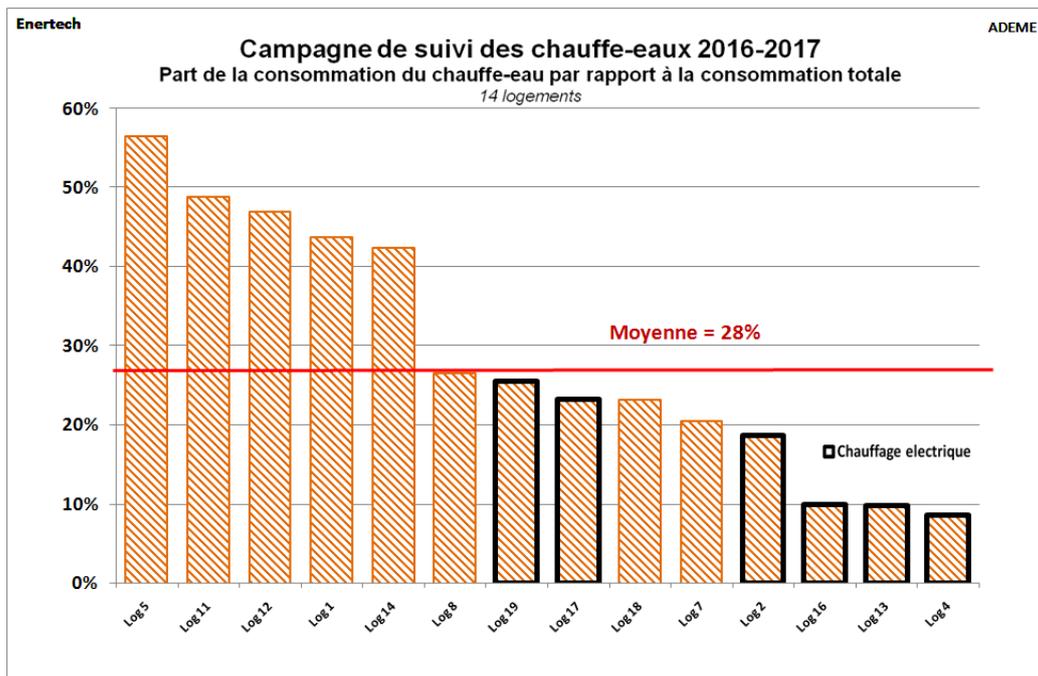


Figure 38 : part de la consommation électrique des chauffe-eaux sur la consommation totale du logement.

3.2.2 Effets saisonniers et journaliers

Evolution mensuelle (Figure 39)

Nous constatons un effet de saisonnalité important sur les consommations électriques de l'ensemble des chauffe-eaux, avec une baisse de consommation estivale d'un facteur 2 (mois d'août 87kWh/mois ; mois de janvier 171kWh/mois).

Les trois raisons principales de cette baisse estivale sont la diminution du V40 puisé, la hausse saisonnière de la température d'eau froide et la hausse de la température ambiante.

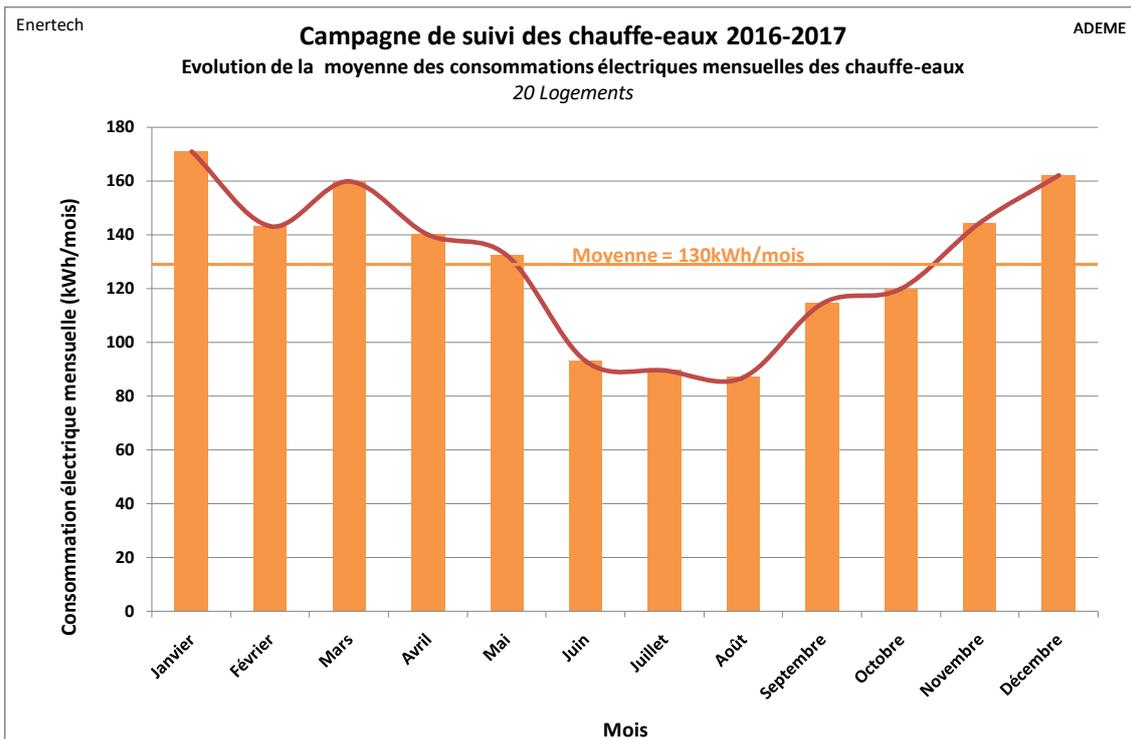


Figure 39 : évolution mensuelle moyenne de la consommation électrique des chauffe-eaux.

Evolution journalière (Figure 40)

Nous n’observons pas d’effet semaine/week-end important sur les consommations électriques.

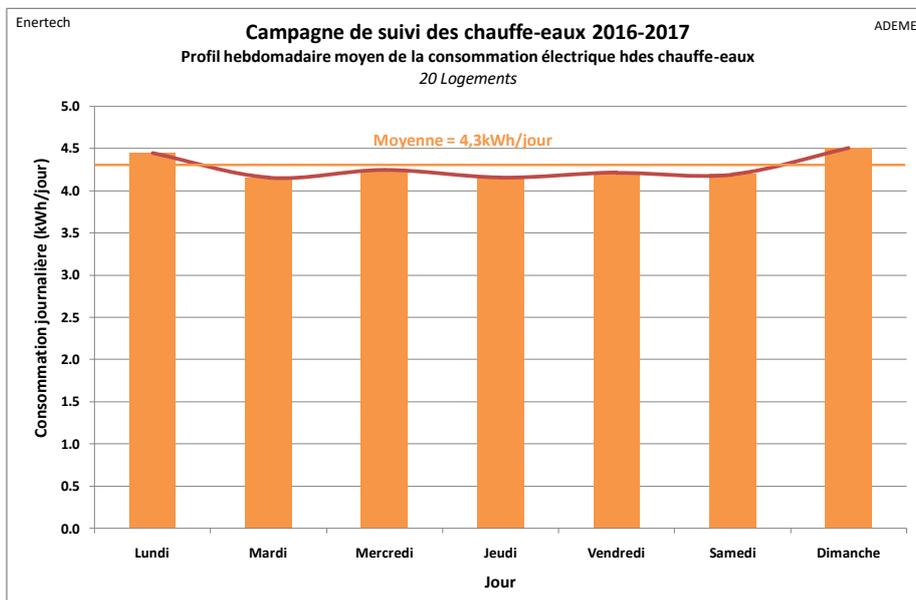


Figure 40 : Consommation journalière moyenne de la consommation électrique des chauffe-eaux.

3.2.3 Signature énergétique

Corolaire des résultats généraux présentés en §3.1, on observe une corrélation bien plus forte des consommations électriques avec les volumes d’ECS puisés (Figure 41) qu’avec les écarts de température entre stockage et ambiance (Figure 42).

La signature énergétique des chauffe-eaux est donc une droite affine de pente proportionnelle au volume ECS puisée, et d’ordonnée à l’origine d’environ 500kWh/an.

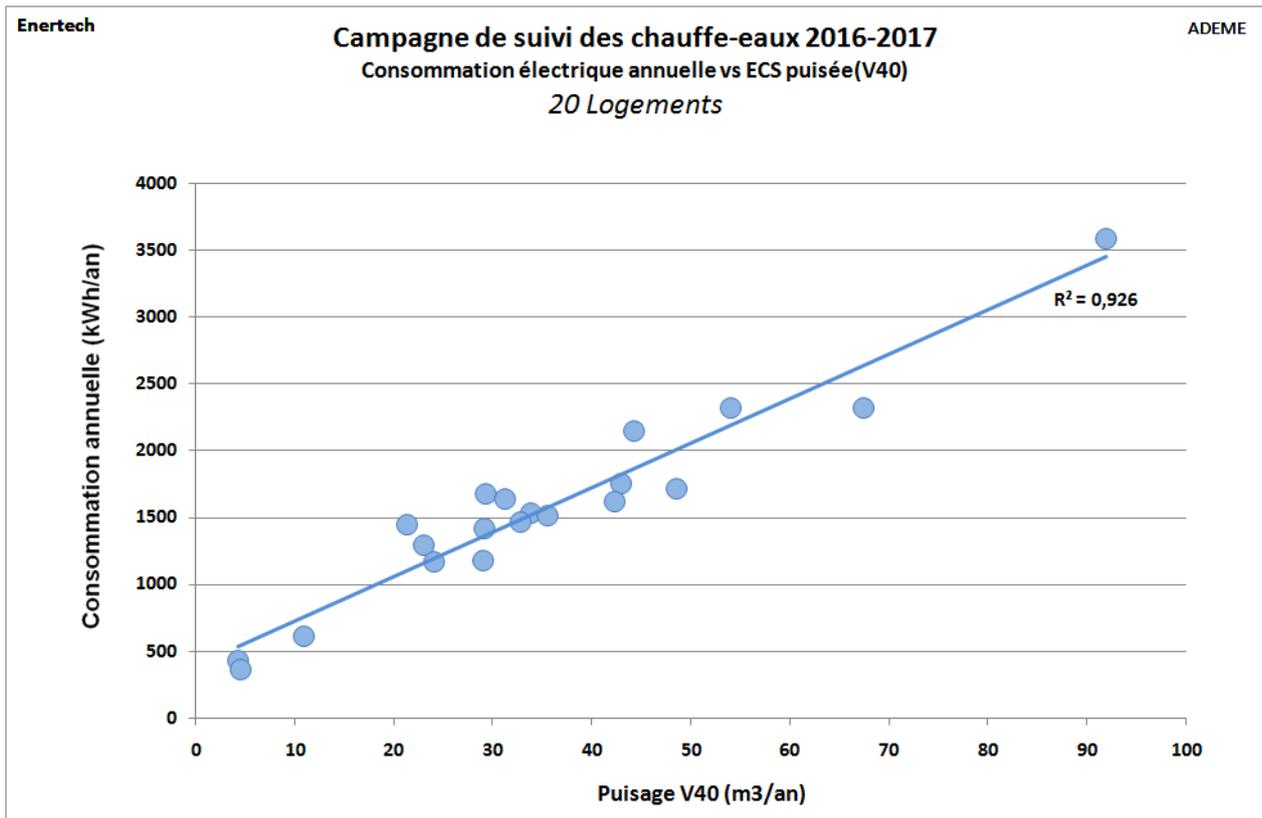


Figure 41 : Corrélation des consommations électriques des chauffe-eaux avec les volumes puisés ($R^2=0.926$)

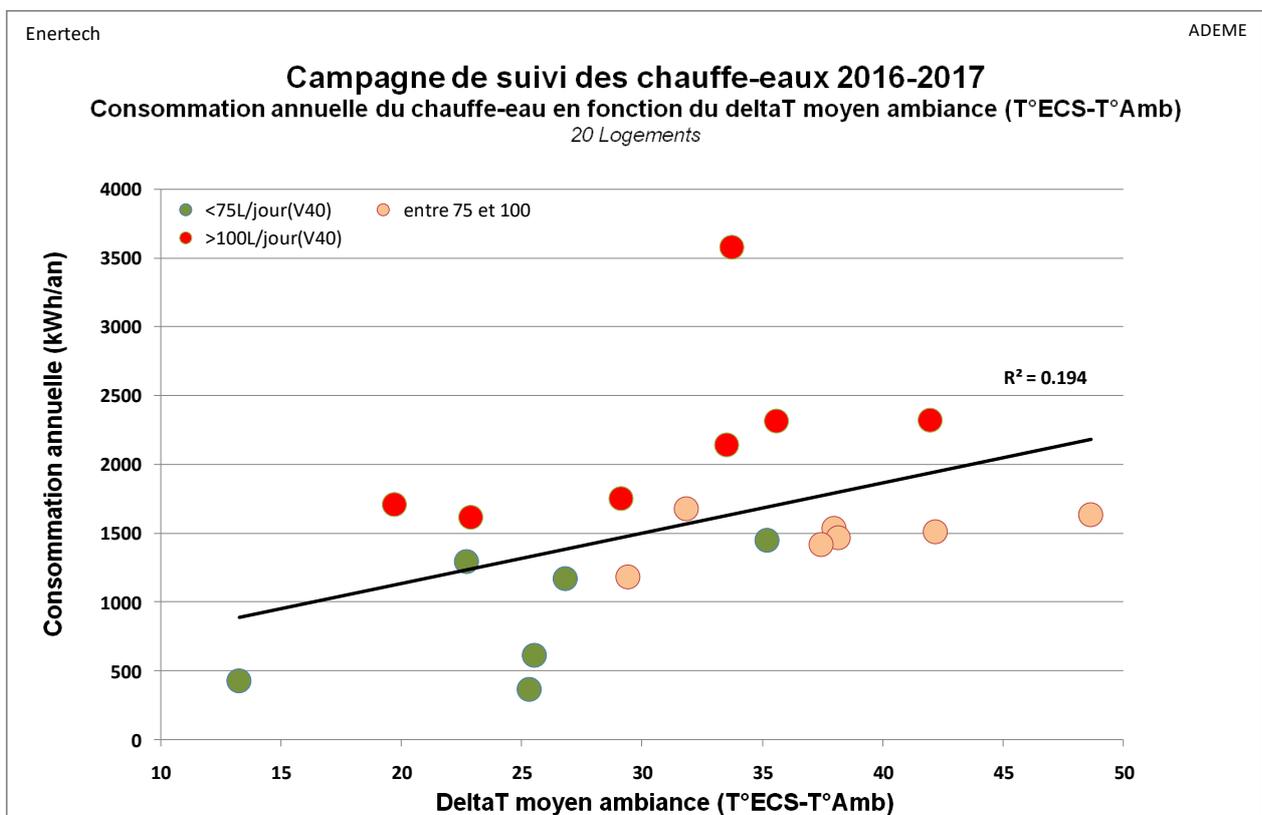


Figure 42 : Corrélation des consommations électriques des chauffe-eaux avec les écarts de température stockage-ambiance ($R^2=0.194$).

Une autre manière de visualiser ce résultat est de superposer les consommations électriques de chaque logement avec le volume V40 puisé annuellement (Figure 43).

Ce graphique permet aussi de constater les écarts importants entre les logements de notre échantillon (facteur 8 sur les consommations électriques ; facteur 24 sur les puisages en V40).

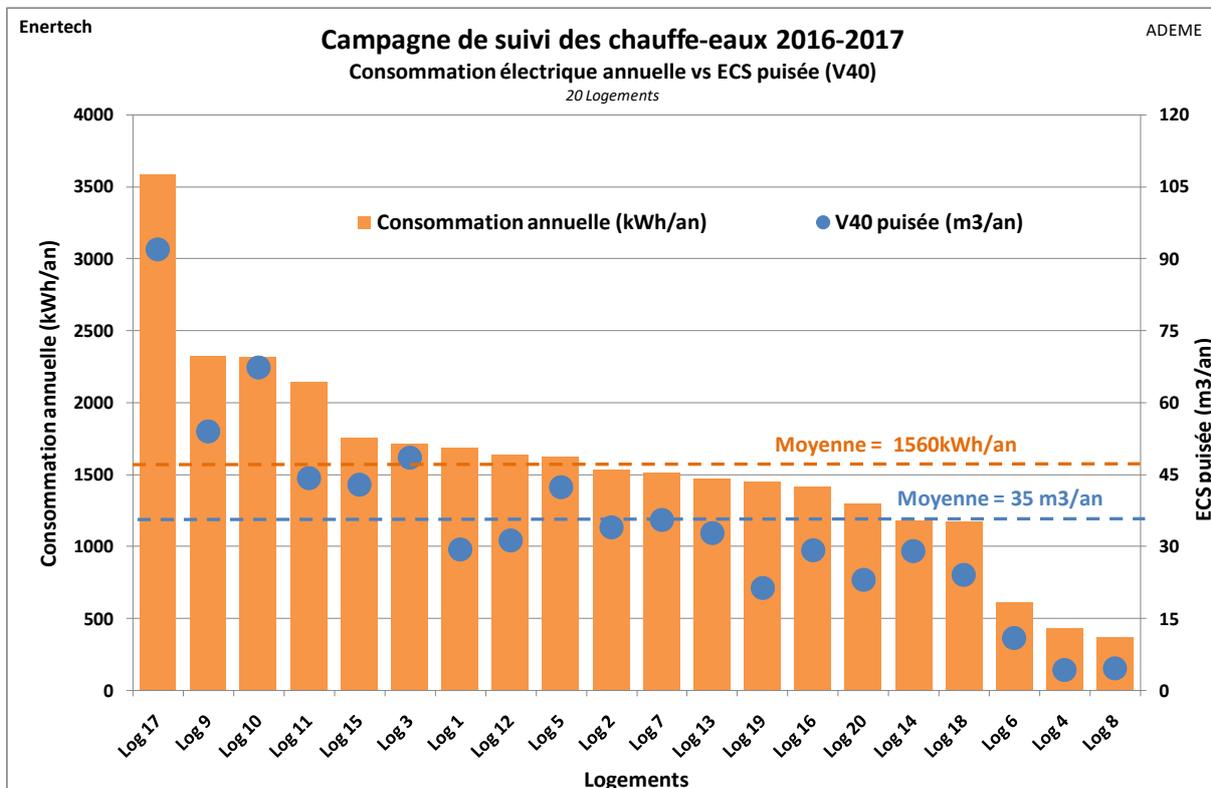


Figure 43 : comparaison des consommations électriques en fonction des puisages V40.

