



**PEA – Programme Eau et Assainissement
des petites et moyennes Villes**



CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DES PERFORMANCES DU PARC DE COMPTEURS D'EAU DE LA ZONE R7 DE OUAGADOUGOU

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : EAU ET ASSAINISSEMENT

Présenté et soutenu publiquement le 15 Octobre 2014 par :

EBA N'DA RICHARD

Encadreurs :

M. Michel NGUESSAN, Conseiller Technique PEA/GIZ

M. Payibem ILBOUDO, Chef de section RPE/ONEA

M. Roland YONABA, Assistant d'Enseignement et de Recherche, 2iE

M. Moussa OUEDRAOGO, Enseignant chercheur, 2iE

Jury d'évaluation du stage:

Président :

Dr. Anderson ANDRIANISA

Membres et correcteurs :

M. Bèga OUEDRAOGO

M. Moussa OUEDRAOGO

Promotion [2013/2014]

RESUME

Le but de cette étude consiste à réduire les pertes dues au sous comptage des volumes d'eau consommés par les abonnés. Cela passe par une meilleure connaissance de la qualité du parc de compteurs d'eau et les profils de consommation d'eau des abonnés. Ainsi un échantillonnage aléatoire par strates des compteurs des abonnés a été effectué sur la base des marques de compteurs et des années de fabrication afin de détecter des défaillances propres à certaines marques de compteurs. Les différentes catégories d'abonnés ont été choisies sur la base du mode d'usage de l'eau pour établir les profils de consommation. Un test de corrélation des facteurs explicatifs de la dégradation des compteurs a montré que la défaillance des compteurs était due à leurs durées de services et des volumes enregistrés. Ensuite une simulation de l'évolution de l'état de dégradation des compteurs au fil des années a été faite. Il en ressort que l'âge à partir duquel le nombre de compteurs défectueux conduit à un refus est de 13 ans pour la marque Zenner et Sensus, 11 ans pour les marques Itron, Actaris, Baylan, Sappel et 10 ans pour la marque Wehrle. Aussi, l'index limite à partir duquel la même inaptitude au comptage est observée est de 2500 m³. L'étude des différents profils de consommation de différentes catégories d'abonnés a permis de proposer un calibre de compteur plus adéquat selon le profil de l'abonné.

MOTS CLES : Compteur d'eau, étalonnage, métrologie, perte apparente, profil de consommation.

ABSTRACT

The aim of this study is to reduce apparent losses due to sub-metering of the volumes consumed by customers. This requires a better Knowledge of the quality of the counter's park and the water's consumption profile of subscribers. Thus a random sampling stratum of customer counters was carried out on the basis of years of installation and counters marks to detect specific to certain brands of counters failures. Different classes of subscribers were selected on the basis of the water's usual used to determine consumption profile. A correlation test of the explicative factors of counter's degradation outlined that the failure was due to the service life of the counter and registered volumes mainly. Then a simulation of the evolution of the physical state of degradation of those counters over the years has been made. It shows that the age at which the number of defective meters leads to a refusal is 13 years for Zenner and Sensus, 11 years four Actaris, Baylan Sappel and 10 for Wehrle brands. Also, the maximum index, at which non-conformity is observed, is 2500m³. The study of various profiles of water consumption allowed us to assign an appropriate water meter diameter according the subscriber's category.

KEYWORDS: Water meter, calibration, metrology, apparent loss, profile of water consumption

REMERCIEMENTS

Le travail exposé dans ce mémoire n'aurait pu être réalisé sans le soutien et les conseils de nombreuses personnes. Au terme de cette étude, je voudrais exprimer ma profonde reconnaissance aux responsables et aux personnes dont le soutien, la disponibilité, la compréhension et la contribution à divers degrés ont permis l'aboutissement de ce travail. Je tiens à remercier :

- la Conseillère Technique Principale du Programme Eau et Assainissement de la GIZ (PEA/GIZ), Mme Désirée NANA. Qu'elle trouve ici l'expression de ma respectueuse gratitude,
- M. Moumouni SAWADOGO, Directeur d'Exploitation de l'ONEA, pour son soutien et son appui,
- M. Michel N'GUESSAN, Conseiller Technique du Programme Eau et Assainissement à la GIZ (PEA/GIZ), pour sa disponibilité, son suivi et son esprit d'ouverture,
- M.M. Payibem ILBOUDO et Eric OUEDRAOGO, responsables de la section Réduction des Pertes en Eau (RPE), pour leur disponibilité, directives et conseils,
- M Charles BADO, Chef de l'atelier Compteur de l'ONEA de Ouagadougou, pour son sens aigu d'intégration,
- M. Karim SANGUISSO, Agent Atelier compteur, pour sa disponibilité, son dévouement, son humilité, ses conseils, son apport scientifique ont permis la réalisation du présent rapport. Je lui exprime ma vive reconnaissance.
- Tout le personnel de l'Atelier Compteur, pour leur collaboration fraternelle,
- Mon collègue stagiaire Lionel KABORE, pour sa franche collaboration, ses suggestions et ses conseils,

J'adresse aussi mes remerciements à :

- M.M. Moussa OUEDRAOGO et Roland YONABA, enseignants à l'institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE) qui m'ont fait l'honneur de m'encadrer et m'initier à la recherche.

Enfin, je tiens à remercier les nombreuses personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire, pour leur conseil, soutien et aide technique.

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-------------|
| RESUME..... | i |
| REMERCIEMENTS..... | ii |
| LISTE DES TABLEAUX | vi |
| LISTE DES FIGURES..... | vi |
| SIGLES ET ABREVIATIONS | viii |
| INTRODUCTION..... | 1 |
| I. GENERALITES | 3 |
| 1.1 Contexte et justification de l'étude..... | 3 |
| 1.2 Définition des concepts liés au comptage..... | 3 |
| 1.2.1 Compteur d'eau | 3 |
| 1.2.2 Etalonnage des compteurs d'eau | 5 |
| 1.2.4 L'erreur relative de mesure d'un compteur d'eau | 6 |
| 1.2.5 Le rendement d'un compteur d'eau..... | 6 |
| 1.2.7 Profil de consommation des abonnés | 6 |
| 1.2.9 Perte en eau sur le réseau de distribution | 7 |
| 1.3 Synthèse bibliographique sur le comptage et le vieillissement des compteurs | 7 |
| 1.3.2 Mécanisme de dégradation des compteurs | 8 |
| 1.3.3 Profils de consommation | 8 |
| II. MATERIEL ET METHODES..... | 9 |
| 2.1 Présentation du cadre d'étude..... | 9 |
| 2.1.1 Présentation de la ville de Ouagadougou | 9 |
| 2.1.3 Présentation du site expérimental | 9 |
| 2.2 Méthodologie de la réalisation de l'étude..... | 11 |
| 2.3 Matériel | 11 |
| 2.3.1 Matériel d'étalonnage des compteurs..... | 11 |
| 2.3.2 Matériel de détermination des profils de consommation des abonnés | 11 |
| 2.4 Méthodes | 12 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 2.4.1 | Echantillonnage des marques de compteurs..... | 12 |
| 2.4.2 | Echantillonnage des d'abonnés pour les profils de consommations | 13 |
| 2.4.4 | La courbe d'erreur ou courbes métrologique | 15 |
| 2.4.5 | Profil de consommation des abonnés | 15 |
| III. | RESULTATS ET DISCUSSION | 17 |
| 3.1 | Proportion des compteurs non conformes | 17 |
| 3.2 | Manifestation du dysfonctionnement chez les compteurs défectueux | 19 |
| 3.3 | Influence de l'âge et l'index sur l'état des compteurs | 20 |
| 3.4 | Evolution de la dégradation des compteurs en fonction de l'âge | 21 |
| 3.4.1 | L'évolution de la dégradation des compteurs Zenner en fonction de l'âge..... | 21 |
| 3.4.2 | L'évolution de la dégradation des compteurs Itron en fonction de l'âge | 22 |
| 3.4.3 | L'évolution de la dégradation des compteurs Sensus en fonction de l'âge | 23 |
| 3.4.4 | L'évolution de la dégradation des compteurs Actaris en fonction de l'âge | 24 |
| 3.4.5 | L'évolution de la dégradation des compteurs Baylan en fonction de l'âge..... | 25 |
| 3.4.6 | L'évolution de la dégradation des compteurs Sappel en fonction de l'âge | 26 |
| 3.4.7 | L'évolution de la dégradation des compteurs Wehrle en fonction de l'âge | 27 |
| 3.5 | Courbes d'erreurs courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs | 28 |
| 3.5.1 | Courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Zenner par année de pose | 29 |
| 3.5.2 | Courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Itron par année de pose | 29 |
| 3.5.3 | Courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Sappel par année de pose..... | 30 |
| 3.5.4 | Courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Wehrle par année de pose..... | 31 |
| 3.5.5 | Courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Actaris par année de pose | 32 |
| 3.5.6 | Courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Sensus par année de pose..... | 33 |
| 3.5.7 | Courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Baylan par année de pose | 34 |
| 3.6 | Répartitions des compteurs non conformes en fonction des volumes enregistrés..... | 35 |
| 3.7 | Profil de consommation des abonnés | 37 |
| 3.7.1 | Profil de consommation de l'administration publique | 38 |
| 3.7.2 | Profil de consommation des structures spécifiques | 39 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 3.7.3 | Profil de consommation des bornes fontaines | 43 |
| 3.7.4 | Profil de consommation moyenne des grandes maisons | 44 |
| 3.7.5 | Profil de consommation des particuliers | 46 |
| CONCLUSION..... | | 50 |
| PERSPECTIVES..... | | 50 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | | 52 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1: Echéance de la garantie de précision des compteurs d'eau | 5 |
| Tableau 2: Echantillonnage des marques de compteurs en fonction des années de pose..... | 13 |
| Tableau 3: Répartition des compteurs d'eau échantillonnés en fonction de leur âge et leurs états..... | 17 |
| Tableau 4: Age limite de fiabilité des lots de compteurs par marques..... | 28 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1: composantes d'un compteur d'eau (source Itron)..... | 4 |
| Figure 2: Carte de la zone d'influence du réservoir N°7 de OUAGADOUGOU | 10 |
| Figure 3: Photo du banc d'essai des compteurs..... | 14 |
| Figure 4: Enregistrement des débits de consommation d'une borne fontaine | 16 |
| Figure 5: Répartition de la manifestation du dysfonctionnement des compteurs en fonction des débits d'essai..... | 19 |
| Figure 6: Cercle de corrélation entre l'âge, l'index et compteurs non conformes | 20 |
| Figure 7: Evolution de la dégradation des compteurs de marque Zenner en fonction de l'âge | 22 |
| Figure 8: Evolution de la dégradation des compteurs de marque Itron en fonction de l'âge..... | 23 |
| Figure 9: Evolution de la dégradation des compteurs de marques Sensus en fonction de l'âge..... | 24 |
| Figure 10: Evolution de la dégradation des compteurs de marque Actaris en fonction de l'âge | 25 |
| Figure 11: Evolution de la dégradation des compteurs Baylan en fonction de l'âge..... | 26 |
| Figure 12: Evolution de la dégradation des compteurs Sappel en fonction de l'âge | 27 |
| Figure 13: Evolution de la dégradation des compteurs de marque Wehrle en fonction de l'âge..... | 28 |
| Figure 14: courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Zenner en fonction de l'âge..... | 29 |
| Figure 15: courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Itron en fonction de l'âge | 30 |
| Figure 16: courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Sappel en fonction de l'âge | 31 |
| Figure 17: courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Wehrle en fonction de l'âge | 32 |
| Figure 18: courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Actaris en fonction de l'âge | 33 |
| Figure 19: courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Sensus en fonction de l'âge..... | 34 |
| Figure 20: courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Baylan en fonction de l'âge..... | 35 |
| Figure 21: Diagramme de répartition globale des compteurs défectueux en fonction des volumes enregistrés..... | 36 |
| Figure 22: cercle de corrélation entre la non-conformité et les index enregistrés..... | 37 |
| Figure 23: profil de consommations journalières moyennes des directions générales administratives publiques de la zone R7..... | 38 |
| Figure 24: profil de consommation journalière d'une résidence universitaire..... | 39 |
| Figure 25: profil de consommation journalière de l'INJEPS..... | 40 |

| | |
|--|----|
| Figure 26: profil de consommation journalière du stade de 4 août | 41 |
| Figure 27: profil de consommation moyenne des écoles de la zone R7..... | 42 |
| Figure 28: profil de consommation moyen des structures sanitaires..... | 43 |
| Figure 29: profil de consommation journalière moyen des bornes fontaines de la zone R7 | 44 |
| Figure 30: profil de consommation moyen des structures hôtelières de la zone de R7..... | 45 |
| Figure 31: profil de consommation journalière d'une mosquée de la zone R7..... | 46 |
| Figure 32:profil de consommation moyen des boulangeries de la zone R7 | 47 |
| Figure 33: profil de consommation moyen des ménages de la zone R7 | 48 |
| Figure 34: profil de consommation moyen des pharmacies de la zone R7 | 49 |