3.2.4 Consommation et double tarification

Nous ne constatons pas de corrélation forte entre le type de tarification et la consommation électrique totale (Figure 44). Les chauffe-eaux sont suffisamment dimensionnés au regard des besoins (Cf. §2.2.1) pour que la limitation de la durée de chauffe à 8h par jour ne soit pas un facteur limitant dans l'utilisation.

Nota : les deux tiers des logements Heure Pleine/Heure Creuse présentent des consommations non nulles aux heures pleines (utilisation de la marche forcée).

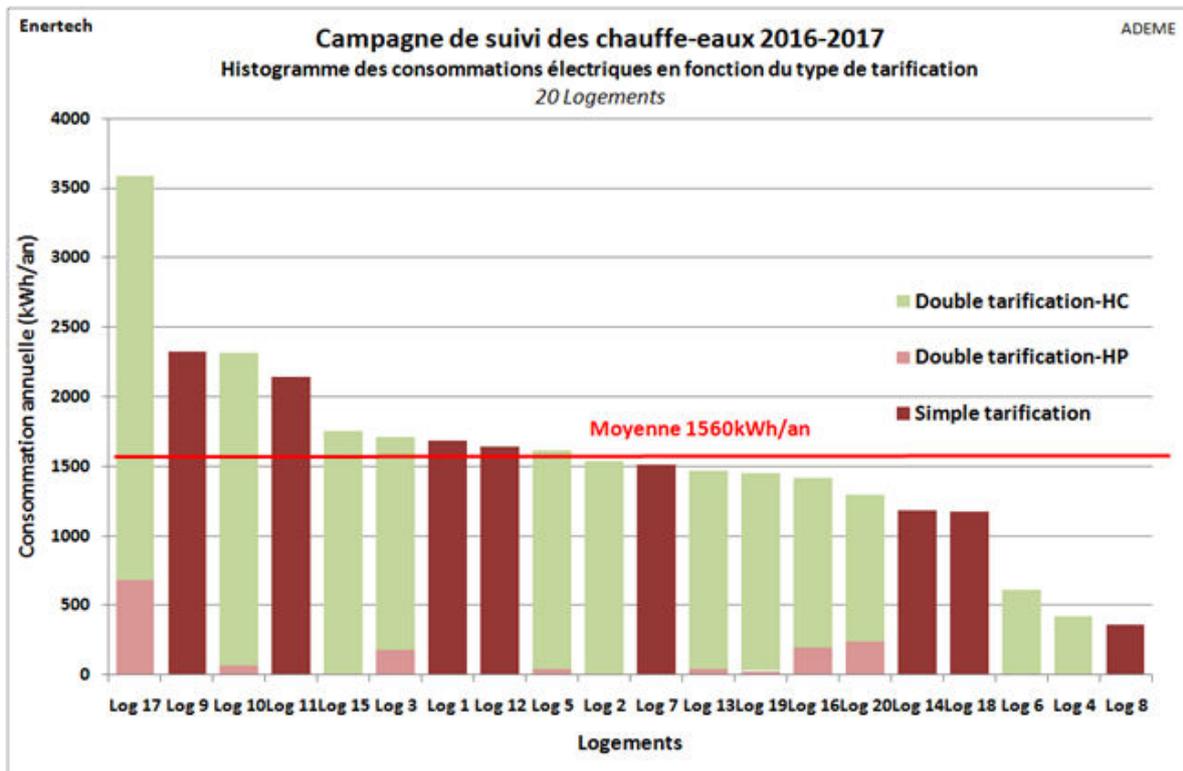


Figure 44 : comparaison des consommations électriques en fonction du type de tarification.

3.2.5 Courbes de charge électriques

Nous rappelons dans le Tableau 8 les différentes tarifications des logements de l'échantillon.

		TOTAL	Log 1	Log 2	Log 3	Log 4	Log 5	Log 6	Log 7	Log 8	Log 9	Log 10	Log 11	Log 12	Log 13	Log 14	Log 15	Log 16	Log 17	Log 18	Log 19	Log 20
TARIF BASE		8	✓						✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓				✓		
TARIF HEURE CREUSE	22H30-6H30	2													✓							✓
	0H00-8H00	5		✓	✓	✓											✓	✓				
	1H30-7H30 et 15H30-17H30	3						✓											✓		✓	
	2H00-7H00 et 12H30-15H30	2					✓					✓										✓

Tableau 8 : Tarifications des abonnements électriques de l'échantillon (rappel).

Les courbes de charge électriques moyennes sont présentées pour la saison estivale (Figure 45) et hivernale (Figure 46). Ces courbes sont fortement marquées par les 5 logements en tarif heure creuse sur la plage 00h00-08h00.

Nous constatons pour les « Tarif de Base » que les courbes de charges électriques estivales et hivernales suivent de près les puisages (consommation entre 06h00 et 23h00 avec un pic de 18h00 à 22h00), tandis que pour les tarifs heure pleine/heure creuse les consommations électriques sont maximales au début des créneaux horaires heure creuse.

Nous constatons par ailleurs une phase de consommation nocturne plus importante en hiver qu'en été, phénomène sans doute lié à la baisse de la température d'eau froide qui allonge la durée de remise en chauffe.

NB : ces courbes de charge démontrent le potentiel d'autoconsommation photovoltaïque important des chauffe-eaux si l'on restreint la période de chauffe aux heures de production.

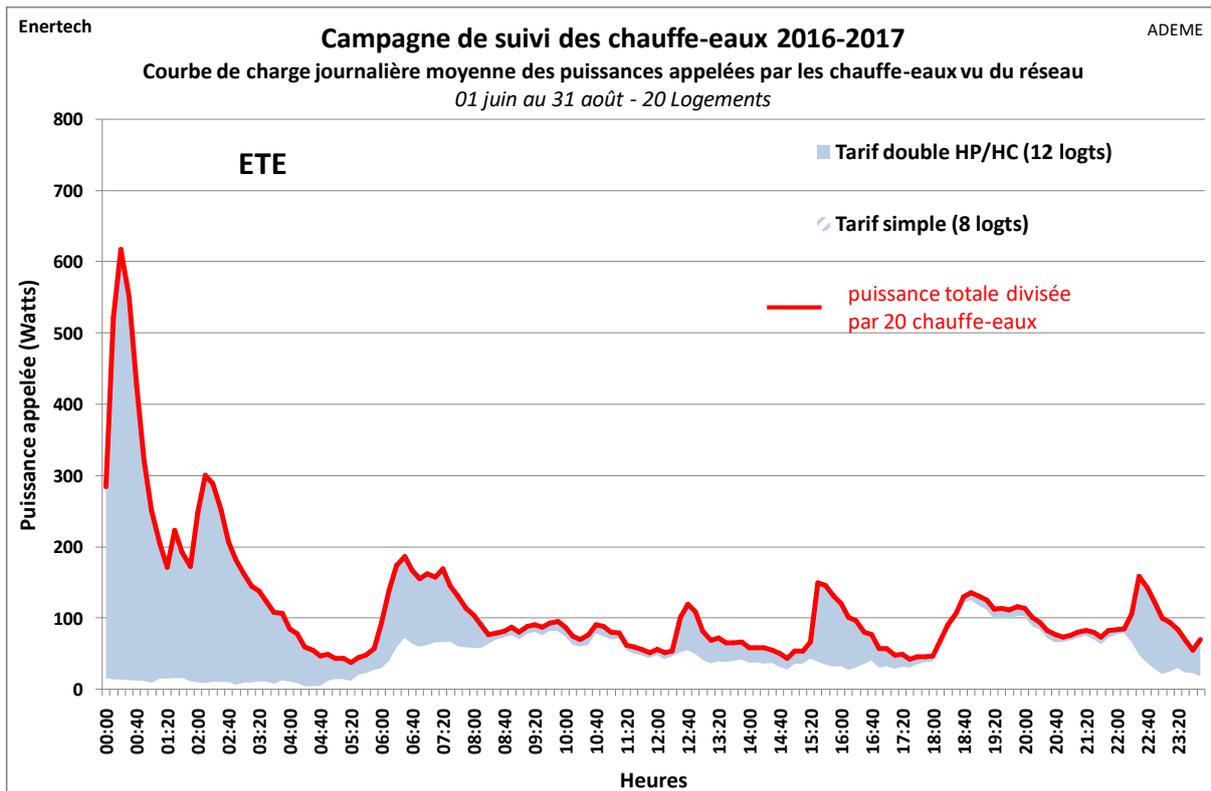


Figure 45 : courbe de charge journalière moyenne observée en été (20 chauffe-eaux).

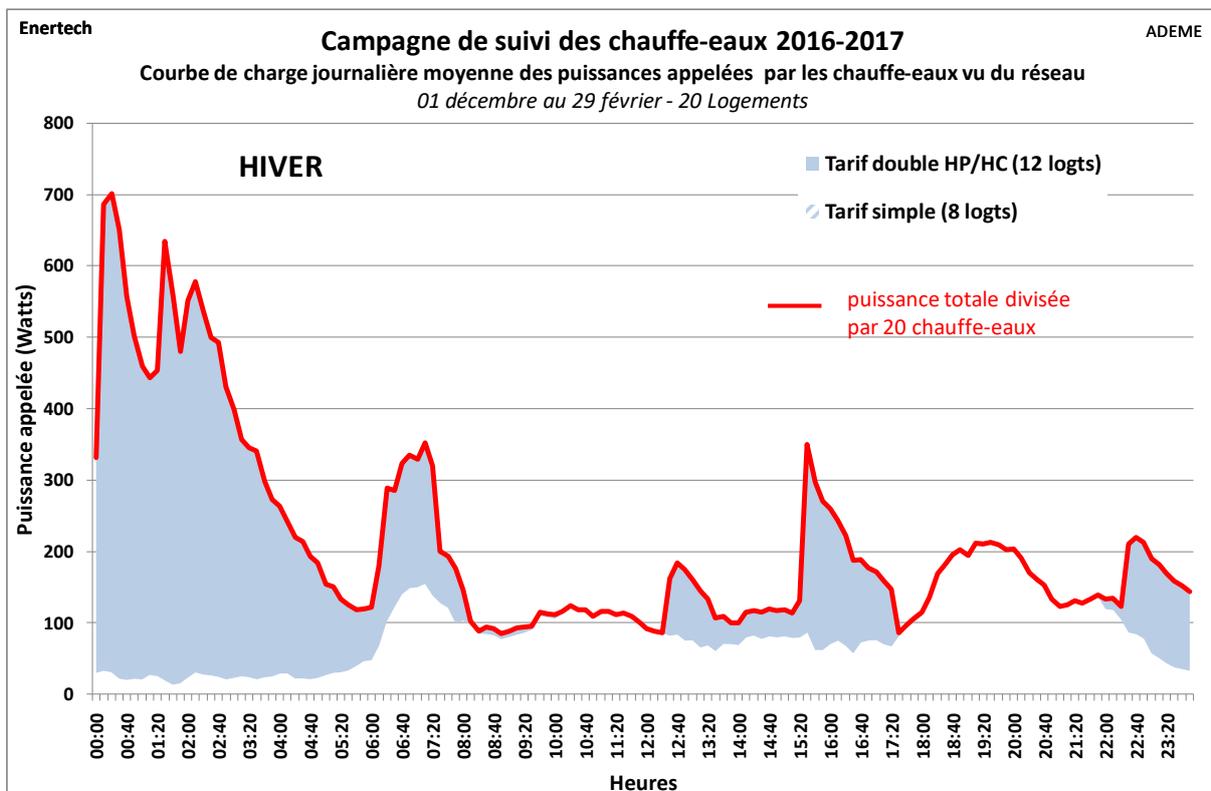


Figure 46 : courbe de charge journalière moyenne observée en hiver (20 chauffe-eaux).

3.2.6 Comparaison aux consommations ERP

Malgré la prise en compte par l'étiquette ERP d'un facteur atténuant de 0.6 et du Qcor dans la consommation électrique annuelle (Cf.§1.3.1), nous constatons en moyenne **un facteur 2 de surestimation de la consommation ERP par rapport au terrain** (Tableau 9 et Figure 47).

Le facteur 0.6 ne suffit donc pas à ramener les profils réglementaires aux puisages réels du terrain, et surtout il ne permet pas de faire le lien entre la consommation affichée et la capacité du chauffe-eau, lien qui s'esquisse sur nos mesures (points rouges de la Figure 47) et qui s'explique simplement par le fait qu'un plus gros chauffe-eau dissipe plus d'énergie statique et est théoriquement sollicité par un plus grand nombre de personnes.

Campagne de mesure					Données ErP			Facteur surconso. Annuelle étiquette ErP
Logement	Capacité	Energie utile moyenne puisée pendant un an	Profil réel correspondant	Conso totale annuelle kWh/an	Profil	Qref profil	Conso. étiquette kWh/an	
Log 1 - 2pers	150 L	2.8 kWh/jour	entre S et M	1681	M	5.8 kWh/jour	1424	0.8
Log 2 - 2pers	150 L	2.7 kWh/jour	entre S et M	1535	M	5.8 kWh/jour	1455	0.9
Log 3 - 3pers	200 L	4.0 kWh/jour	entre S et M	1712	L	11.7 kWh/jour	2632	1.5
Log 4 - 1pers	150 L	0.3 kWh/jour	3XS	427	M	5.8 kWh/jour	1460	3.4
Log 5 - 3pers	200 L	3.5 kWh/jour	entre S et M	1618	L	11.7 kWh/jour	2767	1.7
Log 6 - 1pers	100 L	0.8 kWh/jour	entre 3XS et S	614	L	11.7 kWh/jour	2650	4.3
Log 7 - 2pers	150 L	2.7 kWh/jour	entre S et M	1511	M	5.8 kWh/jour	1418	0.9
Log 8 - 1pers	100 L	0.3 kWh/jour	3XS	366	L	11.7 kWh/jour	2726	7.4
Log 9 - 4pers	200 L	4.4 kWh/jour	entre S et M	2322	L	11.7 kWh/jour	2686	1.2
Log 10 - 3pers	150 L	4.9 kWh/jour	entre S et M	2317	M	5.8 kWh/jour	1460	0.6
Log 11 - 5pers	200 L	4.2 kWh/jour	entre S et M	2143	L	11.7 kWh/jour	2767	1.3
Log 12 - 2pers	200 L	2.4 kWh/jour	entre S et M	1639	L	11.7 kWh/jour	2686	1.6
Log 13 - 2pers	200 L	2.5 kWh/jour	entre S et M	1469	L	11.7 kWh/jour	2632	1.8
Log 14 - 1pers	200 L	2.5 kWh/jour	entre S et M	1182	L	11.7 kWh/jour	2632	2.2
Log 15 - 2pers	250 L	3.4 kWh/jour	entre S et M	1755	L	11.7 kWh/jour	2718	1.5
Log 16 - 2pers	200 L	2.3 kWh/jour	entre S et M	1417	L	11.7 kWh/jour	2632	1.9
Log 17 - 4pers	300 L	8.1 kWh/jour	entre M et L	3583	L	11.7 kWh/jour	2676	0.7
Log 18 - 3pers	200 L	2.0 kWh/jour	S	1171	L	11.7 kWh/jour	2632	2.2
Log 19 - 3pers	200 L	2.1 kWh/jour	S	1449	L	11.7 kWh/jour	2632	1.8
Log 20 - 2pers	300 L	2.0 kWh/jour	S	1295	L	11.7 kWh/jour	2676	2.1
							moyenne	2.0

Tableau 9 : comparaison des consommations électriques réelles aux données ERP

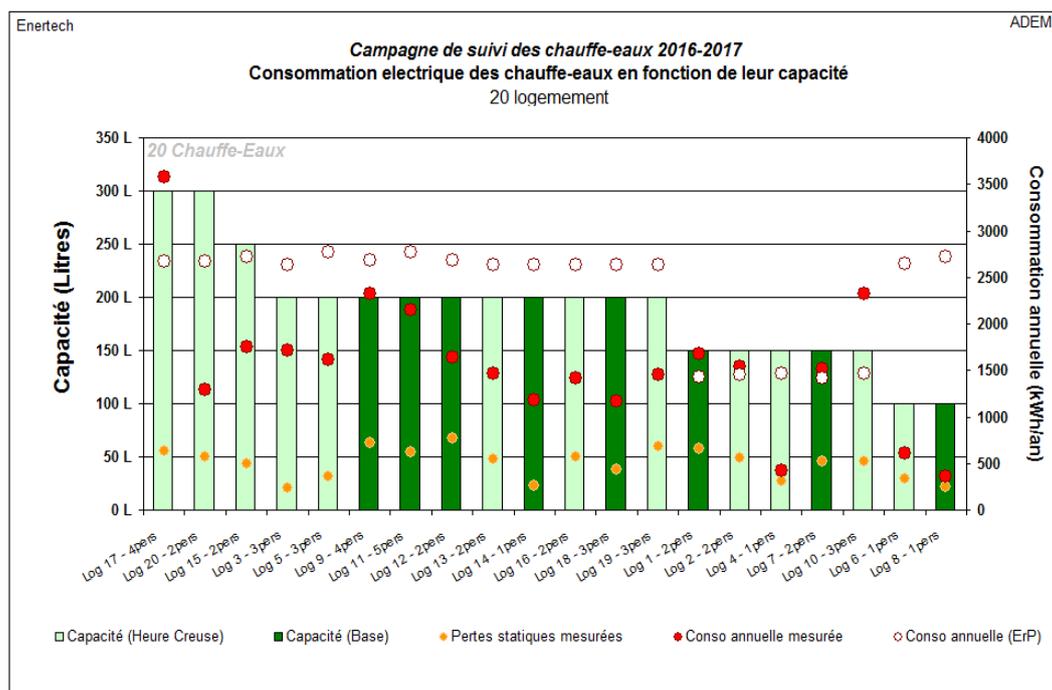


Figure 47 : comparaison des consommations électriques réelles aux données ERP

3.3 Températures

3.3.1 Température Eau Froide

La température moyenne d'eau froide des 20 logements observée sur l'année est de 16,4°C. On constate des écarts importants d'un logement à l'autre, avec une moyenne annuelle de 14.4°C pour le plus froid et 20.6°C pour le plus chaud.