SIGLES ET ABREVIATIONS

| | |
|-------------|--|
| ACP | : Analyse en Composante Principale |
| DN | : Diamètre Nominal |
| EMP | : Erreurs Moyennes Pondérées |
| EMT | : Erreurs Maximales Tolérées |
| GIZ | : Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (Service Allemand de Coopération Technique) |
| INSD | : Institut National de Statistique et de le Démographie |
| MID | : Measuring Instrument Directive |
| ONEA | : Office National de l'Eau et de l'Assainissement |
| OIML | : Organisation Internationale de Métrologie Légale |
| R7 | : Réservoir N°7 de Ouagadougou |
| RGPH | : Recensement Général de la Population et de l'Habitat |

INTRODUCTION

Dans la plupart des pays du tiers monde comme ceux d'Afrique, l'accès à l'eau potable est un facteur majeur de développement (Barraqué et al. 2011). Aujourd'hui, la croissance démographique accompagnée de l'urbanisation rapide et non planifiée, ainsi que les modes de consommation en évolution suscitent une demande de plus en plus croissante en eau potable (Da Vinci 2010). Selon les Nations Unies (2009), la consommation domestique en eau (pour la boisson, la cuisine, l'hygiène corporelle,...) représente 10 à 20% de la consommation totale d'eau sur la planète soit près de 380 milliards de m³/an. Mais une étude réalisée par l'Association Internationale de Distribution d'Eau (AIDE) montre que 10 à 50 % de l'eau prélevée pour la consommation domestique est perdue pour diverses raisons. Ceci a des conséquences graves sur la viabilité des services de l'eau par suite de la perte de revenus, des pertes de ressources en eau, et de l'augmentation des frais de fonctionnement, ce qui réduit la capacité de ces services de financer les expansions nécessaires, surtout pour servir les pauvres (USAID, 2010).

En effet, au Burkina Faso, la production et la distribution d'eau potable est assurée par l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA). Selon le rapport annuel de l'ONEA (2012), le rendement total du réseau de distribution de tous les centres de l'ONEA était de 82,1% en 2012 donc une perte d'environ 17,9% de l'eau introduite dans le réseau soit près de 12 500 000 m³/an. Ces pertes sont dues à des fuites sur les réseaux de distribution (pertes réelles ou physiques) et les volumes d'eau distribués sans avoir été facturés (pertes apparentes).

Au regard de l'importance des pertes d'eau et de ses effets négatifs, un programme de réduction de pertes d'eau (RPE), basé sur un cadre stratégique et opérationnel couvrant la période 2012-2015 a été initié par l'ONEA avec l'appui de la GIZ. L'objectif fixé est l'amélioration du rendement de 1% chaque année pour atteindre 84% en 2015. A cet effet, l'assistance à la recherche et à la réparation des fuites internes sur le réseau de distribution d'eau ainsi que la lutte contre toutes les formes de fraudes d'eau ont permis la réduction des pertes d'eau de 17,9% en 2012 à environ 16,5% en 2013.

Cependant, les impacts techniques et financiers liés aux pertes apparentes sur les réseaux de distribution d'eau sont très peu connus. Des études antérieures (Costes et Pia, 2000; Parent, 2004, (Pasanisi 2004a); Bertrand et al., 2007, etc.) ont montré que la dégradation métrologique des compteurs d'eau pourrait occasionner des imprécisions dans le comptage induisant des pertes apparentes en eau. Cela se manifesterait généralement par un sous comptage du volume d'eau consommé pouvant handicaper le gestionnaire du service de l'eau dans sa gestion et dans son développement (Bouchet, 2010).

Toutefois, la procédure de gestion d'eau nécessite préalablement la compréhension du mécanisme de dégradation de la qualité métrologique des compteurs en fonction des facteurs explicatifs et notamment de leur durée de service (Parent, 2004). La politique actuelle consiste à remplacer les compteurs des abonnés de plus de 12 ans et cette procédure est fondée sur des estimations approximatives (ONEA, 2012).

La présente étude se propose d'apporter une contribution à l'amélioration des performances du parc de compteurs des abonnés de la zone d'influence du réservoir 7 (R7) de la ville de Ouagadougou.

L'objectif de cette étude consiste à contribuer en l'optimisation de la politique de remplacement de compteurs d'eau. Il s'agira de proposer un algorithme de remplacement des compteurs basé sur les durées de vies prévisionnelles et des profils de consommation des abonnés.

Le présent mémoire est structuré en 5 parties incluant (1) la présente introduction, (2) les généralités sur le comptage, (3) la méthodologie suivie lors de l'étude que nous avons menée suivie de (4) l'interprétation et la discussion des résultats et (5) d'une conclusion et des perspectives d'étude.

I. GENERALITES

1.1 Contexte et justification de l'étude

L'ONEA est une société d'Etat qui a pour objet, la création, la gestion et la protection des systèmes d'alimentation en eau potable ainsi que l'assainissement des eaux usées et excréta en milieu urbain. Depuis 2006, l'ONEA s'est engagé dans un processus visant l'amélioration du taux d'accès à l'eau potable. Cela a été rendu possible par une extension du réseau de distribution et le lancement d'une campagne de branchements sociaux encore en cours. Ces actions ont permis d'obtenir des résultats satisfaisant en matière du taux d'accès à l'eau potable qui se situe atours de 84% en 2012 et qui pourrait atteindre 86% à ce jour. Cependant avec une production annuelle de près de 70 millions de m³, l'ONEA est loin de satisfaire l'ensemble de la population en croissance qui subit de plus en plus les effets de pénuries d'eau dans certaines zones. Mais force est de constater qu'une partie de cette eau mise en distribution est perdue sur le réseau de pour diverses raisons. Ces pertes se justifient par les fuites et les casses sur le réseau qui constituent les pertes physiques ou réelles et les volumes d'eau consommés qui ne sont pas comptabilisés pour cause de sous comptage des compteurs qui constituent les pertes apparentes. A cela s'ajoutent les cas de fraude sur le réseau.

A cet effet, en vue d'améliorer le rendement du réseau et de satisfaire la clientèle, l'ONEA, avec l'appui de la GIZ, a mis sur pied un programme de réduction de pertes d'eau (RPE), basé sur un cadre stratégique et opérationnel couvrant la période 2012-2015 et axé sur les deux composantes des pertes (réelles et apparentes).

Cependant des études préalables ont montré que la maitrise des outils de comptage et l'amélioration de la gestion du parc compteur constituent les leviers les plus significatifs de l'amélioration des performances du réseau de distribution d'eau potable. De ce fait, l'ONEA porte un intérêt particulier à la connaissance des profils de consommations de ses abonnés et des courbes de vieillissement des différentes marques de compteurs existantes dans son parc. L'ensemble du parc étant constitué à 95% des compteurs de diamètre 15 mm et de classe B ($Q_3/Q_1=80$), l'étude portera essentiellement sur les compteurs de ce diamètre.

1.2 Définition des concepts liés au comptage

1.2.1 Compteur d'eau

Le compteur d'eau est un appareil hydraulique servant à comptabiliser le volume d'eau circulant à travers une conduite en un temps donné. Leur importance est capitale car ils permettent la détermination des volumes d'eau pompés, traités, vendus aux abonnés.

Il est aussi la base de toute facturation de l'eau consommée par l'abonné du distributeur d'eau. Le compteur d'eau est l'outil essentiel qui sert à la fois à l'entreprise de service public et au consommateur à mesurer et à contrôler la consommation (Boistard, 1993). Les compteurs d'eau sont conventionnellement caractérisés par leurs débits (Q_3) définis comme le débit auquel le compteur doit pouvoir fonctionner de manière satisfaisante en utilisation normale. Il existe deux grandes familles de compteurs (Bertrand et al, 2007) à savoir :

- les compteurs volumétriques dont l'organe de mesure (un ou plusieurs pistons à mouvement rotatif ou oscillant) se déplace sous l'effet d'une différence de pression dans le dispositif refoulant périodiquement un volume déterminé d'eau. Le nombre de refoulements donne donc une mesure du volume d'eau écoulé.
- Les compteurs de vitesse dont l'organe mesurant est un rotor (turbine ou hélice) qui tourne sous l'effet de la poussée hydrodynamique de l'eau qui y transite. Le principe de mesure est la proportionnalité entre la vitesse angulaire du rotor et le débit de l'eau. C'est le nombre de tours du rotor sur une période de temps donnée qui indique le débit intégré, c'est-à-dire le volume d'eau écoulée.

Le parc de compteur de l'ONEA est essentiellement constitué de compteurs à vitesse à cadran sec. La figure 1 montre la coupe d'un compteur d'eau.

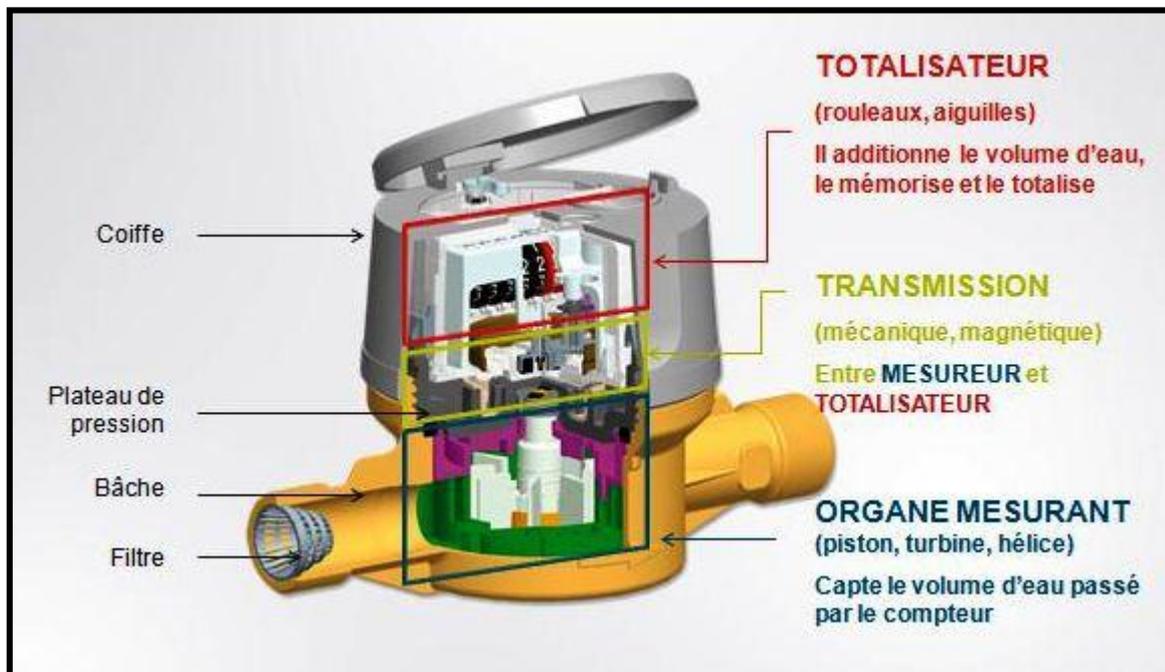


Figure 1: composantes d'un compteur d'eau (source Itron)

1.2.2 Etalonnage des compteurs d'eau

Il s'agit d'un ensemble de mesures permettant de définir l'erreur d'un compteur d'eau à un débit donné. Dans la norme ISO 4064 Edition 2005 (ainsi que dans la norme métrologique OIML Edition 2006 et dans la directive européenne MID issue de la norme européenne EN14154), un compteur est défini par un débit minimum Q_1 , un débit de transition Q_2 , un débit nominal Q_3 et un débit maximal Q_4 (Souriau, 2011).

- Q_1 (débit minimum est le débit à partir duquel, le compteur doit respecter l'EMT¹ fixée pour les débits inférieurs à Q_2).
- Q_2 (débit de transition qui sépare deux domaines de débits pour lesquels les EMT sont différentes)
- Q_3 : débit pour lequel le compteur doit pouvoir fonctionner en utilisation normale, permanente ou intermittente,
- Q_4 : débit maximum pour lequel le compteur doit être capable de fonctionner pendant un temps limité, sans détérioration et en respectant les EMT et sans que ne soit dépassée la valeur maximale de la perte de pression provoquée par la présence du compteur dans la conduite d'eau,

Le principe consiste à faire circuler dans le compteur un volume d'eau connu à un débit constant.