L'effet de saisonnalité sur la température d'eau froide est très marqué, avec une amplitude moyenne sur les 20 logements de 13.1°C (DT min = 7.3°C ; DT max = 18.8°C) :

- En hiver, la température d'eau froide minimale varie de 6°C à 14°C selon les logements.
- En été, la température d'eau froide maximale varie de 18°C à 28 °C selon les logements.

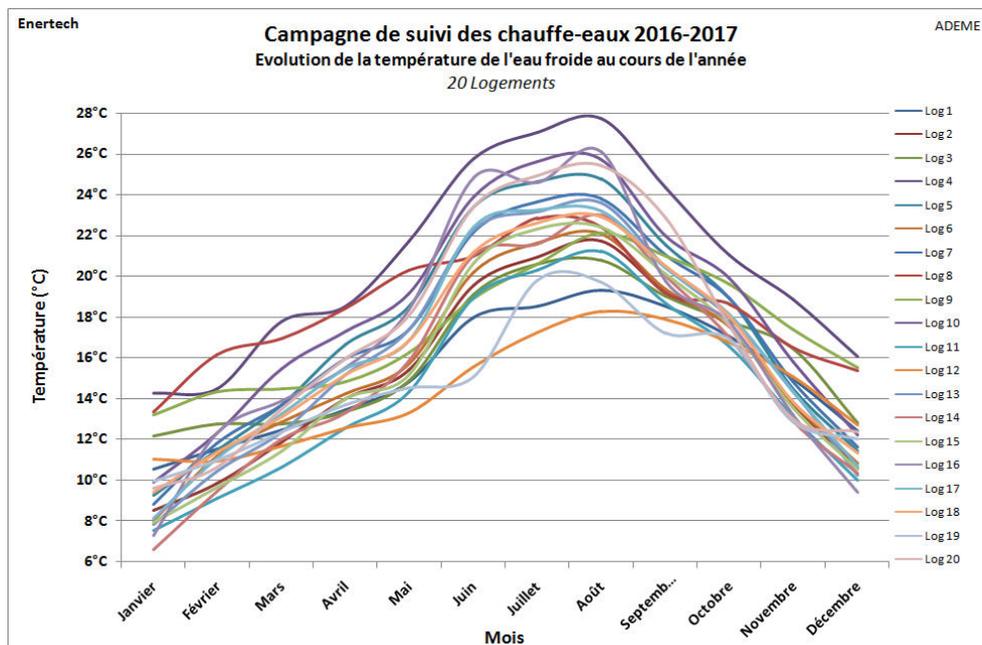


Figure 48 : évolution mensuelle des températures d'eau froide.

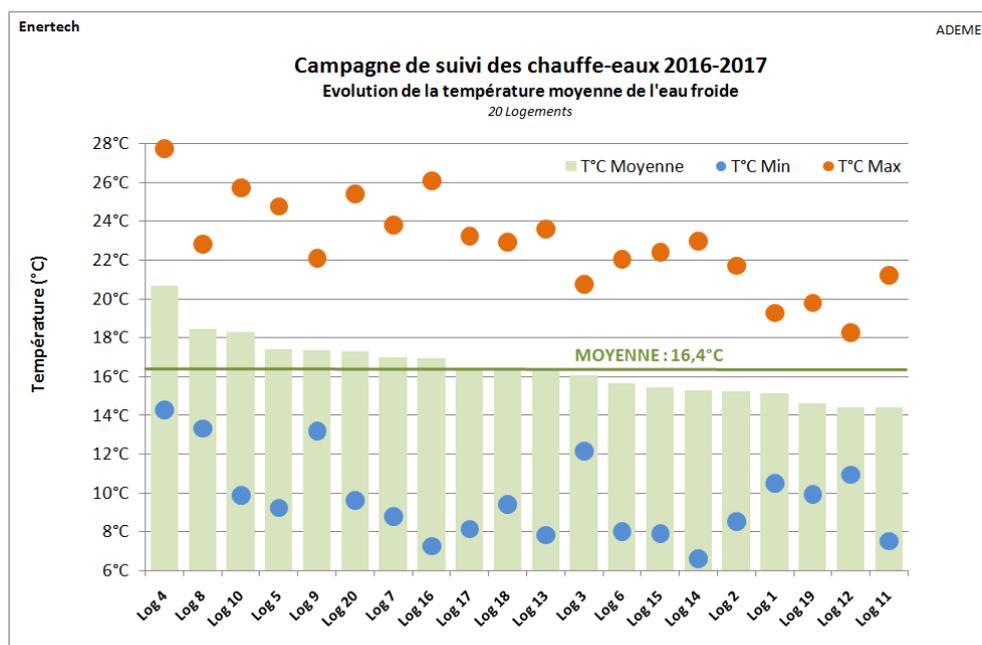


Figure 49 : moyennes et extremums des températures d'eau froide par logements.

3.3.2 Température d'ambiance autour du chauffe-eau

La température moyenne d'ambiance autour des chauffe-eaux observée sur l'année est de 20.5°C. On constate des écarts importants d'un logement à l'autre, avec une moyenne de 15.8°C pour le plus froid et 31.6°C pour le plus chaud (²).

L'effet de saisonnalité varie d'un logement à l'autre, avec une amplitude moyenne sur les 20 logements de 10.7°C (DT min =1.9°C ; DTmax 20.1°C) :

- En hiver, la température d'ambiance varie de 7.5°C à 30.2°C (²) selon les logements.
- En été, la température d'ambiance maximale varie de 18.9°C à 34.5 °C (²).

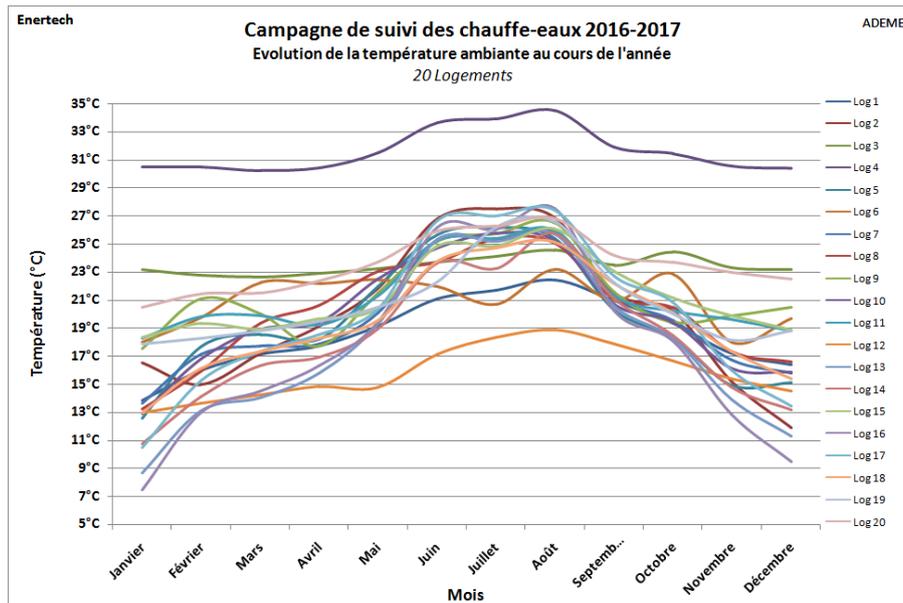


Figure 50 : évolution mensuelle des températures ambiantes autour des chauffe-eaux.

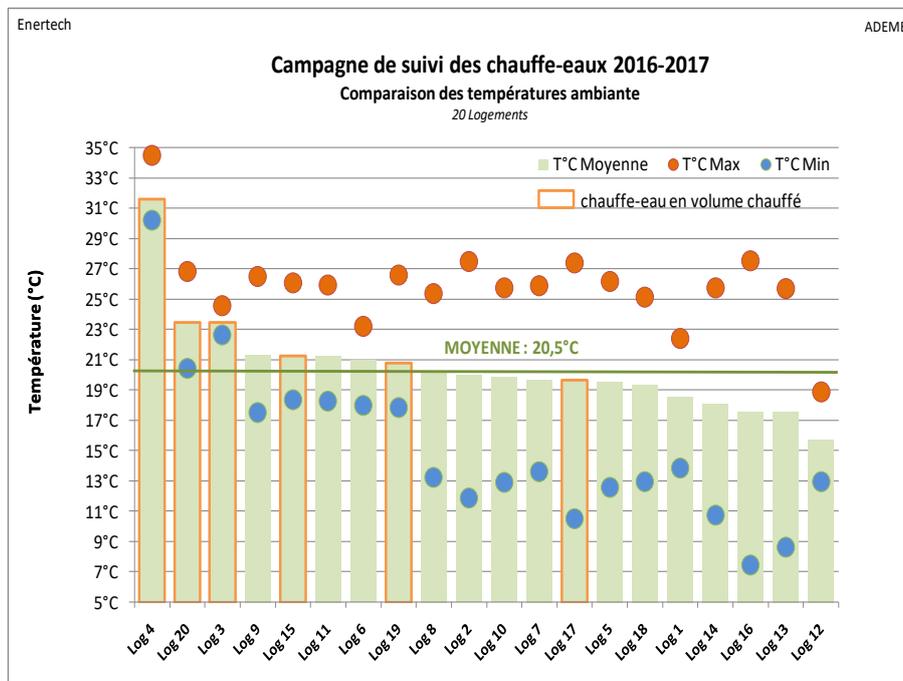


Figure 51 : moyennes et extremums des températures ambiantes autour des chauffe-eaux.

² Chauffe-eau du logement 4 dans un placard

3.3.3 Température de stockage

Moyenne observée (Figure 52)

La température moyenne annuelle de stockage de l’ECS observée dans les 20 logements est de 52.5°C. On constate des écarts importants d’un logement à l’autre avec une moyenne de stockage de 42.5°C pour le plus froid et 64.6°C pour le plus chaud. Il n’y a pas d’effet de saisonnalité particulier à signaler.

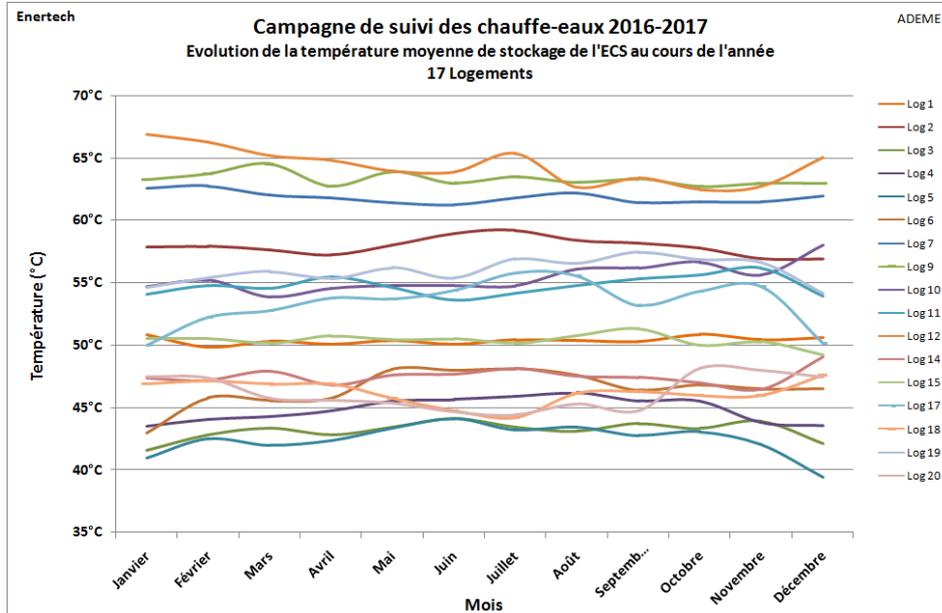


Figure 52 : évolution mensuelle des températures de stockage ECS dans chaque chauffe-eau.

Amplitude observée (Figure 53)

Nota : les températures min. et max. du graphique ne sont pas des moyennes mais des extrema uniques observés sur les puisages les plus chauds et les plus froids (sortie chauffe-eau). Les points hauts peuvent être interprétés comme la température de consigne.

NB : la température basse du logt8 est liée à plusieurs mois d’absence avec coupure du chauffe-eau (température stockage forcée à la température ambiante dans l’analyse).

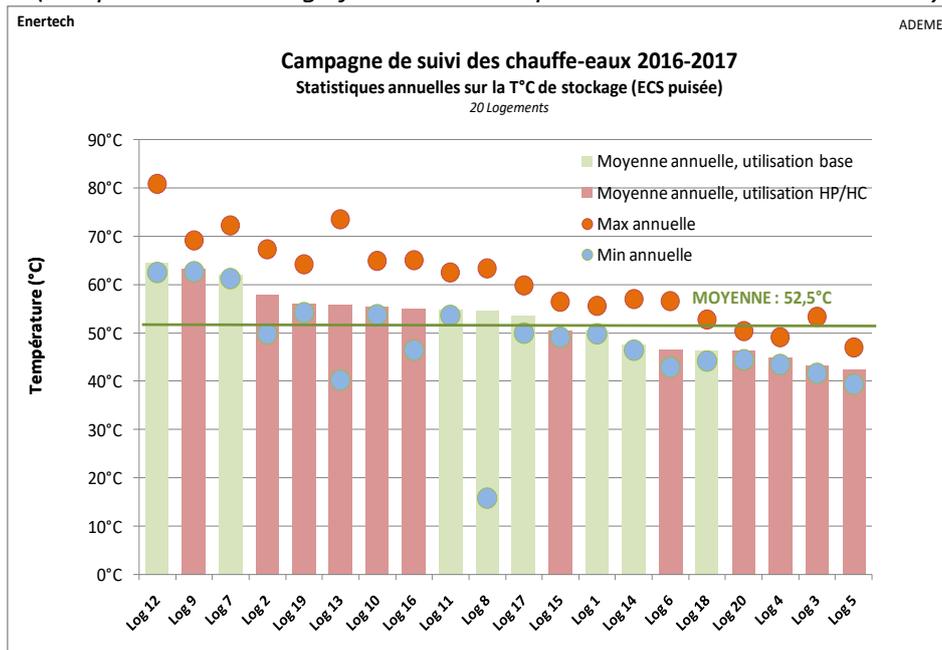


Figure 53 : moyennes et extremums des températures de stockage.

Cas particuliers

- Logt 8 : en vacances sur l'ensemble des mois de février, de juin et d'octobre à novembre. Alimentation du chauffe-eau coupée ; T°C stockage = T°C ambiant sur ces périodes.