1.2.3 Echéance de la garantie de précision des compteurs d'eau donnés par le constructeur

La validité de la garantie de précision d'instruments neufs ou réparés est fixée conformément au tableau ci-après, Q_1 et Q_3 étant les débits définis à l'annexe MI-01 de l'arrêté du 28 avril 2006 susvisé (tableau 1):

Tableau 1: Echéance de la garantie de précision des compteurs d'eau en fonction des classes métrologiques

| VALIDITE | CONTROLE SELON le décret du 29 janvier 1976 susvisé | CONTROLE SELON le décret du 12 avril 2006 susvisé |
|----------|---|---|
| 9 ans | classe A | $Q_3/Q_1 \leq 50$ |
| 12 ans | classe B | $50 < Q_3/Q_1 \leq 125$ |
| 15 ans | classe C | $Q_3/Q_1 > 125$ |

¹ EMT : Erreur Maximale Tolérée

1.2.4 L'erreur relative de mesure d'un compteur d'eau

L'erreur de mesure d'un compteur notée « e » est obtenue en divisant la différence entre le volume enregistré (V_{enr}) et le volume réel écoulé (V_{ref}) par ce dernier.

$$e(\%) = \frac{V_{enr} - V_{ref}}{V_{ref}} \times 100$$

1.2.5 Le rendement d'un compteur d'eau

Le rendement d'un compteur est le rapport entre le volume enregistré et le volume d'eau réellement consommée.

$$r = \frac{V_{enr}}{V_{ref}}$$

1.2.6 Conditions de choix du dispositif de comptage

Deux facteurs principaux auxquels le gestionnaire de l'eau doit être attentif contribuent à accélérer le vieillissement des compteurs :

- **Un mauvais choix initial** : un compteur trop gros comptabilisera mal voire pas du tout les petits débits. Une utilisation même occasionnelle, du compteur au-delà de son débit maximum peut le dégrader. Il est donc particulièrement important de bien choisir un compteur à partir d'une analyse des profils de consommation.
- **Une mauvaise installation** : le respect des prescriptions d'installation est essentiel. Celle-ci peuvent porter sur le montage en horizontal ou vertical du compteur, les longueurs droites avant ou après compteurs. Il faut également veiller à éviter l'installation du compteur à un point haut où de l'air peut s'accumuler et fausser le comptage.

1.2.7 Profil de consommation des abonnés

Le profil de consommation est la répartition, en pourcentage, des volumes d'eau consommés par tranches de débit de chaque catégorie d'abonné et permet de dimensionner les ouvrages de comptage sur la base des besoins réels des usagers (Pasanisi, 2004).

1.2.8 Rendement du réseau

Le rendement du réseau correspond à la part (mesurée en pourcentage) de la production qui est effectivement distribuée aux consommateurs (que ceux-ci la payent ou ne la payent pas)(Barraqué et Nercessian 2008). Le rendement du réseau est obtenu en faisant le rapport du volume produit sur celui consommé.

1.2.9 Perte en eau sur le réseau de distribution

Elle représente la différence entre le volume d'eau mis en distribution et le volume d'eau réellement consommé. Les pertes peuvent être physiques ou apparentes (Chesneau, 2006).

- **pertes physiques** : il s'agit des fuites qui sont des écoulements indésirables d'une canalisation, d'un branchement, d'un équipement ou d'un ouvrage.
- **Pertes apparentes** : il s'agit des consommations non autorisées, les erreurs de mesures et les erreurs de relevées.

A ces pertes s'ajoute la consommation autorisée non-facturée (par ex. pour les purges des conduites principales ou pour la lutte contre les incendies)

1.3 Synthèse bibliographique sur le comptage et le vieillissement des compteurs

La notion de comptage du volume d'eau consommé et de vieillissement des compteurs d'eau a été évoquée par de nombreux auteurs. Selon Bouchet (2010), le compteur est l'élément clé de toute politique de gestion de l'eau et constitue un élément précieux en matière de gestion de réseau. Il sert d'intermédiaire entre le gestionnaire de l'eau et le consommateur. Pour Costes et Pia(2000), le compteur d'eau domestique est source d'équité de la facturation entre les usagers d'une société de distribution d'eau. Cependant la dégradation des compteurs d'eau peut être à l'origine d'une inégalité entre les usagers qui à consommation égale et à tarif égal paient des factures différentes. Selon Guerquin et Grosjean (2000), pour les compteurs d'eau la dégradation est toujours synonyme de sous comptage.

1.3.1 Les causes de la dégradation des compteurs

Les causes de la dégradation des compteurs ont fait l'objet de divers points de vue. Certaines études ont attribué la dégradation de la qualité métrologique à la durée de service du compteur d'eau. Selon les résultats de Bertrand *et al.* (2007), les compteurs d'eau en vieillissant fournissent une mesure de plus en plus imprécise du volume d'eau consommée. D'autres études par contre concluent que le volume d'eau enregistré peut être la source de la dégradation des compteurs. Ainsi selon Pasanisi (2004), les compteurs soumis à une forte consommation d'eau se dégradent plus vite que ceux soumis à des consommations plus faibles. D'après une étude menée par le service hydraulique SAUR (2012), le volume enregistré est plus pénalisant que l'âge du compteur.

En plus de ces facteurs explicatifs de dégradation des compteurs, la qualité de l'eau peut être un élément déterminant de la dégradation de la qualité des compteurs. En effet une eau chargée en particules solides peut provoquer des rayures sur l'ensemble boîte-piston qui, donnant lieu à des micro-fuites entre les compartiments du compteur, engendrent un sous-comptage, ou dans des

cas plus graves causer un blocage du piston (aucun volume n'est alors enregistré) (Pasanisi 2004). La perte de rendement moyenne des compteurs volumétriques s'établirait autour de 0.3 à 0.4 % par an et celle des compteurs de vitesse serait 2 fois supérieure (Parent 2004).

1.3.2 Mécanisme de dégradation des compteurs

Plusieurs modèles statistiques de dégradation des compteurs ont été exploités en vue de comprendre le mécanisme de dégradation des compteurs. Selon (Pasanisi 2004), l'étude de la dégradation de la métrologie des compteurs peut se faire avec le modèle markovien à quatre états discrets à métrologie de plus en plus dégradée. Cette technique de modélisation est moins exigeante du point de vue des données, puisqu'on peut utiliser, pour les calculs d'inférence, des signatures métrologiques partiellement incomplètes, sans que les données perdent en signification.

Bertrand et *al* (2007) évoquent une possibilité de mettre en place une modélisation stochastique pour comprendre le changement d'état des compteurs. Parent (2004) a mis en place une modélisation Bayésienne du vieillissement des compteurs d'eau par mélange d'appareil de différents états de dégradation. Cette technique permet d'évaluer globalement l'incertitude sur les estimations des paramètres du modèle, à travers leurs lois jointes de probabilités. Ce modèle couplé avec l'observation des erreurs de mesure à l'intérieur de chaque état a permis l'estimation du taux de compteur défaillant et de l'évolution de la précision de la mesure en fonction de la durée de service des compteurs.

1.3.3 Profils de consommation

Il s'agit de la répartition des proportions de la consommation ayant lieu à une tranche de débits. Selon Le Blanc et *al.*(1999), la connaissance des profils de consommation de chaque catégorie d'abonné est d'une importance capitale dans le choix du compteur à installer sur un branchement et permet d'évaluer la performance de celui-ci. En pratique, le profil de consommation type des abonnés domestiques est obtenu par mélange de profils différents. Pour Renaud et *al.* (2012), il faut veiller à ce que le débit minimal de chaque compteur soit compatible avec les débits les plus faibles qu'il doit mesurer, pour cela il faut connaître le profil de consommation. Pour Pasanisi (2004), en superposant le profil de consommation d'un abonné à la signature métrologique le long de l'axe des débits, on peut évaluer le rendement du compteur.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1 Présentation du cadre d'étude

2.1.1 Présentation de la ville de Ouagadougou

La présente étude se déroule à Ouagadougou, ville type d'Afrique subsaharienne et capitale administrative du Burkina Faso. La ville de Ouagadougou est située au centre du Burkina Faso, dans la province du Kadiogo dont elle est le chef-lieu, entre 12°17,5' de latitude nord et 1°7' de longitude ouest. Elle est limitée à l'est par le département de Saaba, au sud par les départements de Koubri et de Koumsilga, à l'ouest par le département de Tanghin Dassouri et au nord par le département de Pabré. Sa superficie est estimée à 54.400 ha. Elle est divisée en 12 arrondissements, 55 secteurs urbains. En 2006, Ouagadougou comptait 1.475.223 habitants (RGPH 2006). Mais avec la pression démographique et surtout l'exode rural, le chiffre de 2 millions d'habitants est désormais confirmé (INSD 2011).

2.1.2 Présentation du réseau d'exploitation et de distribution d'eau de Ouagadougou

L'alimentation en eau potable de la ville de Ouagadougou se fait principalement à partir du barrage de Ziga (66%), des trois barrages de Ouagadougou et du barrage de Loumbila (34%). Le traitement de l'eau destinée à la consommation de la ville de Ouagadougou se fait à partir de la station de Paspanga (2 000 m³/h) et de Ziga (6 250 m³/h) (ONEA 2013).

Le réseau du centre de Ouagadougou est de type maillé, sa longueur totale est de 4 795 km. Les conduites de distribution sont en fonte, PVC et PEHD de diamètre allant de 63 à 1000 mm. Le stockage de l'eau est assuré par dix huit (18) châteaux d'eau et réservoirs d'une capacité utile totale de 28 000 m³ et dix (10) bâches de stockage d'une capacité utile totale de 27 000 m³. Le rendement du réseau de Ouagadougou est de 83,5 % (ONEA 2013)

2.1.3 Présentation du site expérimental

L'étude a été menée sur la zone d'influence du réservoir d'eau N°7 de l'ONEA dénommée la zone R7 située dans le quartier de Gounghin. Ce réservoir dessert les arrondissements 2 et 3 regroupant les secteurs 7 à 16.

La zone R7 compte 9 758 abonnés et représente 5,4% de la consommation de la ville de Ouagadougou soit 2.356.614 m³/an. Elle couvre une superficie d'environ 2000 ha (ONEA, 2013). Le choix de cette zone s'explique par le fait qu'elle a fait l'objet d'une opération de

modulation de pression des conduites en vue de réduire les pertes physiques (recherche et réparation des fuites). La figure 1 présente le réseau de la zone R7.