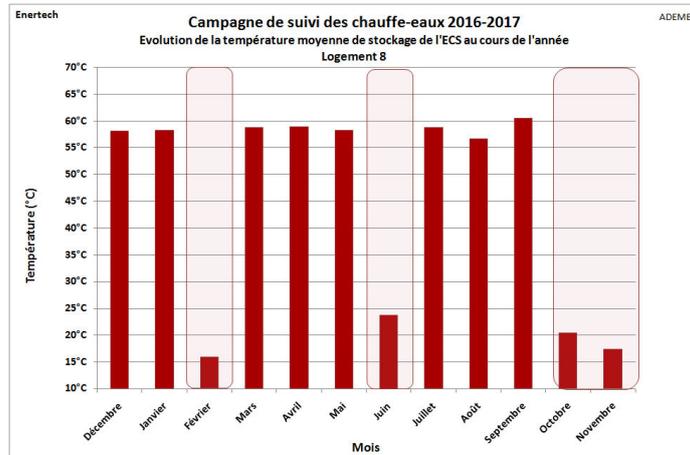


Figure 54 : évolution mensuelle de la température de stockage du logement 8.

- Logt 13 : l'occupant a baissé lui-même sa consigne mi-juillet (les utilisateurs déclaraient se brûler en puisant de l'eau chaude non mitigée).

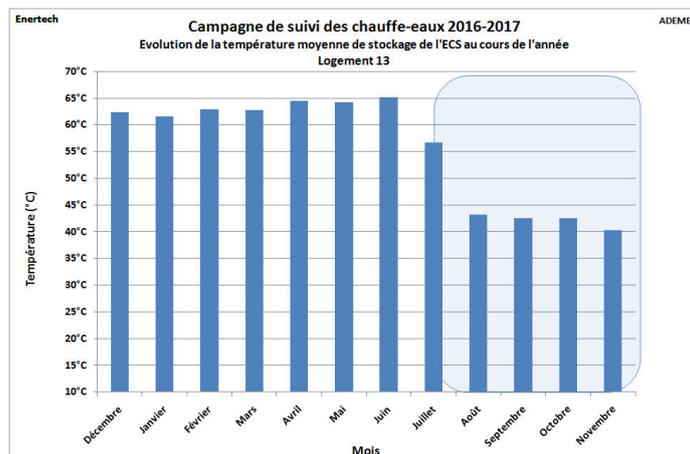


Figure 55 : évolution mensuelle de la température de stockage du logement 13.

- Logt 16 : à la pose du chauffe-eau (en même temps que le début de la mesure), la consigne semblait trop faible aux occupants. Les propriétaires ont demandé à l'installateur d'augmenter la consigne entre fin février et début mars.

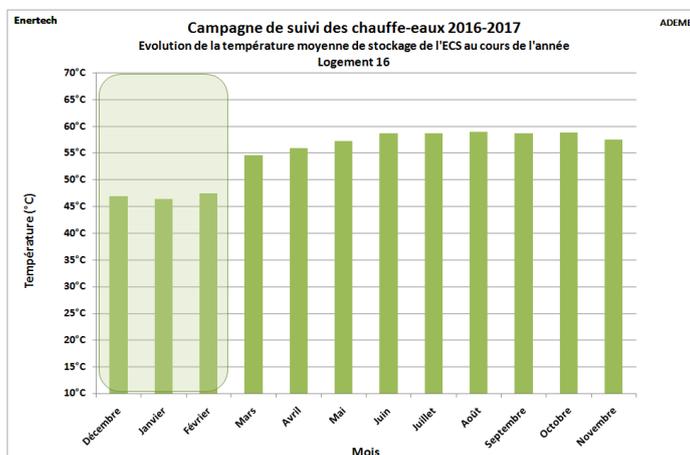


Figure 56 : évolution mensuelle de la température de stockage du logement 16.

3.3.4 Ecart stockage - ambiance

La moyenne des écarts de température entre ECS stockée et ambiance de notre échantillon est de 31,5°C (Figure 57), ce qui est plus faible que l'écart standard de 45°C communément appliqué aux chauffe-eaux pour calculer les pertes statiques (65°C stockage – 20°C ambiante).

Cet écart est lié à une température de stockage plus faible (52,5°C contre 65°C standard), conséquence du refroidissement par les puisages (Cf §3.3.2 et §3.3.3).

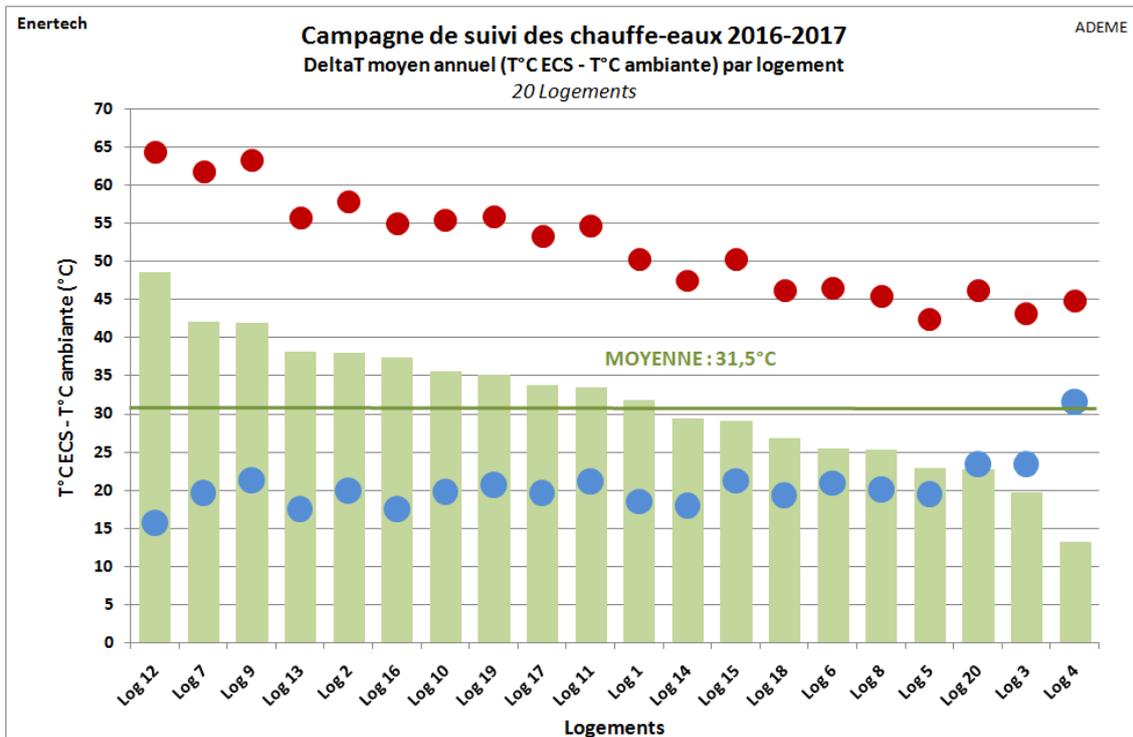


Figure 57 : moyennes et extremums des écarts de température « stockage-ambiance ».

3.3.5 Consigne de température et thermostats

Nota : Les températures maximales affichées sur le graphique de la Figure 58 ne sont pas des moyennes mais des valeurs uniques observées au pas de temps de la minute.

Nous avons pu constater lors de nos visites sur sites que la moitié des thermostats de notre échantillon n'était pas sur la position maximum (comme cela est pourtant le cas en sortie d'usine) c'est à dire la température maximale de consigne.

La température maximale de stockage enregistrée sur les 20 logements est en moyenne de 61°C. Nous constatons des écarts importants d'un logement à l'autre, avec une moyenne de 47°C pour le plus froid et 81°C pour le plus chaud (logement dont l'occupant a apparemment changé la résistance d'origine).

Nous distinguons une corrélation globale assez claire entre la position du thermostat et la T°C maximale atteinte, mais une correspondance précise reste très difficile à établir, soulignant par là la grande difficulté de réglage que les installateurs et les occupants rencontrent sur le terrain. Les thermostats sont en effet difficilement accessibles, les graduations sont peu lisibles et les correspondances avec des températures réelles (Figure 59) sont assez théoriques au regard des constatations faites sur le terrain.

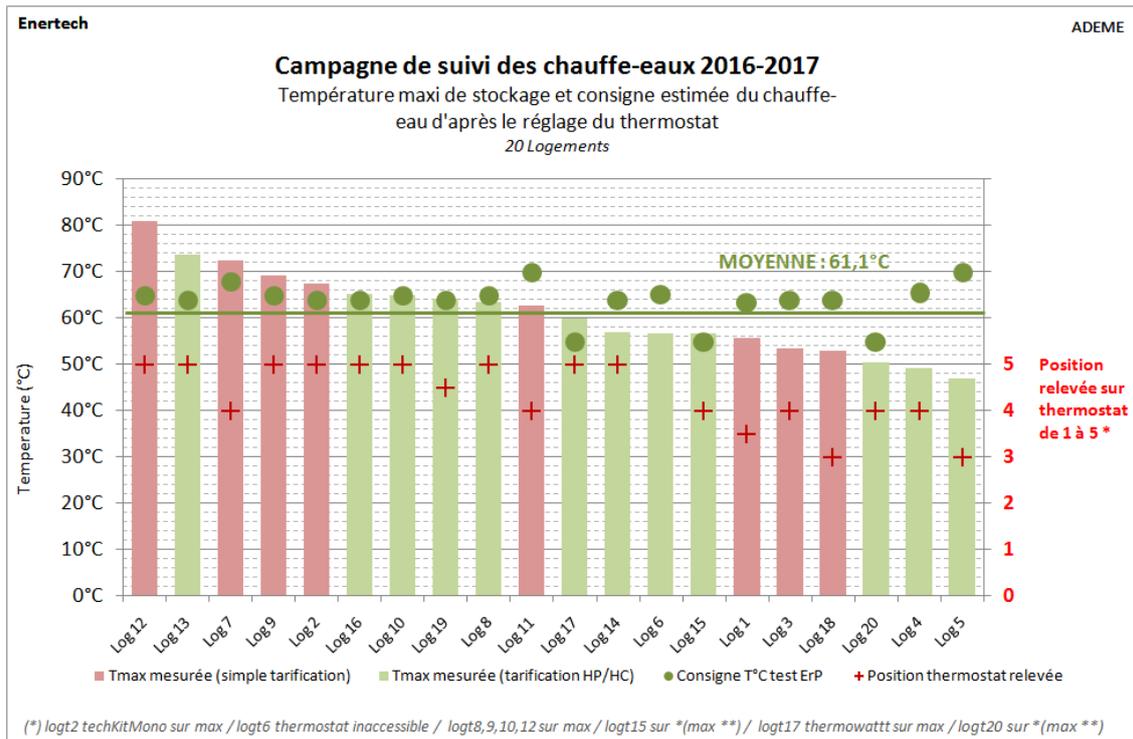


Figure 58 : comparaison des températures de stockage max. avec les positions des thermostats.

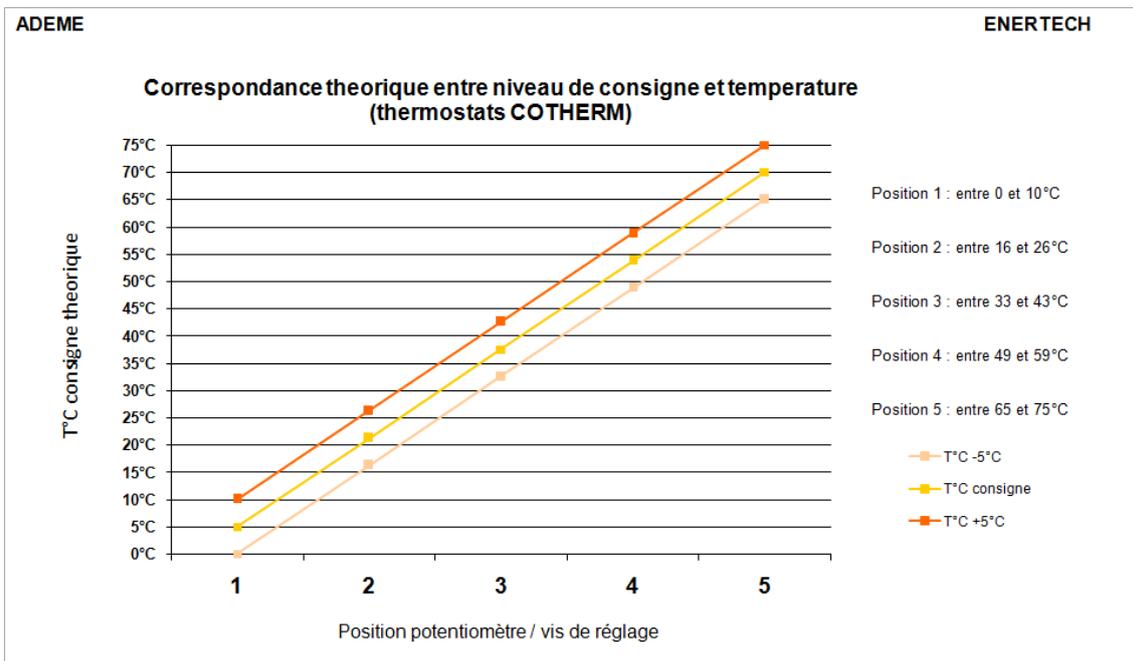


Figure 59 : température de stockage théorique en fonction de la position du thermostat (information Cotherm).

3.4 Etude des puisages

Certains graphiques de ce chapitre utilisent les volumes puisés en sortie de chauffe-eau, non mitigés, encore appelés « puisages à température de stockage ». Cependant la plupart des puisages utilisés dans ce chapitre sont exprimés en V40. Le V40 est un volume qui ramène l'énergie utile puisée à une température 40°C, proche de la température réelle d'usage.

Ce choix a été fait notamment en cohérence de l'étude ADEME-COSTIC de 2016 « *Guide technique – les besoins d'eau chaude sanitaire en habitat individuel et collectif* ». Comme souligné dans ce guide, l'indicateur V40 permet d'une part de pouvoir comparer des volumes sur une base commune (40°C), d'autre part de rapprocher au maximum ces volumes des volumes réels vus du point de puisage, ce qui limite la dépendance du résultat aux températures de stockage et d'eau froide qui varient dans le temps et d'un logement à l'autre.

Pour définir le V40 nous avons utilisé la formule suivante sur chacun des 17 000 puisages enregistrés :

$$V40 = \text{Volume puisé} \times (T^{\circ}\text{C stockage} - T^{\circ}\text{C eau froide}) / (40 - T^{\circ}\text{C eau froide})$$

3.4.1 Puisages à température de stockage

Le puisage non mitigé moyen observé tous logements compris est de 63L/j/logt (Figure 60). Des écarts importants sont constatés d'un logement à l'autre, avec 7,1L/j/logt pour le logement le moins consommateur et 161L/j/logt pour le plus consommateur.

Si l'on rapporte ces chiffres au nombre de personnes de chaque logement, on obtient une moyenne de 29 L/j/pers avec un minimum de 7.1L/j/pers et un maximum de 61L/j/pers.

Nous constatons également un écart important entre les moyennes annuelles et les valeurs maximales journalières de chaque logement (facteur 4,7). Nous voyons cependant sur le graphique de la Figure 61 que les puisages très supérieurs à la moyenne annuelle sont peu fréquents : les volumes puisés non mitigés sont assez stables au fil des jours.

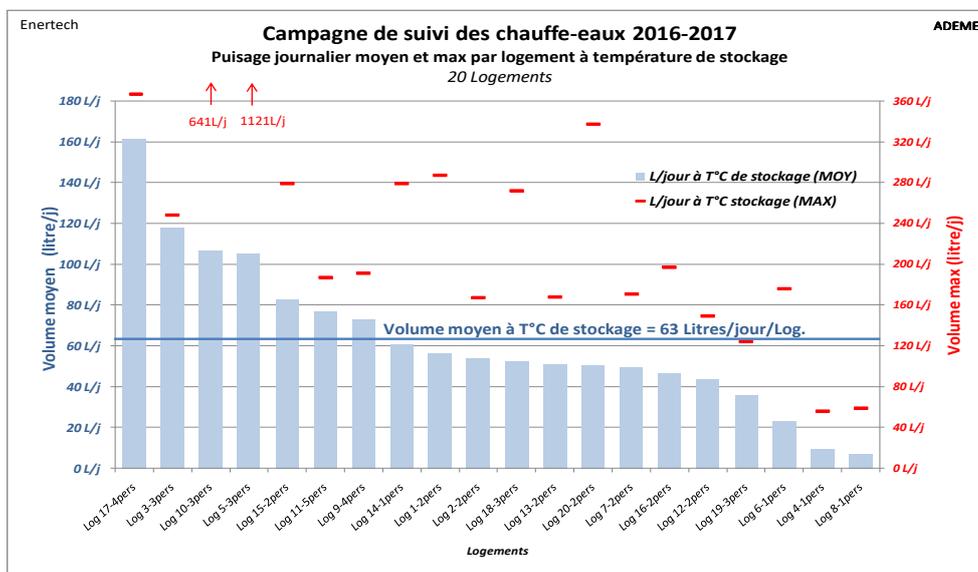


Figure 60 : histogramme des puisages moyens et max. journaliers par logements.

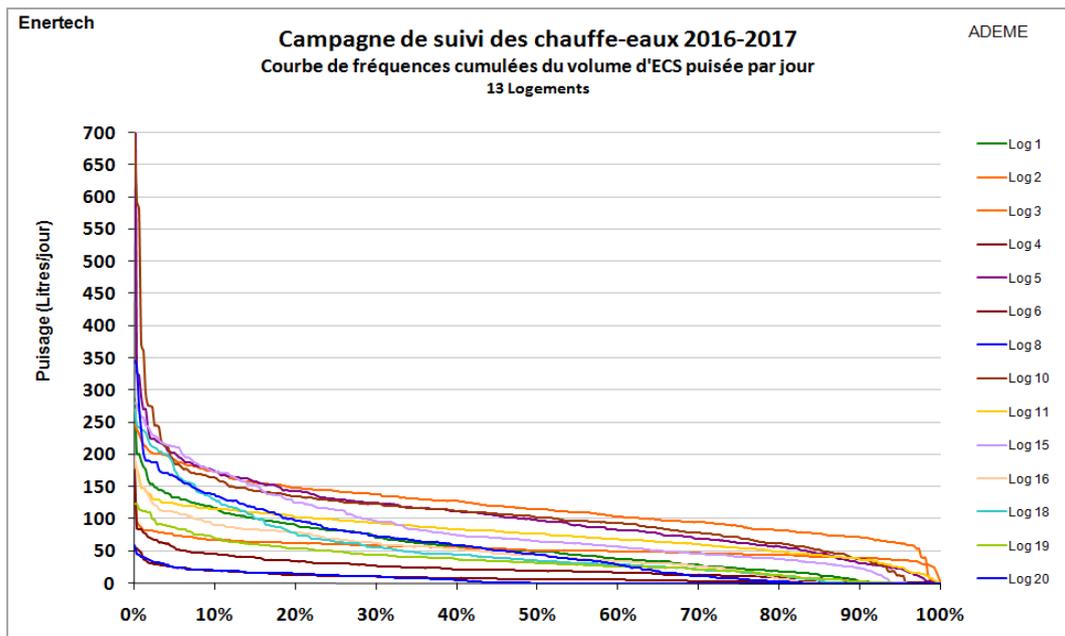


Figure 61 : courbe de fréquence cumulée des puisages non mitigés.

3.4.2 Puisages V40

Par Logement (Figure 62)

Le puisage V40 moyen mesuré est de 96L/j/logt. On constate des écarts importants d’un logement à l’autre avec une moyenne de 12L/j/logt pour le moins consommateur et 252L/j/logt pour le plus consommateur (facteur 1 à 21).

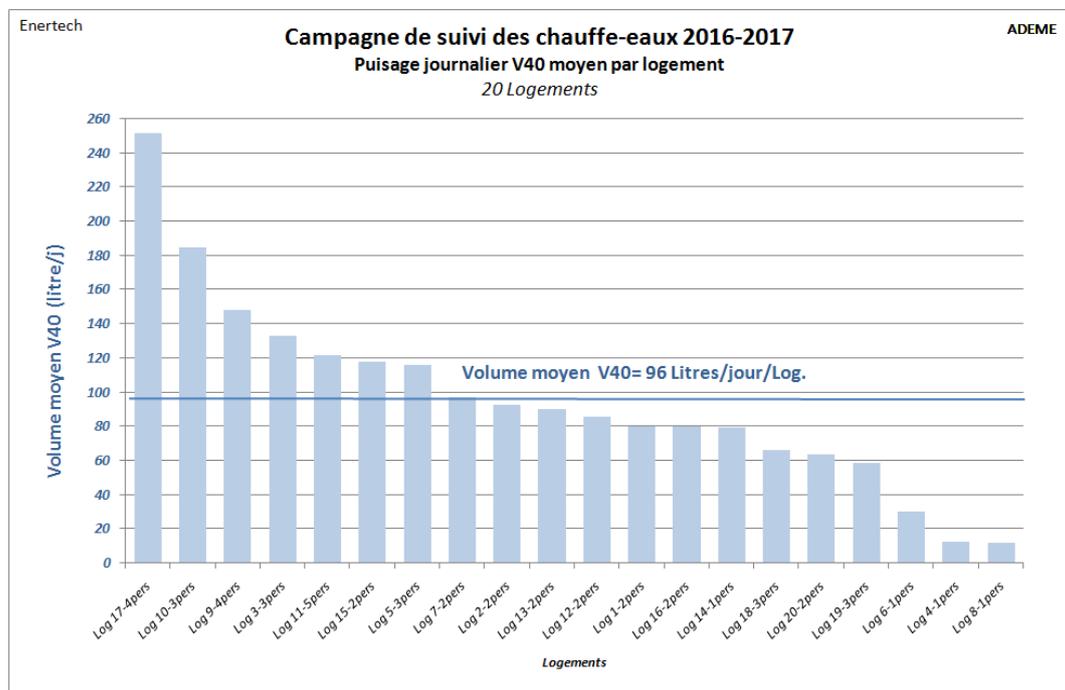


Figure 62 : Histogramme des puisages journalier V40 par logements.

Par personne (Figure 63)

Ramené au nombre de personnes du logement, le puisage V40 moyen mesuré est de 40L/j/pers. Ce chiffre est à rapprocher de la valeur fournie dans le guide ADEME-COSTIC de $56 \pm 23L/j/pers$ à 40°C, et indique une bonne représentativité statistique de l’échantillon.

La disparité des résultats demeure importante avec un minimum observé à 12L/j/pers et un maximum de 79L/j/pers pour le plus important (facteur 1 à 7).

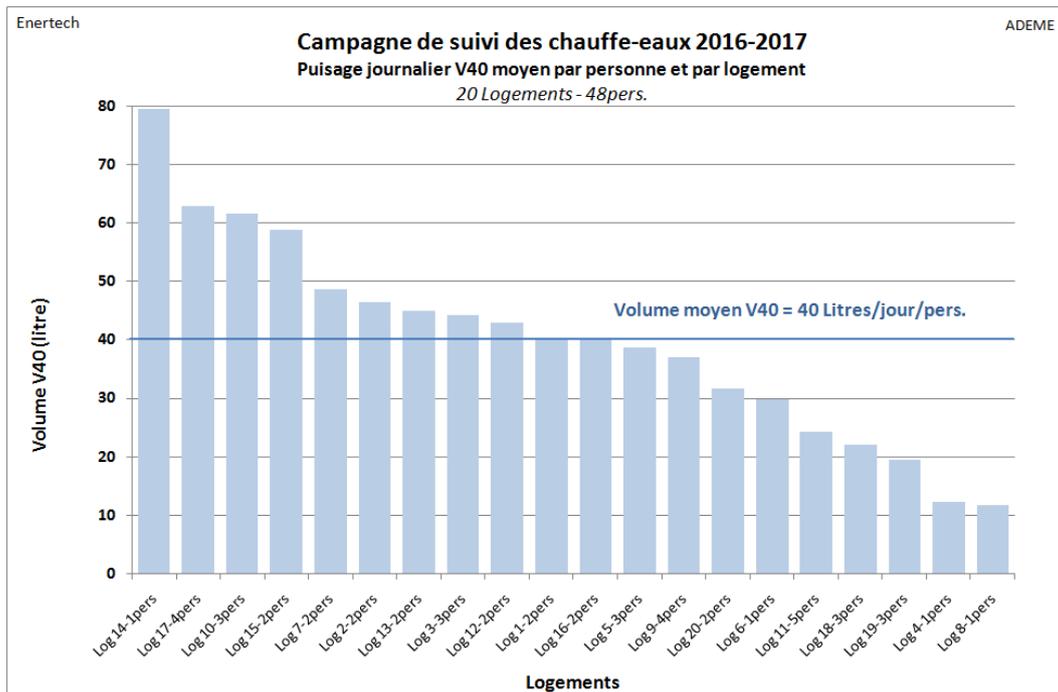


Figure 63 : histogramme des puisages journaliers V40 par logement et par personne.

3.4.3 Débits instantanés mesurés aux points de puisages

Les débits instantanés aux points de puisage d’ECS ont été mesurés dans chacun des 20 logements. Ils varient d’un facteur :

- 1 à 3,5 pour l’évier cuisine (moyenne 9.2L/min) ;
- 1 à 4 pour le lavabo de la salle de bain (moyenne 8.4L/min) ;
- 1 à 3 pour la douche (moyenne 8.2L/min) ;

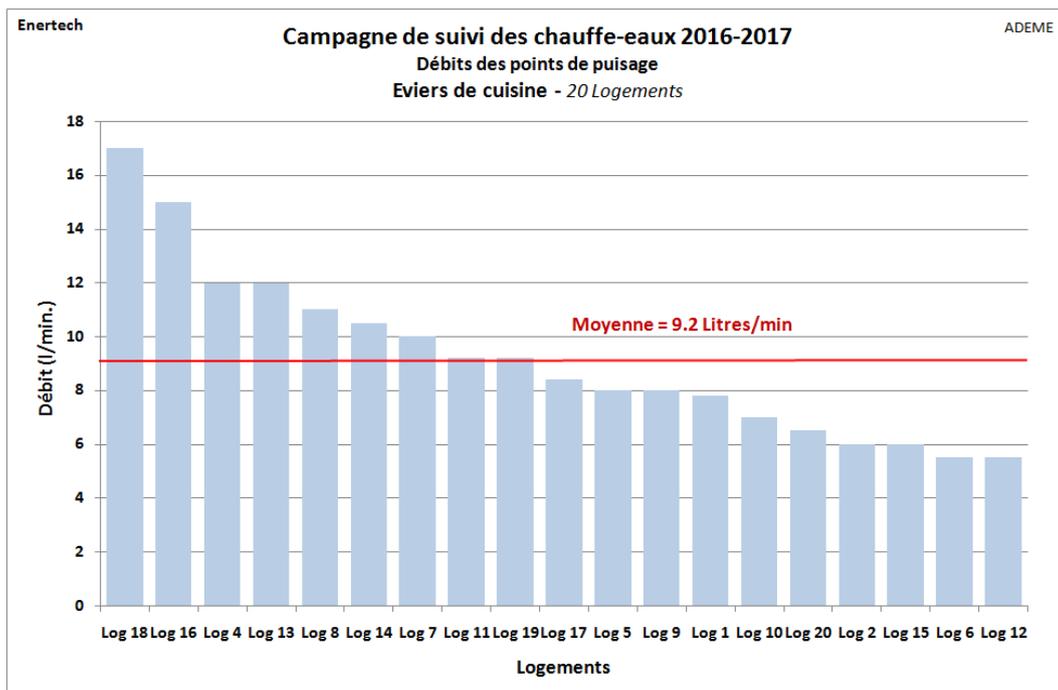


Figure 64 : histogramme des débits instantanés mesurés aux éviers cuisines.

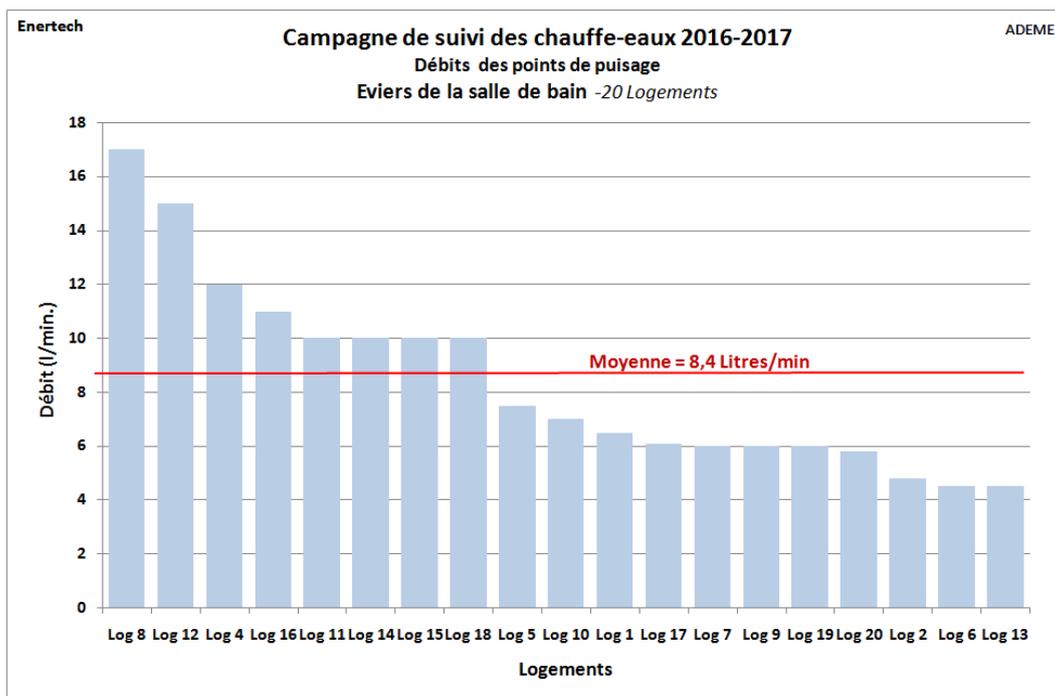


Figure 65 : histogramme des débits instantanés mesurés aux lavabos des salles de bains.

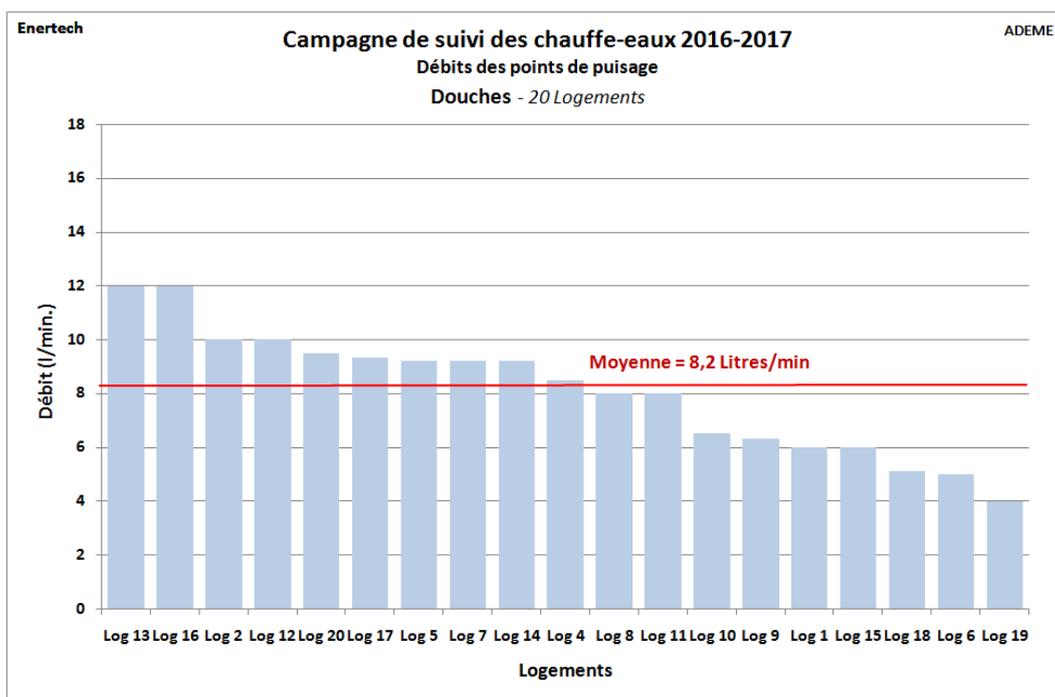


Figure 66 : histogramme des débits instantanés mesurés aux pommeaux de douche.

3.4.4 V40 et débits instantanés

Afin de définir un débit instantané unique par logement, représentatif de l'ensemble des points de puisages, nous avons défini le débit suivant :

$$\text{DEBIT} = 75\% \text{ débit douche} + 20\% \text{ débit cuisine} + 5\% \text{ débit lavabo SdB}$$

Aucune corrélation franche n'a pu être observée entre le débit instantané ainsi défini et les volumes d'ECS V40 puisés (Figure 67).

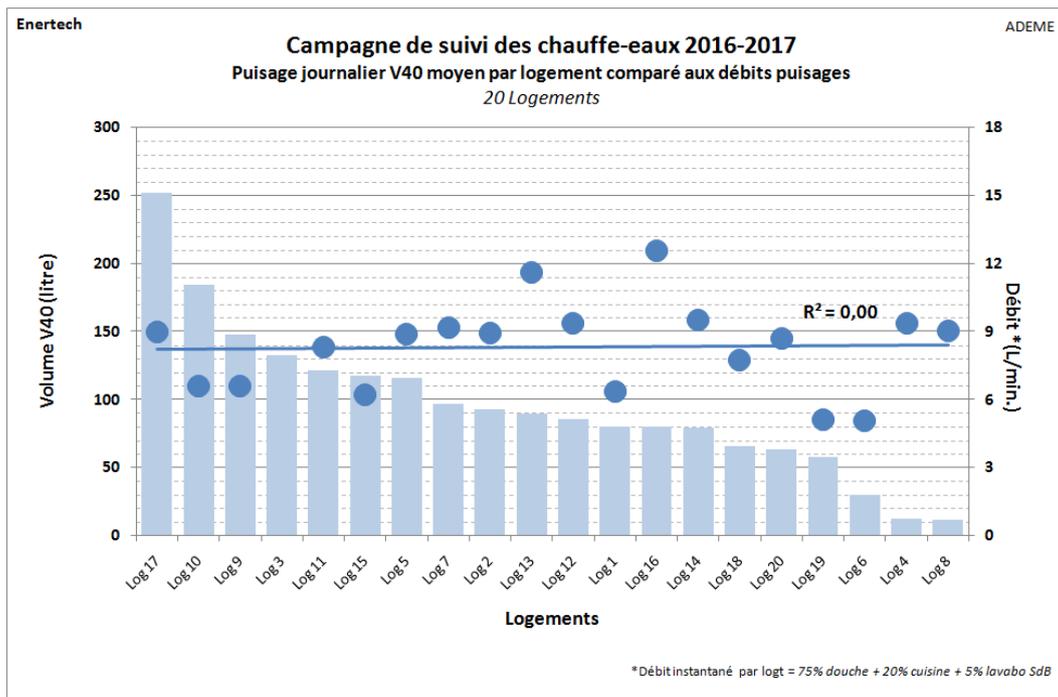


Figure 67 : puisages V40 et débits instantanés.