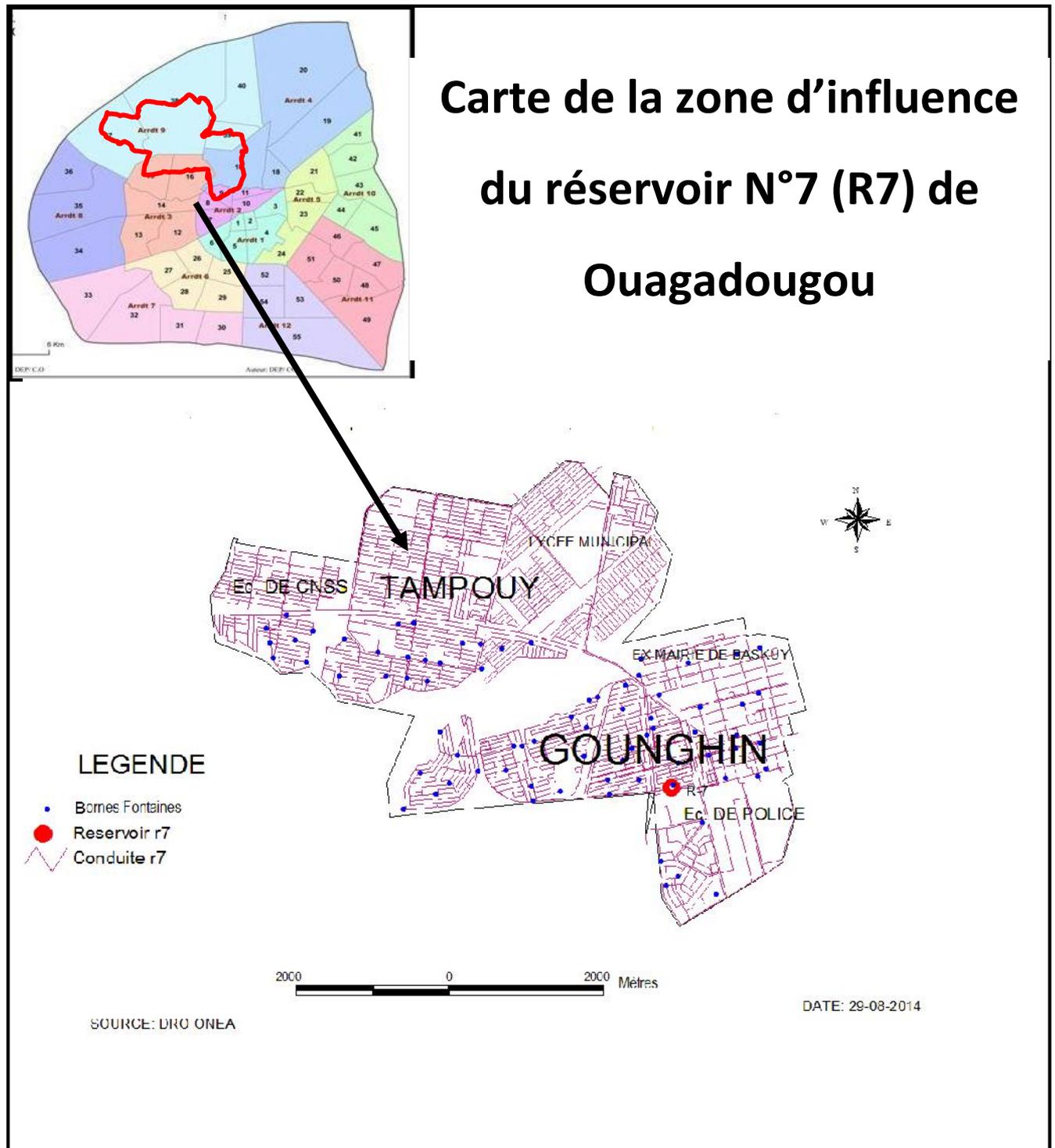


Figure 2: Carte de la zone d'influence du réservoir N°7 de OUAGADOUGOU

2.2 Méthodologie de la réalisation de l'étude

La méthodologie a consisté à prélever d'abord des échantillons des marques les plus représentatives du parc de compteurs, ensuite à les étalonner afin d'avoir une meilleure connaissance de l'état des compteurs et enfin enregistrer les débits de consommation journaliers des abonnés afin d'établir les profils de consommation.

2.3 Matériel

2.3.1 Matériel d'étalonnage des compteurs

Le matériel qui a servi à étalonner les compteurs est constitué :

- d'un banc d'essai pour l'étalonnage des compteurs au laboratoire et
- d'un vérificateur portable de compteurs (Badger Meter Europa GmbH) pour les vérifications sur site

2.3.2 Matériel de détermination des profils de consommation des abonnés

Le matériel d'enregistrement des débits de consommation pour établir le profil de consommation des abonnés est constitué :

- d'un débitmètre portable à ultrasons (Micronics PORTAFLOW 330)
- d'un débitmètre portable à ultrason (Ultraflux Minisonic 801-P)

2.3.3 Logiciels de transfert des données

Les logiciels de transferts des données enregistrées par les débitmètres sont :

- Terminal pour le débitmètre Portable à Ultrasons (Micronics PORTAFLOW 330)
- LS8xxCPw05BA pour le débitmètre portable à ultrason (Ultraflux Minisonic 801-P)

2.3.4 Logiciels de traitement des données

Les données collectées ont été traitées à l'aide des logiciels suivants :

- Excel pour les courbes d'erreurs, les diagrammes et les histogrammes de consommation
- XLSTAT pour l'analyse en composantes principales

2.4 Méthodes

2.4.1 Echantillonnage des marques de compteurs

L'étude a porté sur les 7 marques les plus représentées du parc de compteurs sur ces 9 dernières années à savoir Actaris, Sappel, Itron, Wehrle, Zenner, Sensus, Baylan. Dans l'impossibilité d'étudier l'ensemble des compteurs du parc de cette zone (pour des raisons de coût et de temps), la méthode proposée est l'analyse de l'échantillon représentatif de la population, permettant ensuite une extrapolation des résultats au niveau global. La base de données actuelle de l'ONEA en matière des compteurs ne peut pas donner une liste exhaustive de la répartition des compteurs par marques et par années de pose. Dans ce cas de figure il est recommandé de procéder par des méthodes d'échantillonnage par strates. Ainsi pour la fiabilité de l'échantillonnage nous avons choisi un seuil de confiance de 95% (recommandé par les directives des instruments de mesures (MID) de la commission européenne) et une marge d'erreur de 5% (c'est-à-dire 5% de risque de nous tromper de +/- de 5%). La taille de l'échantillon obtenu à partir de cette formule :

$$n = \frac{t^2 P(1-P)}{e^2}$$

Où n est la taille de l'échantillon

t= constante issue de la loi normale centrée réduite (en général à 95%, t= 1,96)

P= le pourcentage d'hétérogénéité (P=50% (équiprobabilité)), et

e= 5% la marge d'erreur ;

On a n= 406 compteurs en raison de 14 compteurs par marques pour une même année de pose.

Ainsi un panel de 14 compteurs par marque et par année de pose à compter de 2005 jusqu'à 2013 (9 années) ont été échantillonnés par tirage aléatoire pour toutes les marques étudiées.

Le tableau 1 montre la répartition des échantillons des compteurs de différentes marques en fonction des années.

Tableau 2: échantillonnage des marques de compteurs en fonction des années de pose

| Années \ Marques | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | TOTAL |
|------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Sappel | 14 | | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | |
| Actaris | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | | | | | 70 |
| Itron | | | | | | 14 | 14 | 14 | | 42 |
| Wehrle | 14 | | | 14 | 14 | | 14 | | | 56 |
| Zenner | | | | 14 | | | 14 | 14 | 14 | 56 |
| Sensus | | 14 | 14 | 14 | | 14 | | | | 56 |
| Baylan | | | | | | | | 14 | 14 | 28 |
| TOTAL | 42 | 28 | 56 | 56 | 42 | 42 | 56 | 56 | 28 | 406 |

2.4.2 Echantillonnage des d'abonnés pour les profils de consommations

Un tirage aléatoire a permis d'extraire 40 abonnés de la zone de R7 selon les catégories d'usage à savoir :

- les particuliers (ménages, pharmacies, boulangeries) ;
- l'administration (direction des structures administratives) ;
- les structures spécifiques (résidences universitaires, infrastructures sportives, écoles et structures sanitaires) ;
- les Grandes maisons (hôtels, lieux de cultes) ;
- les bornes fontaines ;

2.4.3 Etalonnage des compteurs

Procédure d'essai sur un banc d'essai au laboratoire :

Le processus d'étalonnage des compteurs sur un banc d'essai au laboratoire comprend les phases suivantes :

- Montage des compteurs sur le banc d'essai ;
- Purge du circuit ;
- Essai d'étanchéité ;
- Calage du débitmètre ;
- Relevé des index du début ;

- Passage du volume d'eau dans le compteur ;
- Relevé de l'index de fin ;
- Relevé du volume d'eau récupéré dans la jauge de référence (V_{ref});
- Calcul du volume enregistré par le compteur (V_{enr}) ;
- Calcul de l'erreur au débit réglé.

L'essai est réalisé sous une pression comprise entre 0,3 et 10 bars aux différents débits présentés en annexe 2.

La figure 2 nous montre le banc d'essai de l'atelier compteur de Ouagadougou.



Figure 3: photo du banc d'essai des compteurs

✚ Procédure d'essai de vérification des compteurs sur site :

Les vérifications sur site ont été réalisées avec un vérificateur portable (Badger Meter Europa GmbH). La procédure de vérification sur site est la suivante :

- S'assurer que tous les raccordements sont bien étanches et qu'il existe une évacuation des eaux, puis ouvrir progressivement l'eau ;
- Ouvrir partiellement la vanne SORTIE. Ouvrir ensuite progressivement la vanne d'ENTREE pour purger tout l'air présent dans le système du vérificateur, les tuyaux, les raccordements et le compteur vérifié ;
- sélectionner le débit d'essai désiré en ajustant la vanne de SORTIE et en chronométrant le mouvement de la trotteuse sur le compteur d'essai
- Lorsque le débit est fixé, refermer la vanne d'ENTREE ;

- Quand aucun liquide ne passe dans les compteurs, mettez le cadran du compteur d'essai sur ZERO ;
- Enregistrer précisément la lecture INITIALE du compteur VERIFIE (y compris le cercle d'essai) ;
- Ouvrez la vanne d'ENTREE pour commencer la vérification ;
- Refermer la vanne d'ENTREE lorsque le volume d'essai souhaité est affiché sur le compteur d'essai ;
- Enregistrer l'index final sur le compteur d'essai et sur le compteur vérifié.

2.4.4 La courbe d'erreur ou courbes métrologique

La courbe d'erreur ou courbe métrologique est la représentation graphique de la relation entre l'erreur de mesure (e) et le débit circulant. La réglementation fixe en fonction de la classe métrologique et du débit nominal, des canaux de tolérance à l'intérieur desquels la courbe métrologique, construite à partir des erreurs de mesure à Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 doit être contenue. La courbe est construite point par point avec les résultats des essais aux différents débits d'étalonnage. Entre Q_1 et Q_2 , l'erreur ne doit pas dépasser $\pm 10\%$ et entre Q_2 et Q_4 l'erreur de mesure ne doit pas dépasser $\pm 4\%$ du débit mesuré pour les compteurs en service. Le compteur est dit conforme si ses erreurs de mesure ne dépassent pas les erreurs maximales tolérées (EMT) des compteurs en service. Si l'erreur de mesure est supérieure à l'EMT positive on parle de sur-comptage tandis que si elle est inférieure à l'EMT négative on parle de sous comptage.

2.4.5 Profil de consommation des abonnés

La connaissance des consommations réelles débute par l'enregistrement instantané de la consommation dans le temps. La procédure pour obtenir le profil de consommation d'un abonné est la suivante :

D'abord les conduites de branchement des abonnés sont dénudées tout juste avant le compteur et des débitmètres ultrasons (Micronics PORTAFLOW 330 pour les diamètres supérieures à 50 mm et Ultraflux Minisonic 801-P pour les diamètres inférieurs à 50 mm) y sont installés.

Ensuite dans la phase d'enregistrement les débits sont recueillis par pas de 10 secondes sur 24 heures. Enfin le traitement statistique des données a permis de déterminer le pourcentage de consommation à chaque tranche de débits. La figure 4 nous montre l'enregistrement des débits de consommation d'une borne fontaine.



Figure 4: *enregistrement des débits de consommation d'une borne fontaine par le débitmètre ultrason de marque Micronics*

III. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Proportion des compteurs non conformes

Le tableau 2 présente la répartition des compteurs selon l'âge, l'état et le taux de conformité.

Tableau 3: répartition des compteurs d'eau échantillonnés en fonction de leur âge et leurs états

| MARQUE | ANNEE | Age | Nombre | Conforme | Non conforme | pourcentage non conformes |
|---------|-------|-----|--------|----------|--------------|---------------------------|
| ZENNER | 2008 | 7 | 14 | 8 | 6 | 43% |
| ZENNER | 2011 | 3 | 14 | 12 | 2 | 14% |
| ZENNER | 2012 | 2 | 14 | 13 | 1 | 7% |
| ZENNER | 2013 | 1 | 14 | 13 | 1 | 7% |
| ITRON | 2010 | 4 | 14 | 10 | 4 | 29% |
| ITRON | 2011 | 3 | 14 | 11 | 3 | 21% |
| ITRON | 2012 | 2 | 14 | 12 | 2 | 14% |
| SENSUS | 2006 | 8 | 14 | 8 | 6 | 43% |
| SENSUS | 2007 | 7 | 14 | 10 | 4 | 29% |
| SENSUS | 2008 | 6 | 14 | 11 | 3 | 21% |
| SENSUS | 2010 | 4 | 14 | 12 | 2 | 14% |
| ACTARIS | 2005 | 9 | 14 | 6 | 8 | 57% |
| ACTARIS | 2006 | 8 | 14 | 8 | 6 | 43% |
| ACTARIS | 2007 | 7 | 14 | 10 | 4 | 29% |
| ACTARIS | 2008 | 6 | 14 | 11 | 3 | 21% |
| ACTARIS | 2009 | 5 | 14 | 12 | 2 | 14% |
| BAYLAN | 2012 | 2 | 14 | 11 | 3 | 21% |
| BAYLAN | 2013 | 1 | 14 | 12 | 2 | 14% |
| SAPPEL | 2005 | 9 | 14 | 4 | 10 | 71% |
| SAPPEL | 2007 | 7 | 14 | 8 | 6 | 43% |
| SAPPEL | 2008 | 6 | 14 | 10 | 4 | 29% |
| SAPPEL | 2009 | 5 | 14 | 11 | 3 | 21% |
| SAPPEL | 2010 | 4 | 14 | 12 | 2 | 14% |
| SAPPEL | 2011 | 3 | 14 | 12 | 2 | 14% |
| SAPPEL | 2012 | 2 | 14 | 11 | 3 | 21% |
| WEHRLE | 2005 | 9 | 14 | 3 | 11 | 79% |
| WEHRLE | 2008 | 6 | 14 | 8 | 6 | 43% |
| WEHRLE | 2009 | 5 | 14 | 9 | 5 | 36% |
| WEHRLE | 2011 | 3 | 14 | 7 | 7 | 50% |

Le tableau 2 indique à la fois la présence de vieux compteurs performants et de compteurs récents défaillants. Ces résultats sont similaires à ceux de Pasanisi (2004). On note que 30% de l'ensemble des compteurs échantillonnés sont défectueux.