3.4.5 V40 et longueur de distribution

Une longueur de distribution du réseau ECS a été mesurée dans chaque logement. Elle correspond à la somme des longueurs de distribution d’eau chaude sanitaire de tous les points de puisage.

Aucune corrélation forte n’est observée entre la longueur ainsi définie et les volumes d’ECS V40 puisés (Figure 68).

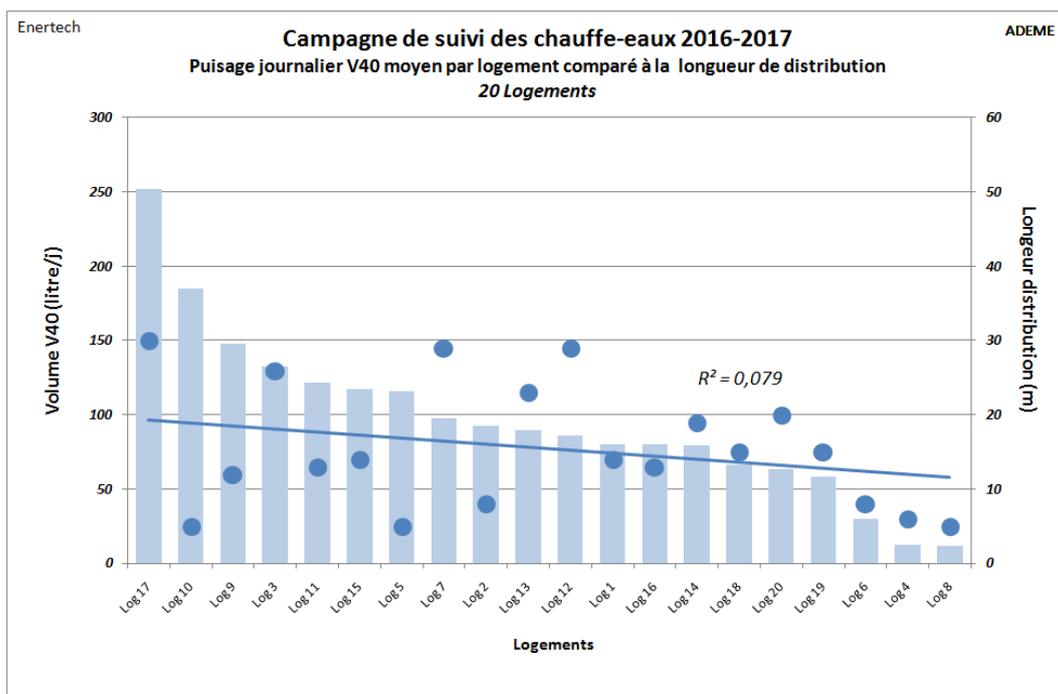


Figure 68 : puisages V40 et longueurs de distribution du réseau ECS.

3.4.6 V40 et durée de puisage

Les statistiques que nous présentons sur la durée des puisages ne prennent en compte que les puisages d'une durée supérieure à 1 minute (pas de temps de la mesure).

Nous observons une corrélation forte entre les puisages V40 et les puisages supérieurs à 1 minute (Figure 69). La durée de puisage (liée au nombre et au comportement des usagers) semble donc plus influente sur les écarts en V40 d'un logement à l'autre, que l'écart des débits instantanés aux points de puisages ou les longueurs de distribution.

Cela ne signifie pas qu'une réduction globale des débits par des dispositifs hydro-économiques sera sans effet sur la réduction des consommations, mais bien que de tels dispositifs seront sans effets, au premier ordre, sur la disparité des volumes puisés d'un logement à l'autre.

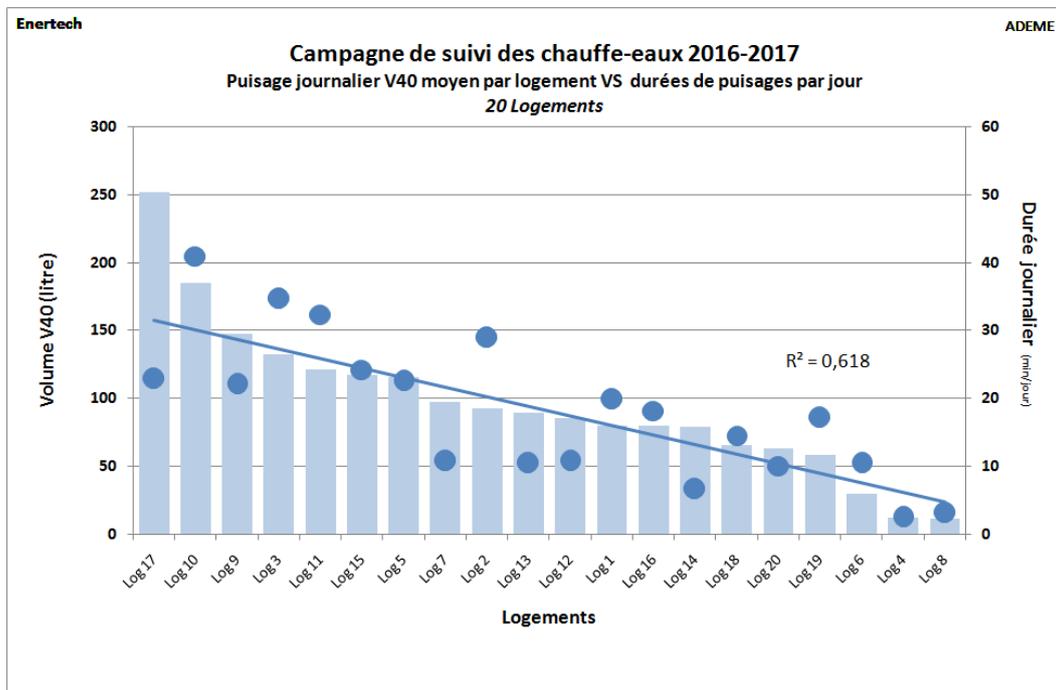


Figure 69 : puisages V40 et durées moyennes journalières des puisages.

3.4.7 Répartition des durées de puisage

Les longs puisages (>2min) représenteraient plus de la moitié des consommations d'ECS (Figure 70). Il s'agit principalement des douches, des bains et de la vaisselle au fil de l'eau. D'après le questionnaire rempli par les participants :

- le nombre de bains ou douches varie de 1 à 14 par personne et par semaine (Figure 30) ;
- dans près de la moitié des logements, les gens disent faire de la vaisselle au fil de l'eau (chaude).

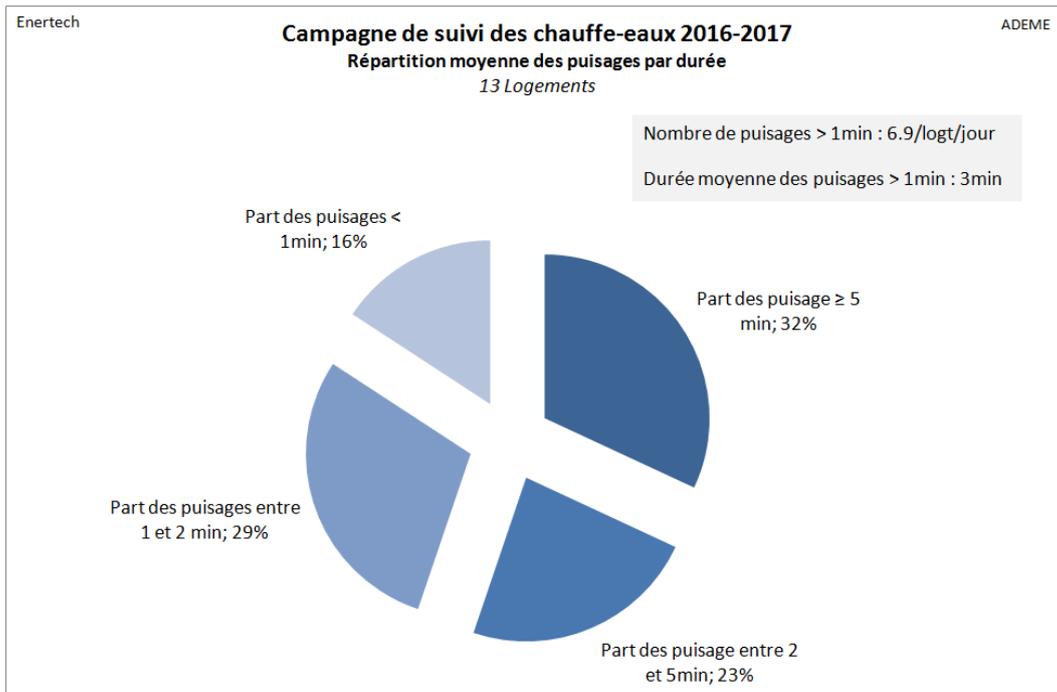


Figure 70 : répartition des durées de puisages mesurées.

3.4.8 Puisages V40 : évolution mensuelle

Nous constatons un effet de saisonnalité plus important sur les puisages non mitigés que sur les V40, avec une diminution estivale moyenne de 40% pour les puisages non mitigés contre 23% pour le V40 (Figure 71). La diminution estivale des consommations d’eau chaude vues du chauffe-eau s’explique donc à la fois par la diminution du volume d’eau chaude puisé au robinet (en température essentiellement), et par l’augmentation de la température de l’eau froide qui diminue le besoin de mélange.

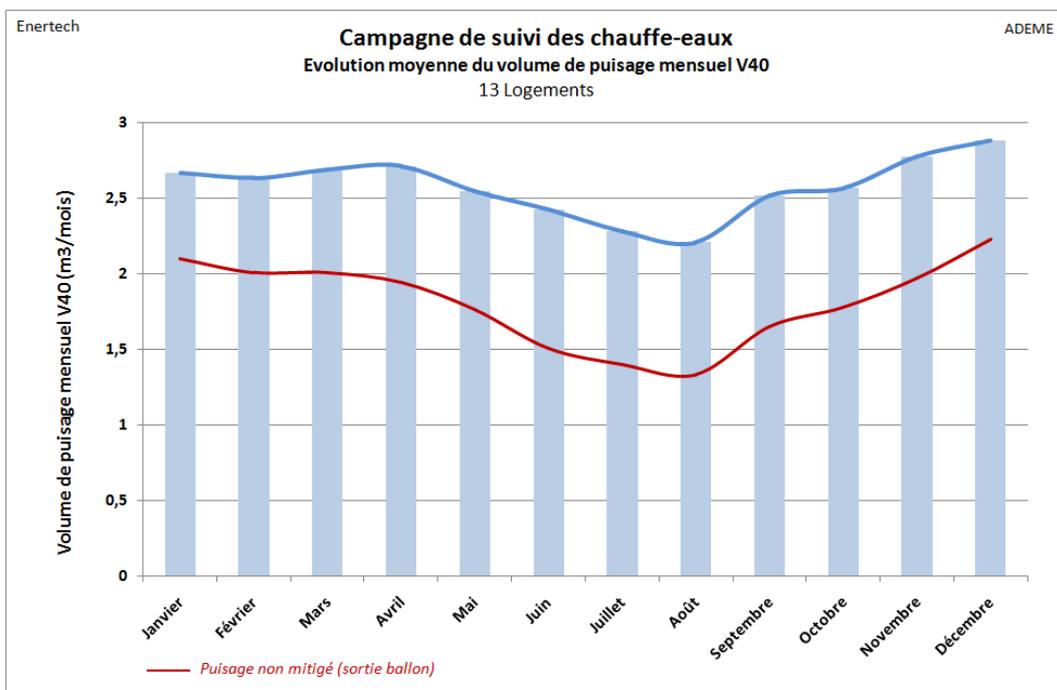


Figure 71 : évolution mensuelle des puisages d’ECS en V40 et en volume non mitigé (sortie chauffe-eau).

3.4.9 Puisages V40 : évolution hebdomadaire

Nous observons une augmentation moyenne du puisage V40 le week-end (Figure 72), mais elle reste relativement faible (+12% le week-end par rapport au reste de la semaine).

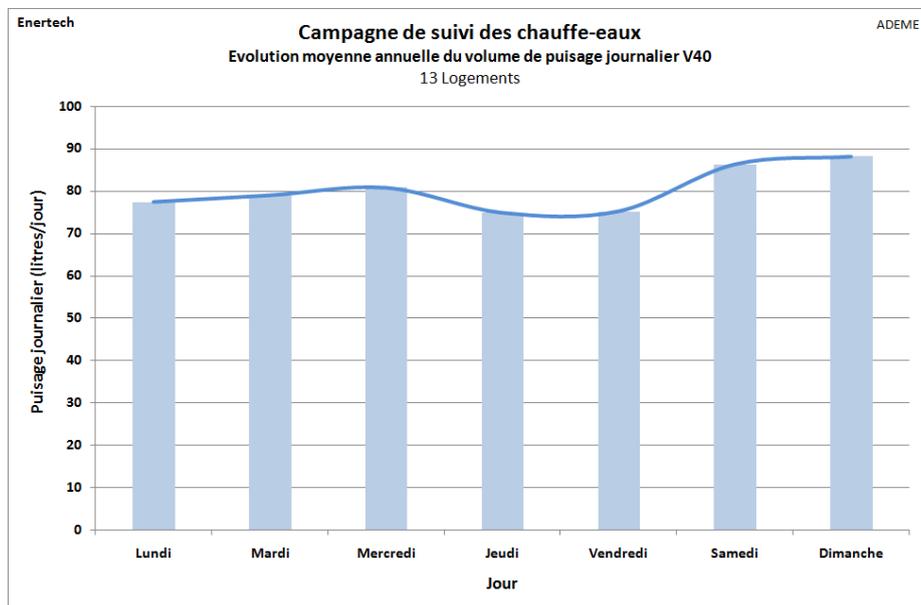


Figure 72 : évolution journalière des puisages V40.

3.4.10 Courbe de charge journalière V40

Les courbes de charges journalières moyennes des puisages présentent un pic principal de 17h à 22h, plus marqué en hiver qu’en été.

- En été, ce pic de puisage représente 35% du puisage journalier (Figure 73).
- En hiver, ce pic de puisage représente 43% du puisage journalier (Figure 74).

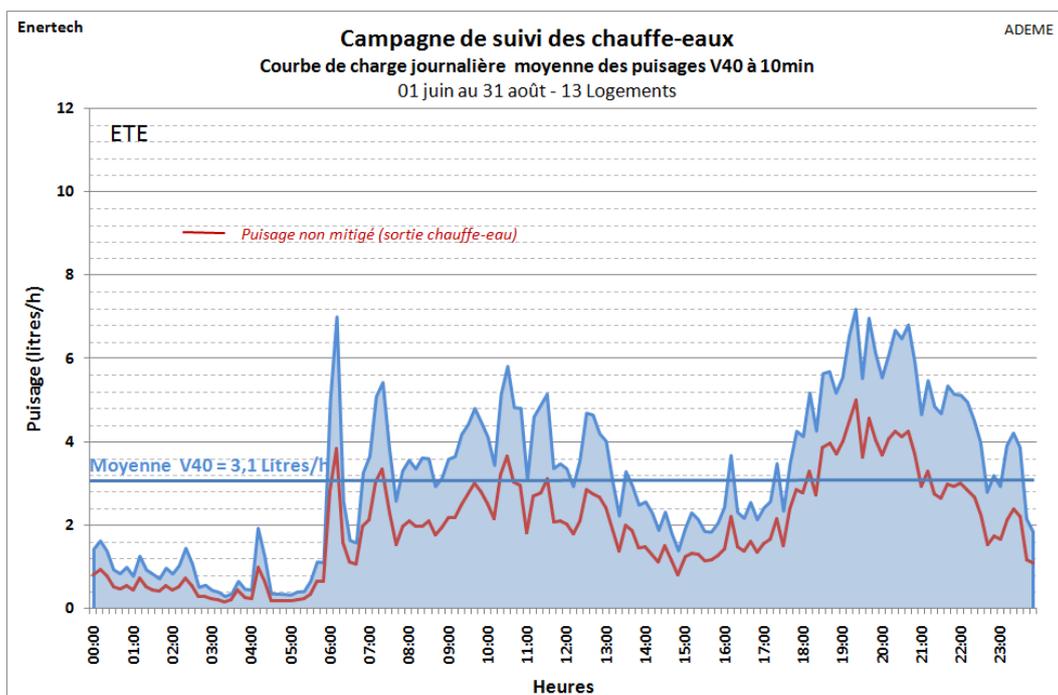


Figure 73 : courbe de charge journalière estivale des puisages V40.

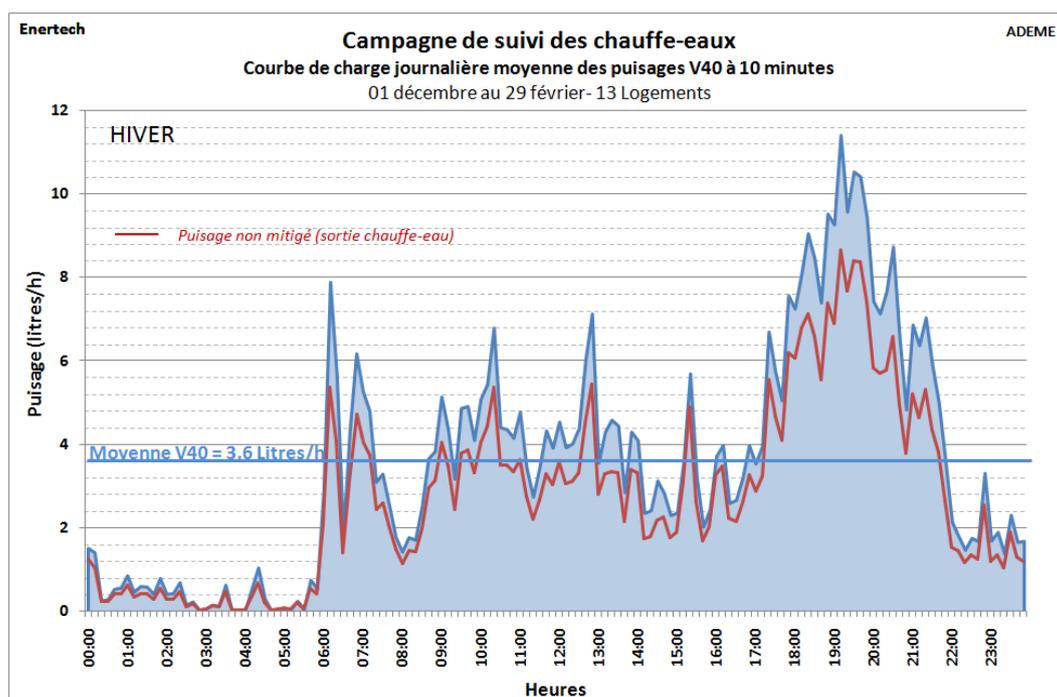


Figure 74 : courbe de charge journalière hivernale des puisages V40.

3.4.11 Energie utile puisée et profils ERP

Les courbes de fréquences cumulées des Figure 75 et Figure 76 présentent la variabilité de l'énergie utile puisée par jour et par logement.

- Pour les logements équipés de chauffe-eaux étiquetés profil L (11.655kWh/jour), on observe que ce profil représente bien un maximum qui n'est quasiment jamais atteint.
- Pour les logements équipés de chauffe-eaux étiquetés profil M (5.655kWh/jour), on observe que ce niveau est rarement atteint, hormis dans le logement 1 (2pers – 150L) et le logement 10 (3pers – 150L) qui ont connu de puisages supérieurs au profil M durant respectivement 40 et 127 jours.
- L'énergie utile réellement puisée est en moyenne 2 à 5 fois inférieure à celle des profils ERP.

Ces observations confirment :

- la tendance au surdimensionnement des chauffe-eaux (évoqué au §2.2.1) ;
- le caractère « maximal » des profils réglementaires, qui par définition se révèlent impropres à quantifier la part relative des puisages et des pertes observée en moyenne sur le terrain (évoqué au §1.3.1).

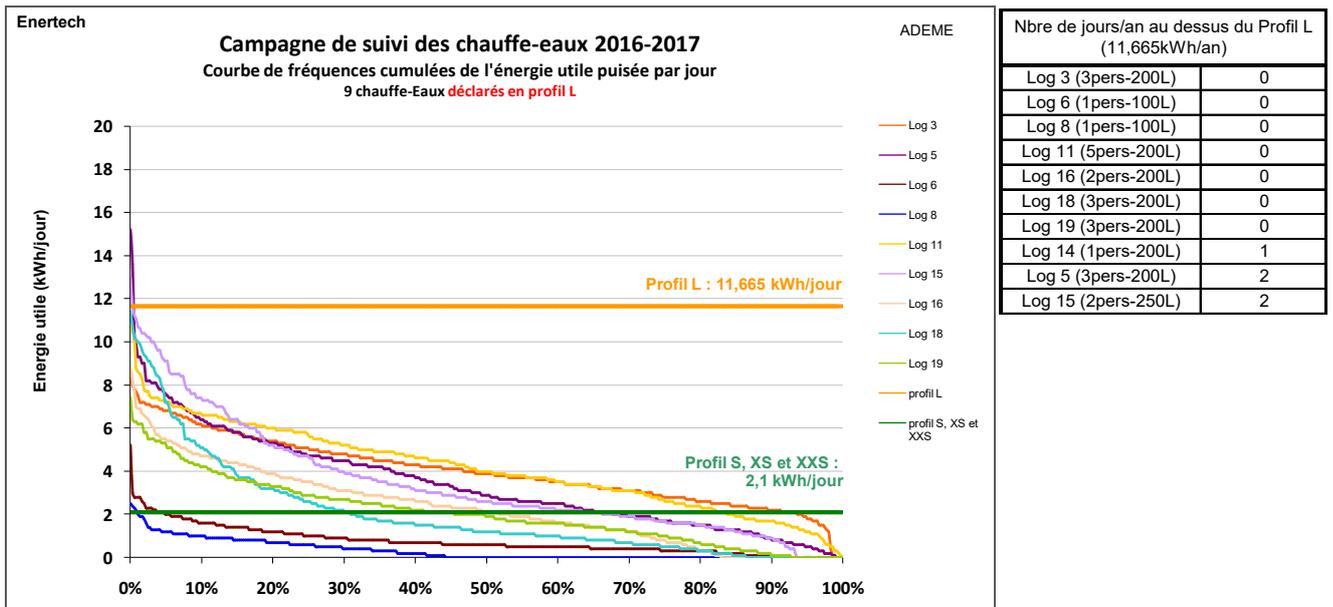


Figure 75 : courbes de fréquences cumulées d'énergie utile puisée sur les chauffe-eaux qualifiés en profil L.

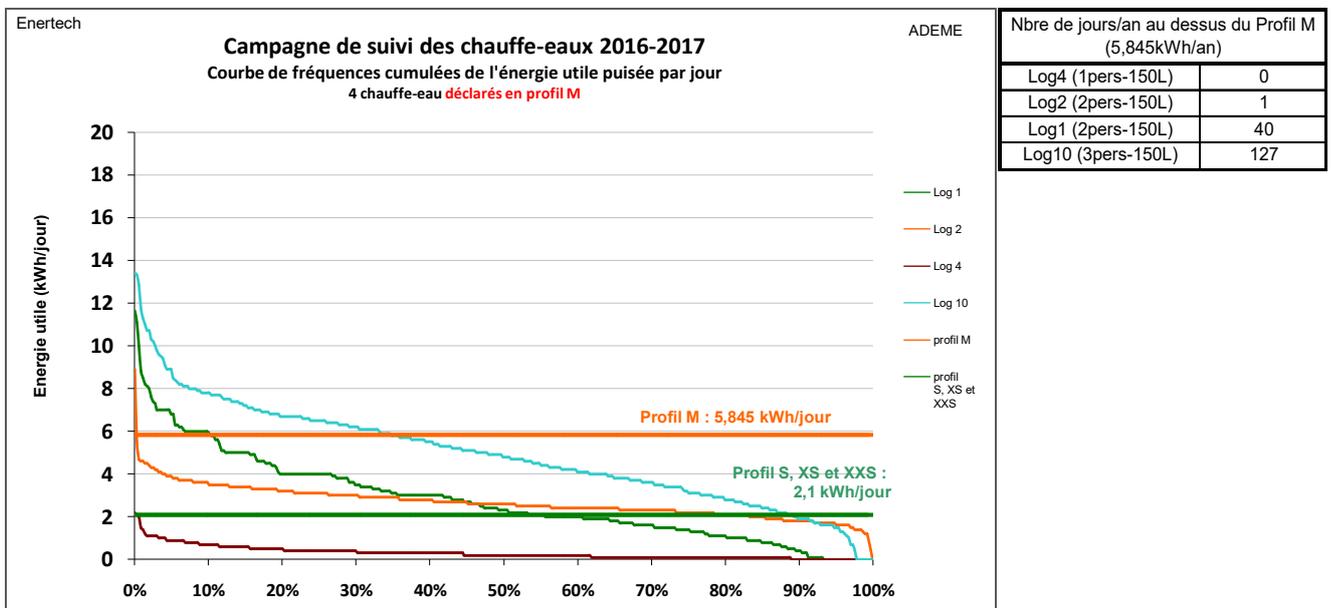


Figure 76 : courbes de fréquences cumulées d'énergie utile puisée sur les chauffe-eaux qualifiés en profil M.

3.5 Pertes statiques et rendements

3.5.1 Rappels des termes

L'efficacité énergétique d'un chauffe-eau pourrait être simplement définie par :

$$\eta = \frac{\text{Energie Utile}}{\text{Energie Consommée}} \quad \eta = \frac{\text{Energie électrique}}{\text{Energie puisée}}$$

A cette formule peut venir s'ajouter un facteur de coefficient de 2.58 si l'on souhaite raisonner en énergie primaire sur l'énergie consommée.

Une première remarque est que pour un système à accumulation qui a des pertes à l'arrêt, l'efficacité est directement liée à la quantité puisée et donc au comportement de l'utilisateur final. **Le seul indicateur d'efficacité énergétique purement inhérent au produit est la valeur de ses pertes statiques dans certaines conditions de températures stockage/ambiance.**

On rappelle ci-dessous les principales grandeurs ERP et NF Performance qui concernent l'efficacité et les pertes statiques (rappels du §1.3).

ERP et efficacité énergétique

L'efficacité énergétique est calculée en énergie primaire et sert à définir la classe énergétique. Elle est modifiée d'un facteur de correction d'ambiance (Q_{cor}) et le cas échéant d'un facteur lié à la présence d'une fonction smart.

$\eta_{wh} = \frac{Q_{ref}}{(Q_{fuel} + CC \cdot Q_{elec})(1 - SCF \cdot smart) + Q_{cor}}$ $Q_{cor} = -k \cdot (CC \cdot (Q_{elec} \cdot (1 - SCF \cdot smart) - Q_{ref}))$ $SCF = 1 - \frac{Q_{fuel,week,smart} + CC \cdot Q_{elec,week,smart}}{Q_{fuel,week} + CC \cdot Q_{elec,week}}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>Formule simplifiée dans le cas d'un chauffe-eau électrique non smart :</p> $\eta_{wh} = Q_{ref} / (2.58 * (Q_{elec} - 0.23 * (Q_{elec} - Q_{ref})))$ </div>	<p>η_{wh} = « efficacité énergétique » (%) Q_{ref} = « puisage utile journalier » (kWh/j) issu du profil de puisage réglementaire (M, L, XL,...). Q_{elec} = consommation électrique journalière mesurée. CC = « coefficient de conversion », E primaire/E finale (2.58). Q_{cor} = « terme de correction d'ambiance », un terme, exprimé en kWh, qui tient compte du fait que le lieu d'installation du chauffe-eau n'est pas thermiquement isolé (0.23). k = 0.23 « terme de correction d'ambiance » qui tient compte du fait que le local du chauffe-eau n'est pas thermiquement isolé. (0.23 de 3XS à XL et 0 pour XXL). SCF = « facteur de commande intelligente ». Si SCF ≥ 0.07 alors smart=1.</p>
---	---

NF PERFORMANCE et consommation d'entretien

Pour l'estimation des pertes statique, ou consommation d'entretien (Q_{pr} en kWh/24h), une régulation externe est utilisée pour réguler précisément le chauffe-eau à 65°C, pour une température ambiante de 20°C.

Selon les fabricants, cette mesure de la consommation électrique nécessaire au maintien en température du ballon s'effectue sur une période d'environ une semaine (**NF EN 60379**).

NF PERFORMANCE et constante de refroidissement

La constante de refroidissement (Cr ou K en Wh/24h/l/K) est déduite de la consommation d'entretien (Q_{pr}) par un calcul défini par le LCIE, tel que :

$$K = (Q_{pr} / (\text{Capacité ballon} * 0.45)) * 1000 * 0.95.$$

Le facteur 0.95 a été introduit pour traduire l'effet du différentiel de température de régulation des appareils.

3.5.2 Pertes statiques : mesure et NF performance

Les pertes statiques des 20 chauffe-eaux suivis ont été déduites des mesures des consommations électriques et de l'énergie utile puisée (Figure 77).

Ces pertes mesurées sont globalement cohérentes avec les données NFP compte-tenu :

- des écarts entre les DT moyens observés et les 45°C standards utilisés par NFP.
- de l'imprécision sur nos mesures de la température de stockage moyenne des chauffe-eaux, liée au fait que nos sondes ne fournissent une mesure valable de la température stockée que lors de puisages suffisamment longs.

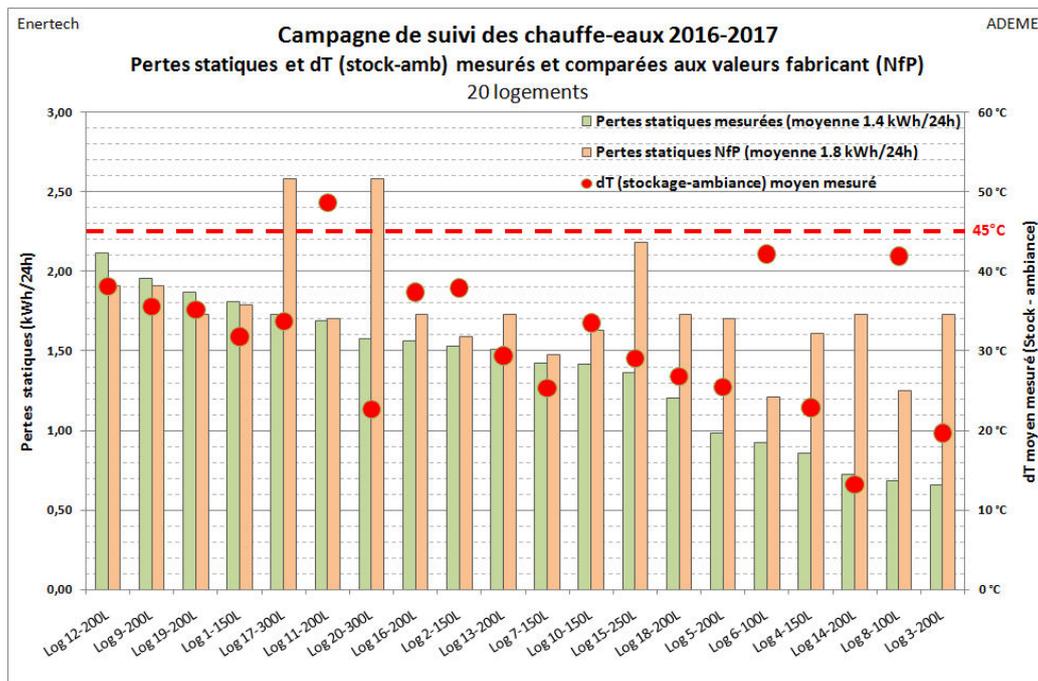


Figure 77 : comparaison mesure et NFP des pertes statiques.

La part relative des pertes statiques est indiquée en Figure 78. Elle est en moyenne de 37% (avec un minimum à 14% et un maximum à 74%).