A partir des observations sur la proportion de non-conformité des compteurs d'eau en fonction des années de pose et des marques, le taux de compteurs défaillants est spécifique à chaque marque de compteurs. Les pourcentages diffèrent d'une marque à une autre et d'une année de pose à une autre. Certaines marques de compteurs d'eau présentent des probabilités de défaillances plus élevées que d'autres pour une même année de pose. A l'exception des compteurs de marque Sappel et Wehrle dont les proportions des compteurs défaillants récents sont souvent plus importantes que les anciens, les proportions des compteurs défaillants des autres marques augmentent quand l'âge augmente.

On constate pour ce qui concerne la marque Zenner, les taux de non-conformité suivants :

- 43% des compteurs de 7 ans,
- 14% des compteurs de 3 ans et
- 7% des compteurs de 1 et 2 ans de la même marque sont défectueux.

Pour les compteurs de marque Itron, la proportion de défectuosité est la suivante :

- 29% des compteurs de 4 ans,
- 21% des compteurs de 3ans et
- 14% des compteurs de 2ans.

Pour la marque Sensus, les taux de compteurs défaillants sont les suivants :

- 43% des compteurs de 8 ans,
- 29% des compteurs de 7ans,
- 21% des compteurs de 6 ans,
- 14% des compteurs de 4 ans,

Concernant les compteurs Actaris nous avons le taux de dégradation suivant :

- 57% des compteurs de 9 ans,
- 43% des compteurs de 8 ans,
- 29% des compteurs de 7 ans,
- 21% des compteurs de 6 ans, et
- 14% des compteurs de 5 ans.

De même pour les compteurs de marque Baylan représentée par les deux années de pose (2012,2013), nous avons un taux de compteur défectueux estimé à :

- 21% pour les compteurs de 2ans et
- 14% pour les compteurs de 1an.

Les taux des compteurs Sappel défectueux diminuent progressivement de la façon suivante :

- 71% pour les compteurs de 9 ans,
- 43% pour les compteurs de 7 ans,
- 29% pour les compteurs de 6 ans,
- 21% pour les compteurs de 5 ans,
- 14% pour les compteurs Sappel de 4 et 3 ans et
- 21% pour les compteurs de 2 ans.

Au niveau des compteurs Wehrle la défectuosité se manifeste de la façon suivante :

- 79% des compteurs âgés de 9 ans,
- 43% des compteurs âgés de 6 ans,
- 36% des compteurs âgés de 5ans et enfin,
- 50% des compteurs de 3ans.

3.2 Manifestation du dysfonctionnement chez les compteurs défectueux

Le diagramme circulaire de la figure 5 montre la répartition de la manifestation des dysfonctionnements des compteurs d'eau défectueux en fonction des différents débits d'essais.

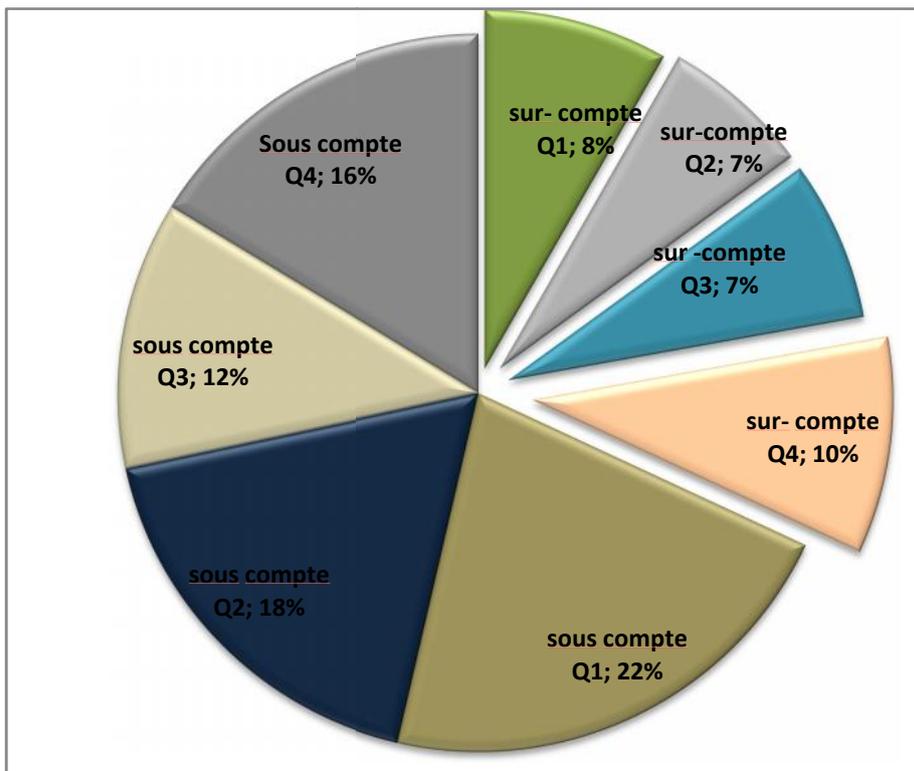


Figure 5: répartition de la manifestation du dysfonctionnement des compteurs en fonction des débits d'essai

L'analyse de ce diagramme circulaire permet de distinguer deux types de dysfonctionnement des compteurs : le sous comptage et le sur-comptage.

Le sous comptage est observé sur 68% des compteurs défectueux. Parmi les compteurs qui sous comptent, 22% des compteurs défectueux sous comptent au Q₁, 18% sous comptent au Q₂, 12% sous comptent au Q₃ et 16% au Q₄.

Les cas de sur-comptages sont observés sur 32% des compteurs défectueux. 8% des compteurs défectueux sur-comptent au Q₁, 7% au Q₂ et au Q₃ et 10% au Q₄. Ces résultats sont différents de ceux de certains auteurs (Pasanisi, 2004 ; Bouchet, 2010 ; Bertrand et al., 2007) qui estiment que le dysfonctionnement des compteurs d'eau en service se manifesteraient dans une majorité écrasante par des sous comptages du volume consommé. Les cas de sur-comptage pourraient être source de dégradation du climat social entre la société de distribution d'eau et les usagers (Montginoul et al, 1996)

3.3 Influence de l'âge et l'index sur l'état des compteurs

L'analyse en composante principale (ACP) a été effectuée afin de déterminer les corrélations entre compteurs non conformes, le volume enregistré pendant la durée de service et l'âge. Une illustration graphique est représentée par le cercle de corrélation montrant le lien entre compteurs non conformes, l'âge et le volume enregistré.

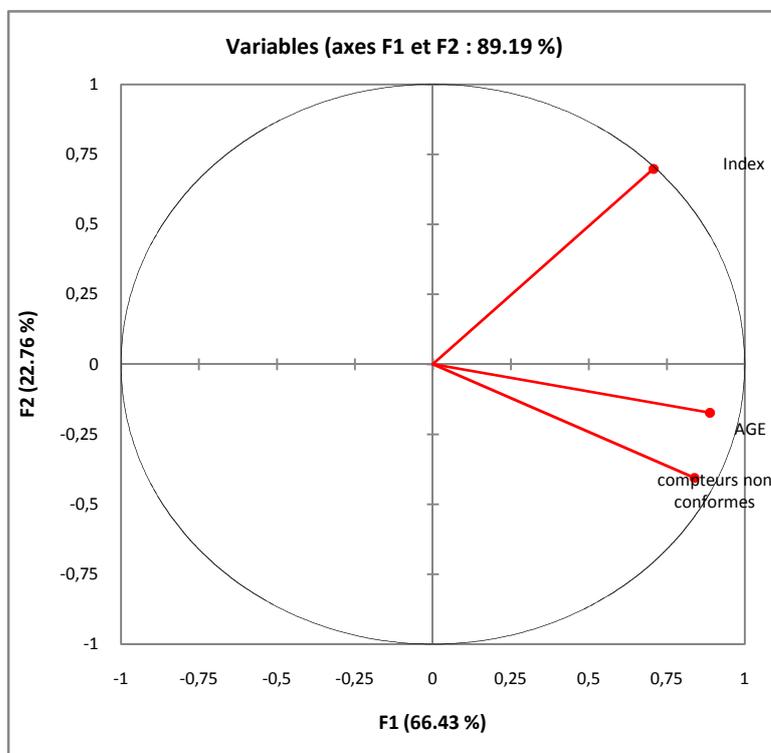


Figure 6: Cercle de corrélation entre l'âge, l'index et compteurs non conformes

La figure 6 montre que les variables âge, compteurs non conformes et l'index des compteurs sont bien représentés dans le plan factoriel puisque leurs corrélations avec les axes sont relativement importantes (89,19%). Les différentes variables contribuent à la formation de l'axe F1 représentant l'axe de la durée de vie des compteurs. Cependant il existe une corrélation positive entre l'âge, compteurs non conformes, et l'index des compteurs. Ces résultats similaires à ceux de Parent (2004) traduisent que la qualité métrologique des compteurs se dégrade au fil de l'âge et dépend aussi du volume enregistré pendant la durée de service. La proximité remarquable entre les variables « Age » et « Compteurs non conformes » montre que l'âge du compteur a un effet plus important sur la qualité métrologique du compteur que celui exercé par l'index du compteur.

3.4 Evolution de la dégradation des compteurs en fonction de l'âge

N'ayant pas à notre disposition les données sur les taux de compteurs défectueux de toutes les marques sur toutes les années d'étude, parce que les marques de compteurs ne sont pas réparties sur toutes les années (le parc de compteurs d'eau de l'ONEA étant ravitaillé par différentes marques de compteurs et selon le besoin). Nous avons mis en place un modèle classique de régression permettant de simuler sur la base des résultats obtenus dans le tableau 2, les taux de compteurs défectueux des années manquantes. Ainsi à l'aide des nuages de points et l'équation de la courbe de tendance linéaire obtenue, on peut déduire la probabilité de défectuosité des compteurs des années manquantes en intégrant l'âge des compteurs dans les équations obtenues. Ainsi nous avons des équations linéaires et des équations polynomiales selon la complexité de la dégradation des compteurs. Les figures 7 à 13 présentent l'évolution de la dégradation des compteurs en fonction de l'âge.

Conformément à l'article 8 de l'arrêté du 6 mars 2007 relatif au contrôle des compteurs d'eau froide en service de la nouvelle réglementation du MID, tous les instruments d'un lot doivent être remplacé si le plan d'échantillonnage conduit à un refus. Le refus est déclaré si le nombre de compteurs conformes est inférieur à 20 pour un lot de 206 compteurs pour un effectif inférieur à 10000 compteurs soit moins de 10% de compteurs conformes dans le lot.

3.4.1 L'évolution de la dégradation des compteurs Zenner en fonction de l'âge

La figure 7 montre que les compteurs de marque Zenner se dégradent de manière linéaires en fonction de l'âge des compteurs. La courbe de tendance des nuages de points représentant les compteurs défectueux en fonction de l'âge obtenue présente un coefficient de détermination très proche de 1 ($R^2=0,984$). Ce qui traduit une forte corrélation entre le pourcentage de compteur défectueux et l'âge. En effet, pour les deux premières années, le taux de compteur défectueux

est évalué à 7%. Ensuite la proportion de compteurs défectueux augmente progressivement et atteint les 50% dès la 8^{ème} année de service avant d'atteindre les 92% durant la 13^{ème} année de service. Avec ces résultats, l'on pourrait s'attendre à une conformité de l'ordre de 8 % après une durée de 13 ans de service.

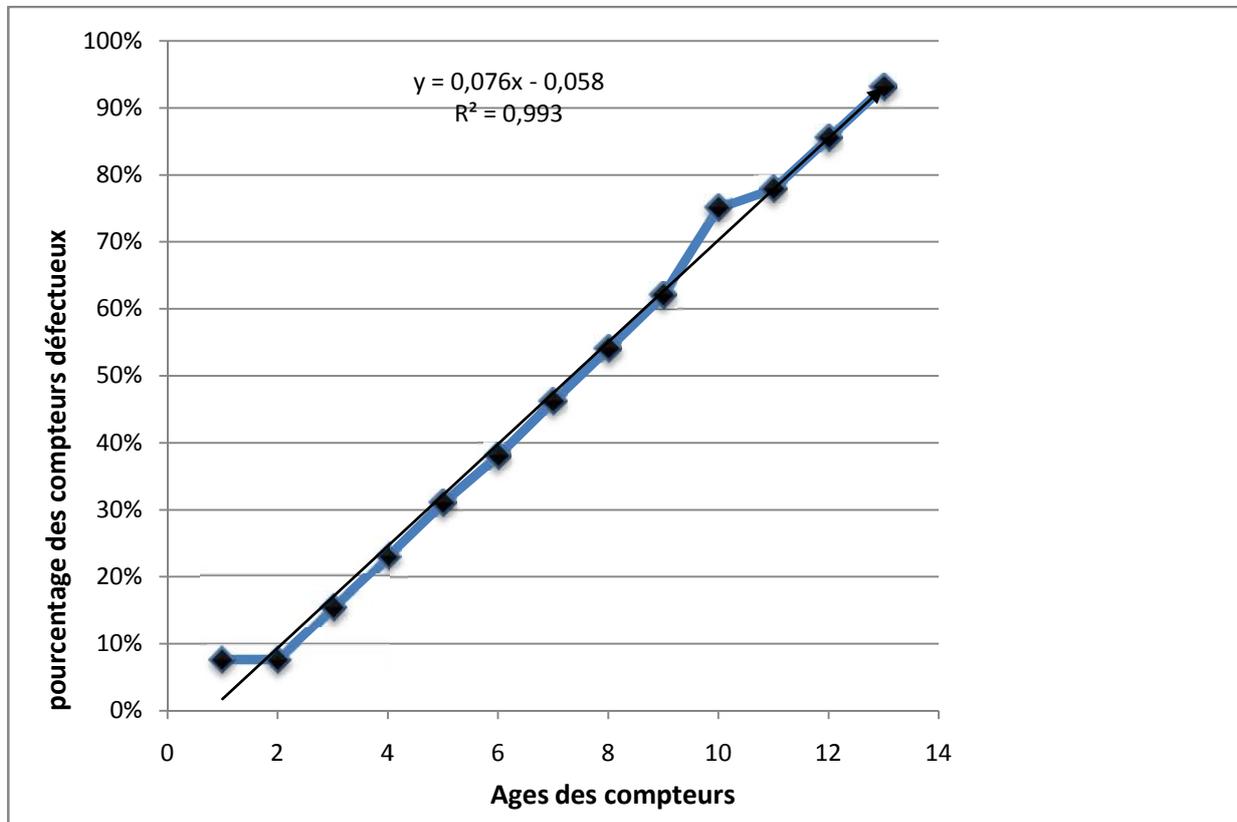


Figure 7: Evolution de la dégradation des compteurs de marque Zenner en fonction de l'âge

3.4.2 L'évolution de la dégradation des compteurs Itron en fonction de l'âge

La figure 8 indique que le taux de défectuosité des compteurs Itron augmente progressivement de la première année (15%) jusqu'à la 10^{ème} année (90%) avec l'âge des compteurs. La courbe de tendance linéaire qui en découle présente un coefficient de détermination égal à 1 ($R^2=1$) ce qui signifie qu'il ya une forte corrélation entre le l'état défectueux des compteurs et le nombre d'année de service. Nous constatons que dès la 6^{ème} année de mise en service 50% des compteurs de marque Itron sont défectueux. Ensuite le pourcentage de compteurs défectueux atteint 80% après 9 ans de service et 95% après 11 ans de service.

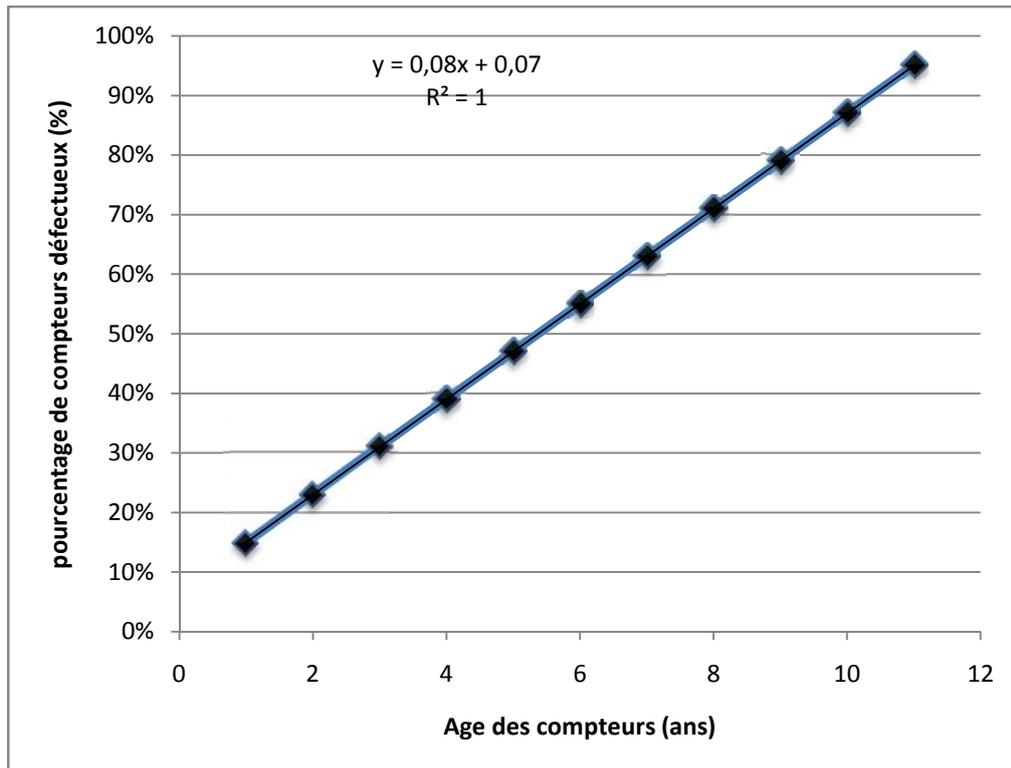


Figure 8: Evolution de la dégradation des compteurs de marque Itron en fonction de l'âge

3.4.3 L'évolution de la dégradation des compteurs Sensus en fonction de l'âge

Sur la figure 9, on remarque que le taux de compteurs Sensus défectueux augmente progressivement avec l'âge. Ce qui est traduit par un coefficient de détermination de la courbe de tendance très proche de 1 ($R^2 = 0,912$). Jusqu'à 3 ans de service les compteurs Sensus défectueux n'atteignent pas 10% de l'effectif. Le taux de défectuosité des compteurs de marque Sensus augmente légèrement de la première année de mise en service jusqu'à la 7^{ème} année de 2% à 30% puis fortement à partir de 8 ans de service et atteint 90 % après 13 ans de service.

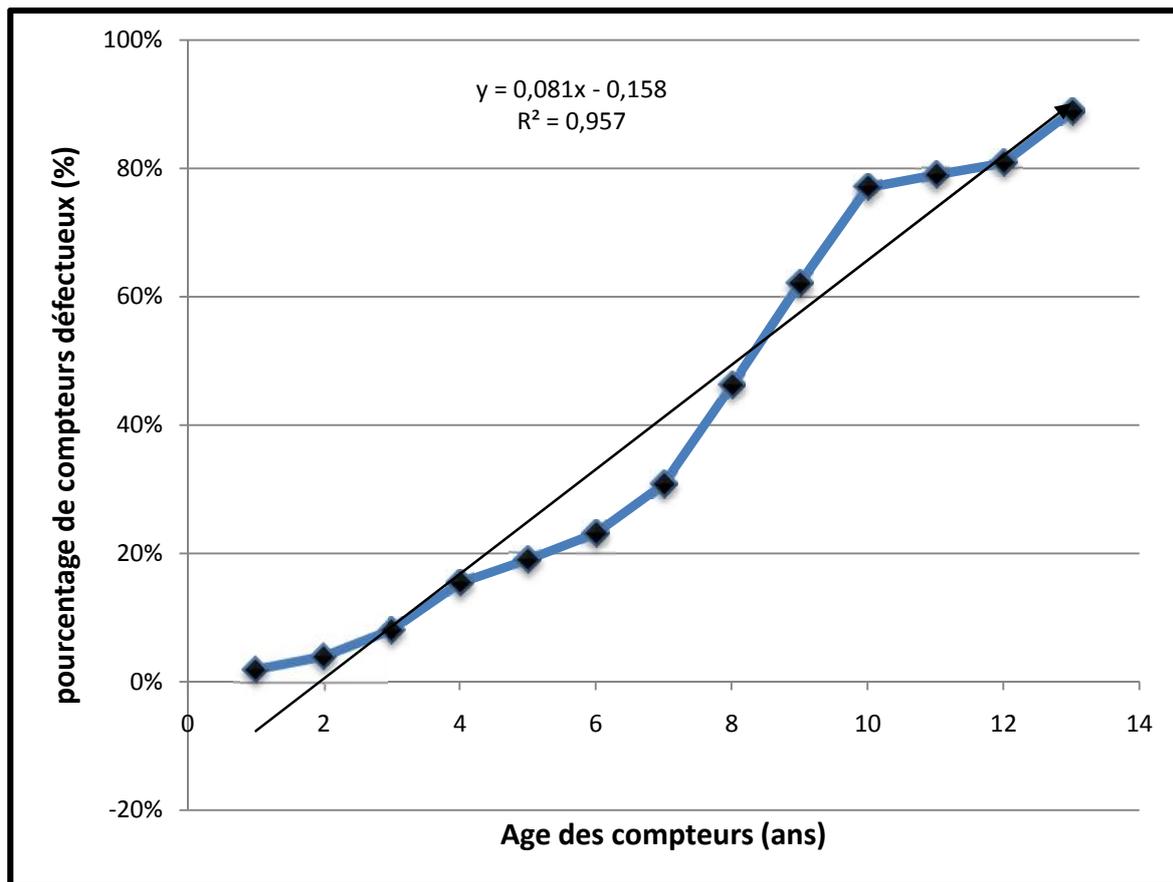


Figure 9: Evolution de la dégradation des compteurs de marques Sensus en fonction de l'âge

3.4.4 L'évolution de la dégradation des compteurs Actaris en fonction de l'âge

Les compteurs Actaris les plus récents ont 5 ans (car la marque a été remplacé par les compteurs Itron) donc on suit l'évolution de la dégradation des compteurs de 5ans à 11 ans. Sur la figure 10, on remarque sur le graphique que l'évolution de la dégradation des compteurs de marque Actaris se fait progressivement de 5 ans (15%) à 11 ans (85%) de service. Le taux de compteurs défectueux atteint plus de la moitié des compteurs à la 9^{ème} année de service. Après 12 ans la probabilité qu'un compteur Actaris soit conforme à la réglementation est de 2%.