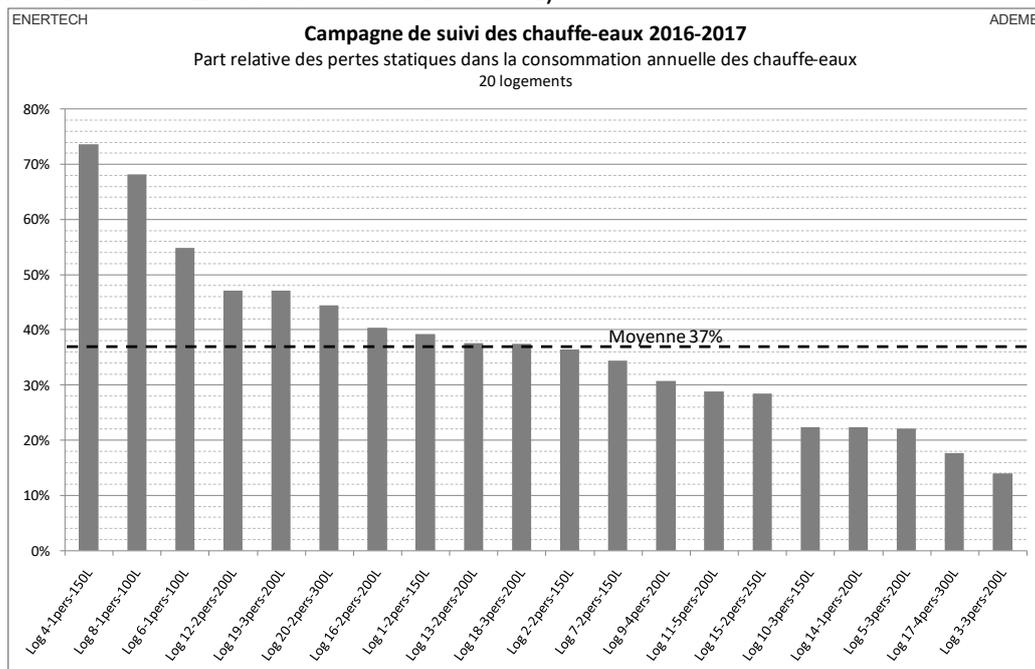


Figure 78 : Part relative des pertes statiques dans la consommation totale des chauffe-eaux.

3.5.3 Constante de refroidissement : mesure et NF performance

Les constantes de refroidissements calculés sur les 20 chauffe-eaux suivis sont également cohérentes des données NFP (Figure 79) malgré les incertitudes évoquées ci-dessus et les imprécisions liées à l'annualisation de la constante :

- Cr moyen mesuré = 0.23Wh/j/L/K ;
- Cr moyen NFP = 0.21Wh/j/L/K.

Les jaquettes présentes sur les chauffe-eaux des logements 3 et 12 (voir photos du §2.2.3) ne conduisent pas à une amélioration sensible du Cr (Figure 79). Ces jaquettes ne doivent pas être suffisamment isolantes car des mesures effectuées en interne avec une jaquette isolante de 50mm (chapeau supérieur 100mm) nous ont permis de mesurer une diminution du Cr de l'ordre de 30%.

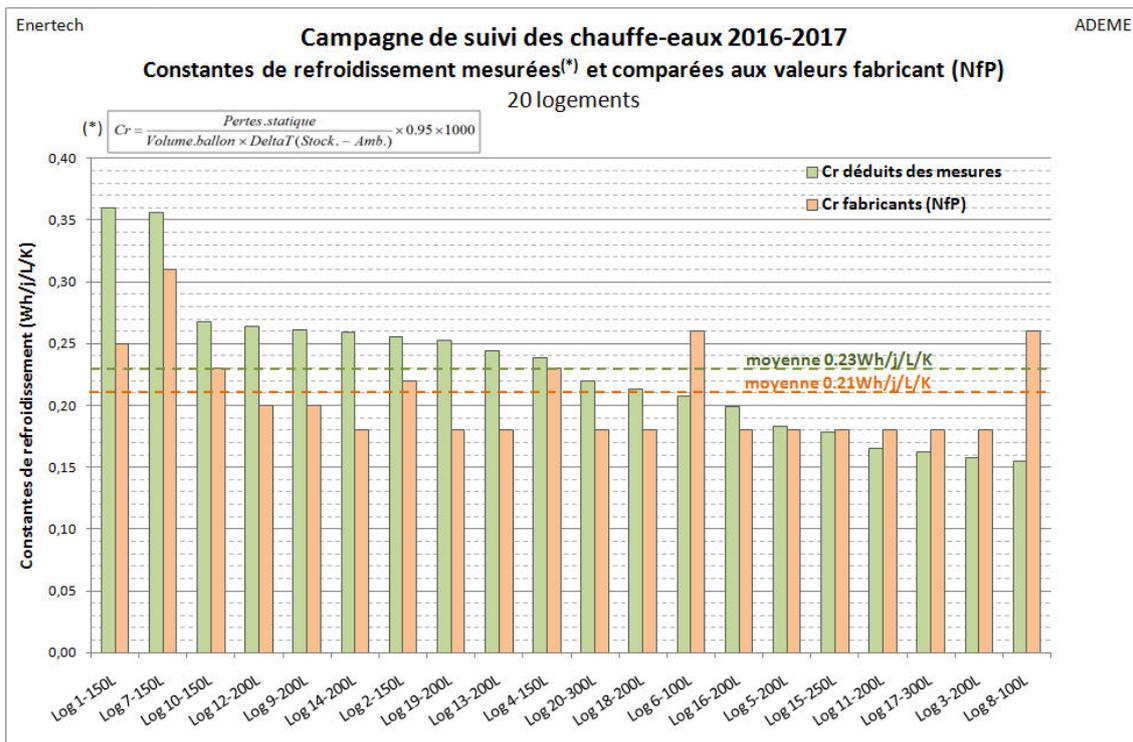


Figure 79 : comparaison mesure et NFP des constantes de refroidissement.

3.5.4 Classe énergétique et efficacité : mesure et ERP

Les efficacités annuelles réelles tirées de la mesure sont globalement plus faibles, de une à quatre classes d'efficacité énergétique, que les efficacités ERP (Figure 80 et Figure 81).

Ceci est lié au fait :

- que l'énergie utile réellement puisée est *en moyenne* très inférieure à celle des profils réglementaires ERP, ce qui diminue l'efficacité toutes choses égales par ailleurs ;
- que les pertes réelles prennent une part plus importante dans la consommation totale des appareils étant donné que les températures moyennes de stockage sont plus élevées que celles des tests ERP qui sollicitent (donc refroidissent) plus les chauffe-eaux en maximisant les puisages.

Tandis que les chauffe-eaux sont tous de classe C au sens ERP, ils n'atteignent qu'une classe D à G sur le terrain pour ces deux raisons.

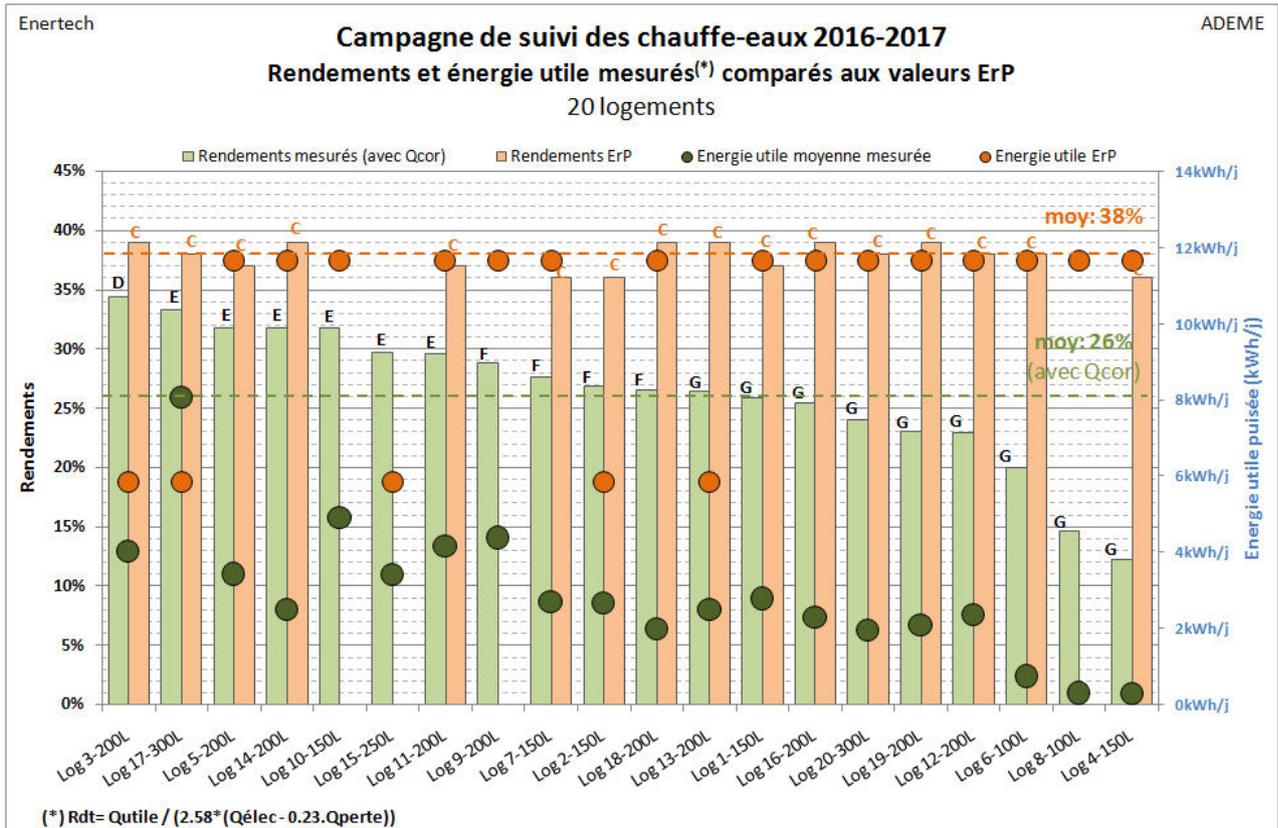


Figure 80 : comparaison mesure et ERP des classes énergétiques et des rendements.

	M	L
B	$39 \leq \eta_{wh} < 65$	$50 \leq \eta_{wh} < 75$
C	$36 \leq \eta_{wh} < 39$	$37 \leq \eta_{wh} < 50$
D	$33 \leq \eta_{wh} < 36$	$34 \leq \eta_{wh} < 37$
E	$30 \leq \eta_{wh} < 33$	$30 \leq \eta_{wh} < 34$
F	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$
G	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$

Figure 81 : classification ERP selon le rendement et le profil de soutirage (UE 812/2013 Annexe II).

4 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'ADEME a souhaité mesurer les performances des chauffe-eaux en conditions réelles au travers d'une campagne de mesure d'un an (01/12/2016 à 01/12/2017), au pas de temps de la minute, sur vingt sites résidentiels existants. Les principaux résultats obtenus sont rappelés dans le Tableau 10.

PRINCIPAUX RESULTATS CdM 20 Chauffe-eaux à accumulation à effet joule	
Puisages (m3/an)	23 m3/an
Puisage V40 (m3/an)	34 m3/an
T°C eau froide	16,4 °C
T°C ambiance local	20,5 °C
T°C eau chaude stockage	52,1 °C
Conso. électrique (kWh/an)	1 560 kWh/an
Energie Utile (kWh /an)	1 057 kWh/an
Pertes statiques (kWh/an)	504 kWh/an
Constante refroidissement <i>déduite mesure</i> (Wh/j/L/K)	0,23
Rendement (coeff 2,58)	24%

Tableau 10 : résultats moyens de la campagne de mesure.

En parallèle de cette évaluation, une réflexion sur l'état de l'art de la filière et sur la réglementation à été menée.

Avec près de la moitié des foyers français équipés et un renouvellement annuel de l'ordre de 10% de l'ensemble du parc (1,6 d'unités millions vendues en 2016), le chauffe-eau à effet joule demeure une référence incontournable pour la production d'eau chaude sanitaire, par sa simplicité d'intégration et sa fiabilité.

La campagne de mesure a permis d'estimer:

- que les chauffe-eaux à effet joule en résidentiel représenteraient 5.5% de la consommation totale d'électricité du pays ;
- qu'ils représentent environ 30% de la facture d'électricité des ménages équipés ;
- que les pertes statiques des chauffe-eaux représentent 37% de leur consommation totale, malgré la mise en place du label NF Performance qui a peu à peu écarté du marché les modèles très peu isolés.

Depuis le 26 septembre 2015, la réglementation européenne impose des exigences d'éco-conception aux fabricants de chauffe-eaux ainsi que la fourniture d'une étiquette énergie (ERP).

L'étude de cette réglementation et la comparaison des protocoles de test aux mesures, montrent plusieurs défaillances nuisibles à une amélioration réelle de l'efficacité énergétique des produits sur le terrain :

- Les profils de soutirage employés n'ont pas une maille suffisante pour discriminer les produits par capacité (tous les chauffe-eau à effet joule sont qualifiés en profil L ou M quels que soient leur volume). L'étiquette ne fournit donc aucune information sur le dimensionnement du chauffe-eau au regard du besoin.
- La consommation annuelle affichée sur l'étiquette, directement extraite des résultats obtenus sous profils M ou L, est de fait quasi-binaire et donc sans interprétation

possible pour l'acheteur qui ne peut guider son choix sur de réels critères énergétiques.

- En tant que profils maximum de soutirage, les profils ERP surclassent d'un facteur 2 à 5 les puisages réels observés sur le terrain. Ils conduisent donc à une surestimation de l'efficacité et à une minimisation d'un facteur 4 de l'importance relative des pertes statiques sur la consommation totale. Ceci n'incite pas les fabricants à améliorer l'isolation des produits puisque il n'y a pas de gain à en attendre sur la classe énergétique (90% des chauffe-eaux sont de classe C ; seuls quelques chauffe-eaux smart parviennent à la classe B). Tous les chauffe-eaux du marché sont aujourd'hui isolés par 32 à 38mm de polyuréthane sans isolation complète de la trappe de visite au niveau du thermostat.

Le label NF Performance permet la mesure fine des pertes statiques des appareils mais cette information ne rentre pas en compte dans le calcul de l'efficacité ERP, alors qu'elle constitue le seul paramètre réellement objectif pour comparer la performance énergétique des appareils.

Aujourd'hui, le chauffe-eau à effet joule semble être le dernier équipement électrodomestique à n'avoir subi aucune révolution majeure sur le plan énergétique. Dans l'immense majorité des cas le propriétaire d'un chauffe-eau se trouve devant une « boîte noire » sur laquelle il n'a aucune possibilité réelle de réglage ou de prise en main. De nombreuses personnes, conscientes de l'enjeu énergétique associé aux pertes statiques, improvisent la mise en place de jaquettes (souvent peu efficaces car mal réalisées) et se trouvent impuissantes à agir précisément sur la température de stockage quand le besoin s'en fait sentir.

Ces constats sont regrettables car :

- ✓ une isolation renforcée (70mm au lieu de 35mm) permettrait un gain moyen de 200kWh/an et par logement équipé aux températures de stockage actuelles.
- ✓ La gestion de la température de stockage (possible sur le chauffe-eau thermodynamique mais impossible sur l'effet joule) permettrait d'exploiter un gisement estimé à 150kWh/an par logement compte tenu des isolations actuelles. Les fonctions smart ne pourront jamais répondre totalement à cet enjeu car l'occupation d'un logement est trop aléatoire. Nous pensons qu'une gestion de la température de consigne par l'utilisateur est nécessaire et permettrait une réelle appropriation du produit et donc à terme une optimisation de l'usage.

Nous pouvons, suite à cette étude, émettre les recommandations présentées dans le Tableau 11.

Recommandations	
Réglementation	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Intégrer la mesure des pertes statiques 65°C-20°C dans le cadre des tests ERP et afficher le résultat sur l'étiquette énergie en kWh/jour.</i> - <i>Afficher sur l'étiquette le volume de puisage V40 des tests car il constitue le meilleur indicateur de la capacité d'eau chaude <u>maximale</u> du chauffe-eau.</i> - <i>Ajouter sur l'étiquette un logo indiquant un nombre de douches ou un nombre de personnes (exemple des recommandations Promotelec) pour guider simplement l'acheteur vers le produit le mieux dimensionné à son cas.</i> - <i>Réviser la formule donnant la consommation énergétique annuelle sur l'étiquette. Elle ne doit pas procéder du profil de soutirage (M,L) mais additionner la perte statique (Cf. 1^{er} point) à un profil de puisage standard à définir (correspondant par exemple à un V40 de 40 ou 50 litres par personne et par jour, Cf. 3^e point)</i>
Fabricants	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Proposer un produit mieux isolé (70mm minimum) en travaillant sur la hauteur du produit ou sa forme (pour ne pas pénaliser son intégration), et trouver une solution pour isoler également la trappe de visite.</i> - <i>Proposer un produit qui affiche la température de consigne en façade, avec la possibilité de la modifier facilement (bouton +/-) dans une large plage. Les utilisateurs trouveront naturellement la valeur de consigne qui correspond à leur besoin.</i> - <i>Pour se prémunir du risque légionnelle, prévoir la possibilité de faire un flash de température de consigne (par exemple 65°C maintenu pendant 1h) par simple pression sur un bouton dédié, avec un témoin visuel alertant de cette hausse de température. Programmation du flash sur calendrier ou gestion manuelle.</i>
Utilisateurs	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Envisager d'installer des dispositifs hydro-économiques aux points de puisages, notamment au pommeau de douche (par exemple douchette à 7L/min).</i> - <i>Envisager l'installation d'une housse isolante autour du chauffe-eau pour minimiser les pertes.</i> - <i>Si l'eau est trop chaude, faire intervenir un plombier pour baisser le thermostat ou le faire soi-même après avoir bien pris soin de disjoncter le départ électrique du chauffe-eau.</i> - <i>Dans le cas d'un achat de chauffe-eau à effet joule, étudier le dimensionnement adapté avant de remplacer à l'identique (recommandations Promotelec ou fabricants).</i>

Tableau 11 : recommandations tirées de la présente étude.