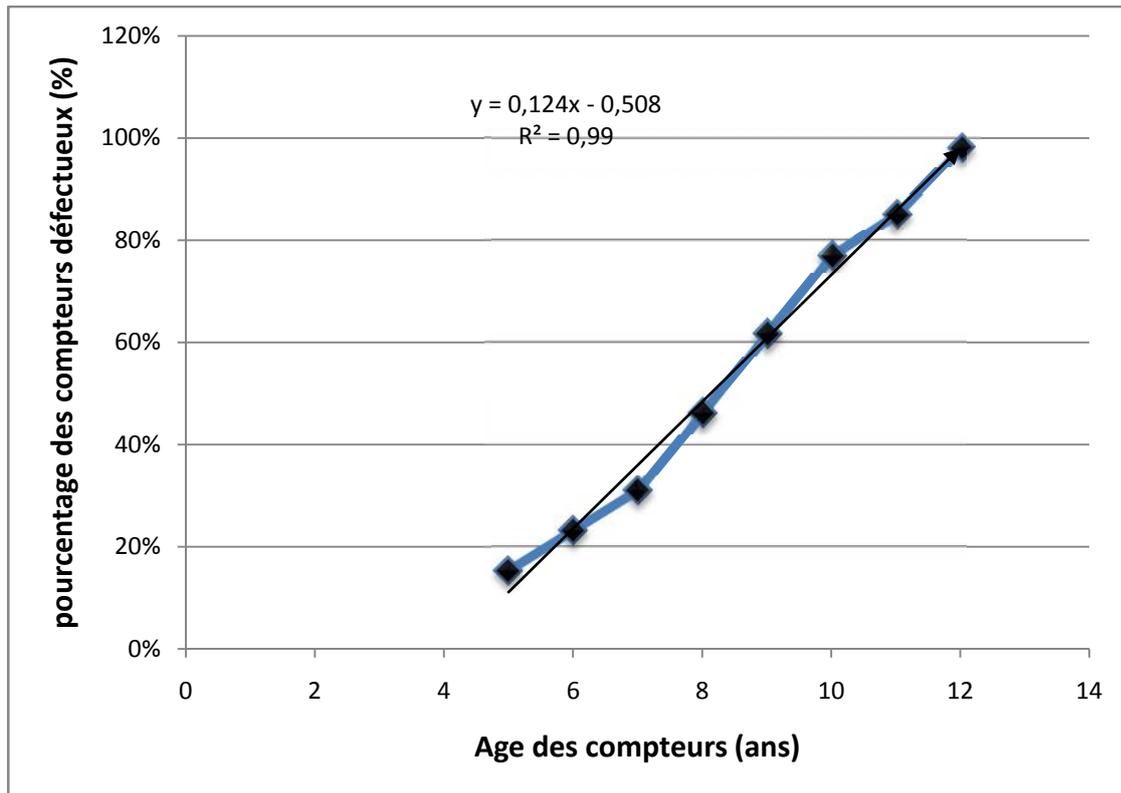


Figure 10: Evolution de la dégradation des compteurs de marque Actaris en fonction de l'âge

3.4.5 L'évolution de la dégradation des compteurs Baylan en fonction de l'âge

La figure 11 montre une forte corrélation entre le pourcentage des compteurs défectueux et l'âge des compteurs. La courbe de tendance affiche une régression linéaire croissante avec un coefficient de détermination égal à 1 ($R^2=1$). Les pourcentages de compteurs défectueux augmentent avec l'âge des compteurs. A partir de 6 ans de service nous aurons plus de 50% de compteurs défectueux. Les compteurs de 11 ans de service afficheront à leur sein 92% de compteurs défectueux.

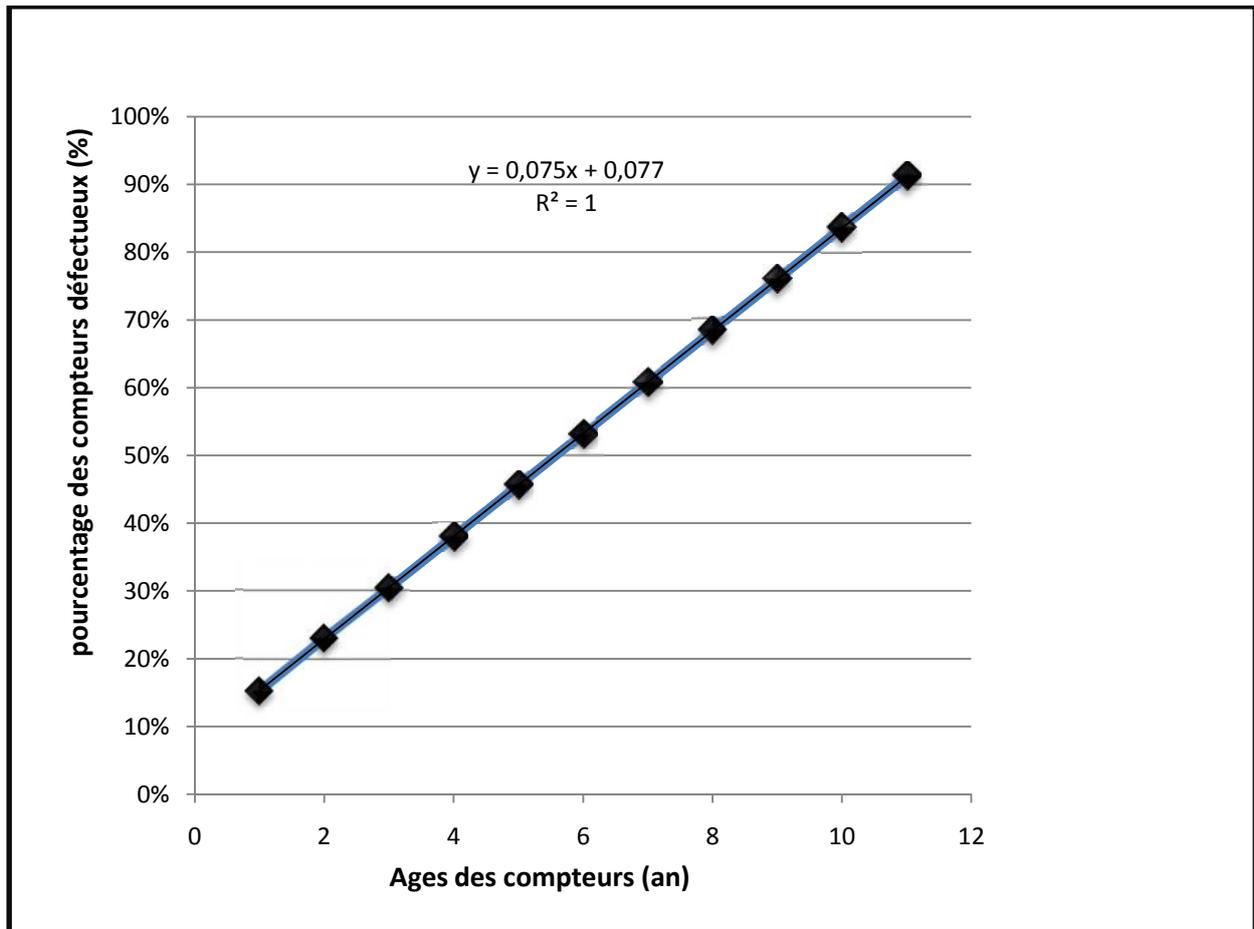


Figure 11: Evolution de la dégradation des compteurs Baylan en fonction de l'âge

3.4.6 L'évolution de la dégradation des compteurs Sappel en fonction de l'âge

Les nuages de points de la figure 12 montrent une évolution de la dégradation des compteurs de marque Sappel différente des premières marques citées. L'évolution de la dégradation se fait indépendamment de l'âge pour les compteurs de marque Sappel de 1 à 4 ans de service. On remarque une augmentation du taux de compteurs défectueux de 1 an à 2 ans puis une diminution de 2 ans à 4 ans. Cette variation s'explique par la présence de différents modèles de compteurs de cette marque sur ces années. En effet les compteurs de ces années n'ont pas les mêmes origines et les modèles diffèrent les uns des autres. A partir de la 4^{ème} année de service nous remarquons une augmentation progressive des taux de compteurs défectueux. A la 8^{ème} année de service le pourcentage de compteurs défectueux dépasse la moitié de l'effectif (62%) et atteint les 90 % à 11 ans de service.

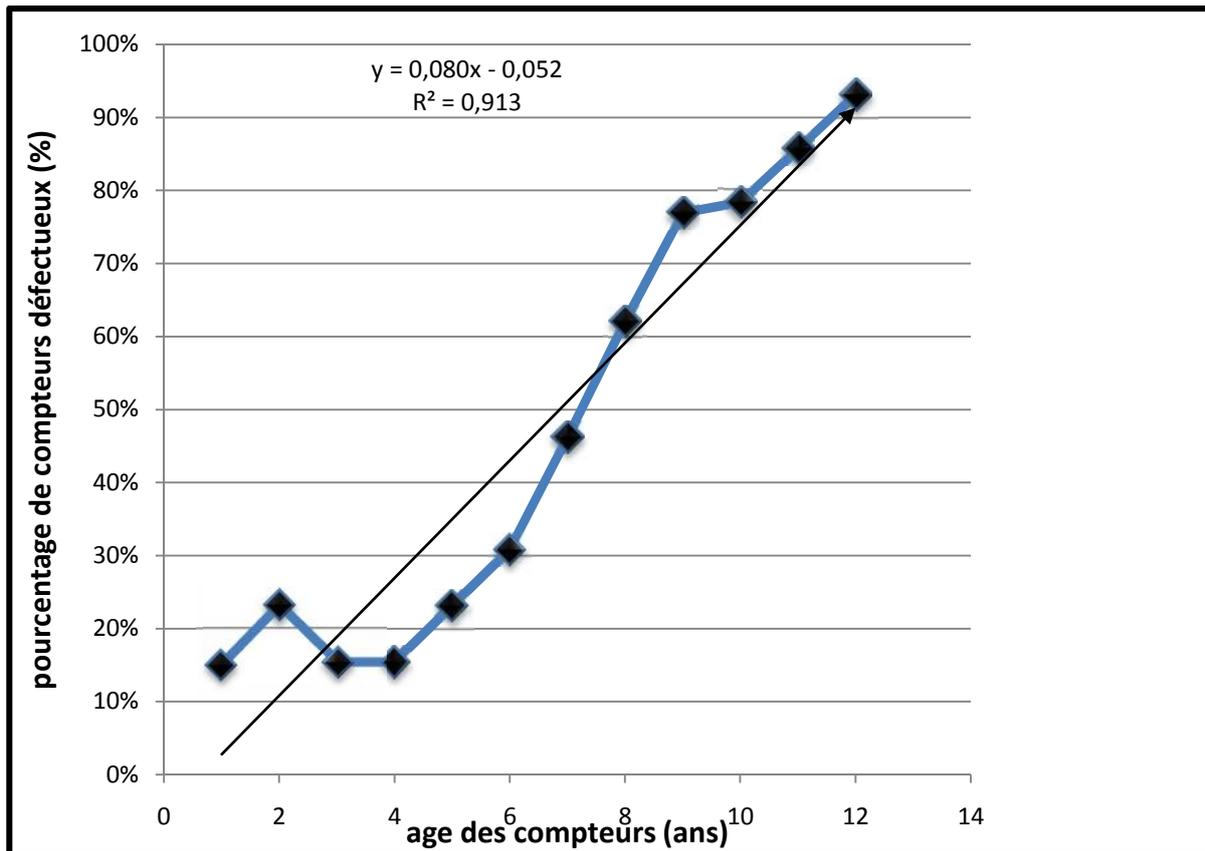


Figure 12: Evolution de la dégradation des compteurs Sappel en fonction de l'âge

3.4.7 L'évolution de la dégradation des compteurs Wehrle en fonction de l'âge

Le taux de compteurs défectueux évolue en dent de scie en fonction des années. Nous avons une augmentation du pourcentage des compteurs défectueux de la 1^{ère} année à la 3^{ème} année puis une diminution de la 3^{ème} année à la 5^{ème} année et une augmentation à nouveau jusqu'à la 9^{ème} année. Ces résultats montrent que la dégradation des compteurs Wehrle évolue indépendamment de la durée de service. Néanmoins le pourcentage des compteurs défectueux des compteurs Wehrle de 3 ans dépassent 50% pendant que celui de 4, 5, 6 ans sont inférieurs à 50%. Ce déphasage tient compte du fait que les compteurs de marque Wehrle ne sont pas les mêmes modèles sur toutes les années. Néanmoins le pourcentage de compteurs défectueux atteint 90% à 10 ans.

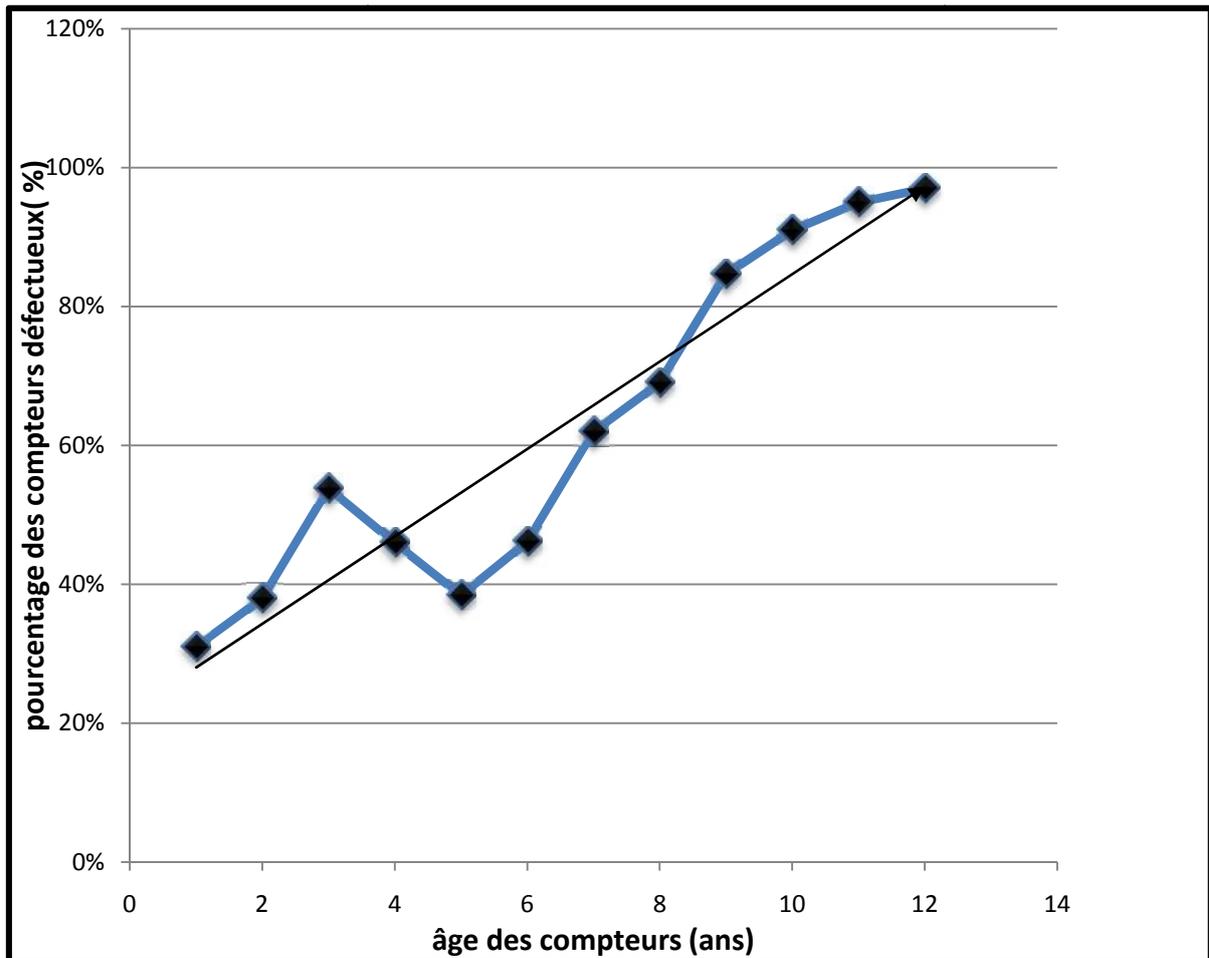


Figure 13: Evolution de la dégradation des compteurs de marque Wehrle en fonction de l'âge

Suite à l'analyse des nuages de points il ressort que l'âge à partir duquel la proportion des compteurs défectueux atteint une proportion conduisant à un refus est présenté dans le tableau 4

Tableau 4: Age limite de fiabilité des lots de compteurs par marques

| marque | Zenner | Itron | Sensus | Actaris | Baylan | Sappel | Wehrle |
|-----------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| Nombre d'années | 13 ans | 11 ans | 13 ans | 11 ans | 11 ans | 11 ans | 10ans |

3.5 Courbes d'erreurs courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs

Les différentes courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs de différents âges sont présentées au niveau de chaque marque de compteur pris en compte lors de l'échantillonnage (figures 14 à 19). L'ensemble du parc étant constitué à 95% des compteurs de diamètre 15 mm de classe B ($Q_3/Q_1=80$), l'étude sur l'étalonnage sera portée essentiellement sur les compteurs de ce diamètre.

3.5.1 Courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Zenner par année de pose

La figure 14 montre que les différentes courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs de marque Zenner des années 2008, 2012 et 2013 sont contenues dans le canal de tolérance des erreurs maximales tolérées. Cependant les différentes courbes sont au-dessus de 0% d'erreur à Q_1 , Q_2 , et Q_3 et la courbe d'erreur moyenne pondérée de la courbe 2013 se retrouve en dessous de l'axe des débits des débits au Q_4 . Ces différentes allures des courbes montrent que les différents compteurs auront tendance à sur-compter au Q_1 , Q_2 et Q_3 et celui de 2007 aura tendance à sous compter au Q_4 .

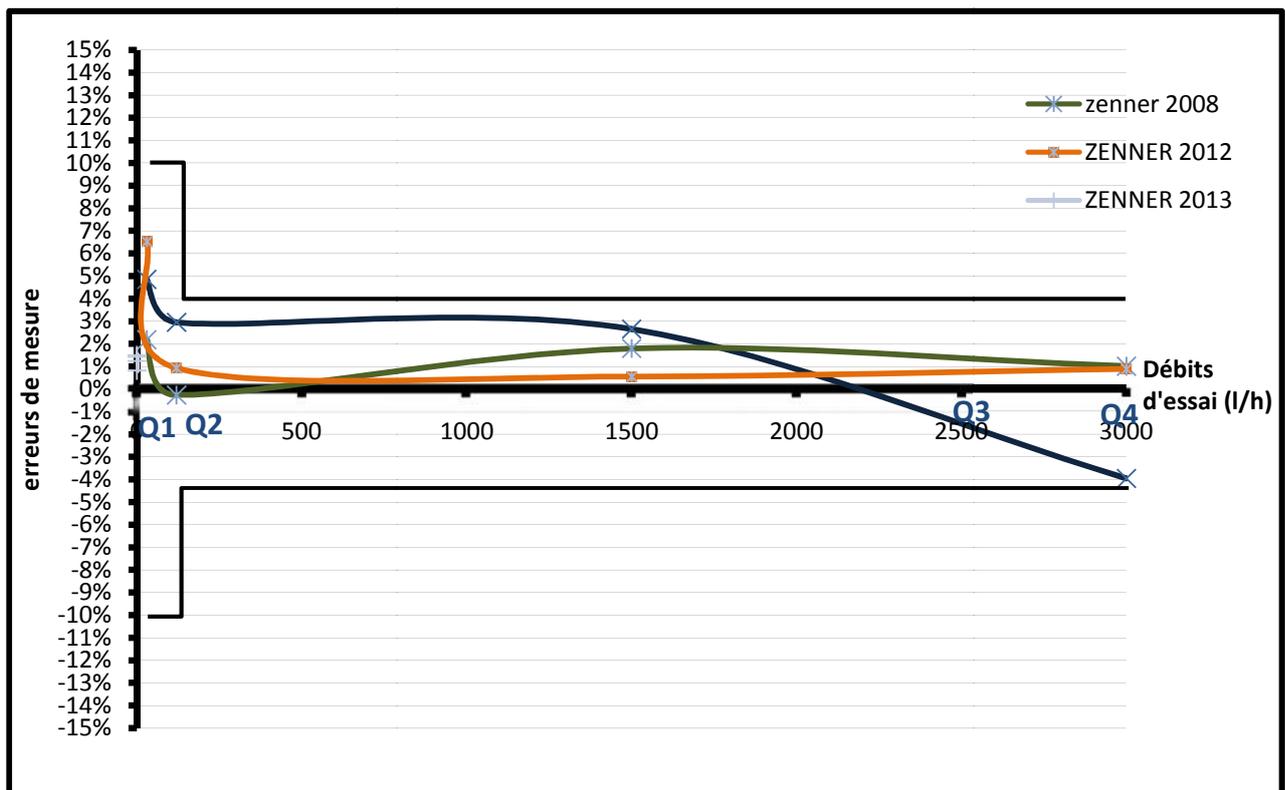


Figure 14: courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs de marque Zenner en fonction de l'âge

3.5.2 Courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Itron par année de pose

Sur la figure 15, nous constatons que la courbe d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Itron des années 2010 est hors du canal de tolérance entre les débits d'essai Q_2 et Q_3 . Ce qui explique que les compteurs de l'année 2010 sous comptent en majorité à Q_2 et Q_3 . Par contre les courbes d'erreur de l'année 2011 et 2012 sont contenues dans le canal de tolérance des erreurs maximales tolérées (EMT). Les trois courbes se retrouvent en dessous 0% d'erreur. Ce qui traduit un que ces compteurs auront tendance à sous compter dans l'avenir.

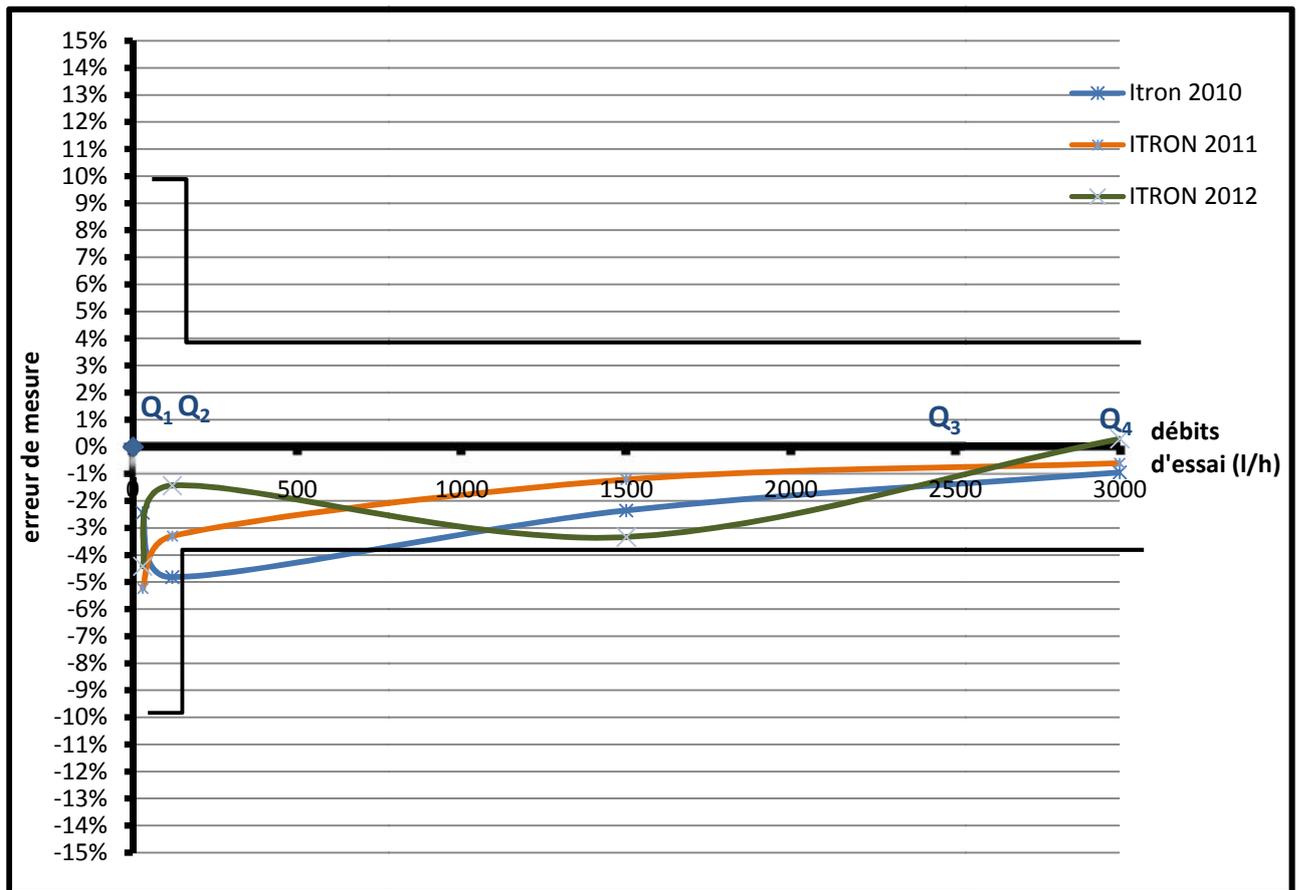


Figure 15: courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs de marque Itron en fonction de l'âge

3.5.3 Courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Sappel par année de pose

La figure 16 nous montre que les courbes d'erreurs moyennes pondérées des années 2005 et 2007 ne sont pas contenues dans le canal de tolérance des EMT à tous les débits d'essai. En effet on remarque que la courbe de 2005 se retrouve hors du canal de tolérance à Q_3 et Q_4 tandis que la courbe de l'année 2007 se retrouve hors du canal de tolérance à partir du Q_2 . Ces résultats attestent que les compteurs de marque Sappel de ces années sous comptent à ces débits d'essai. Par contre les courbes d'erreurs moyennes des compteurs de marque Sappel des années 2008, 2009, 2010, 2011 sont contenues dans le canal de tolérance des erreurs maximales tolérées.

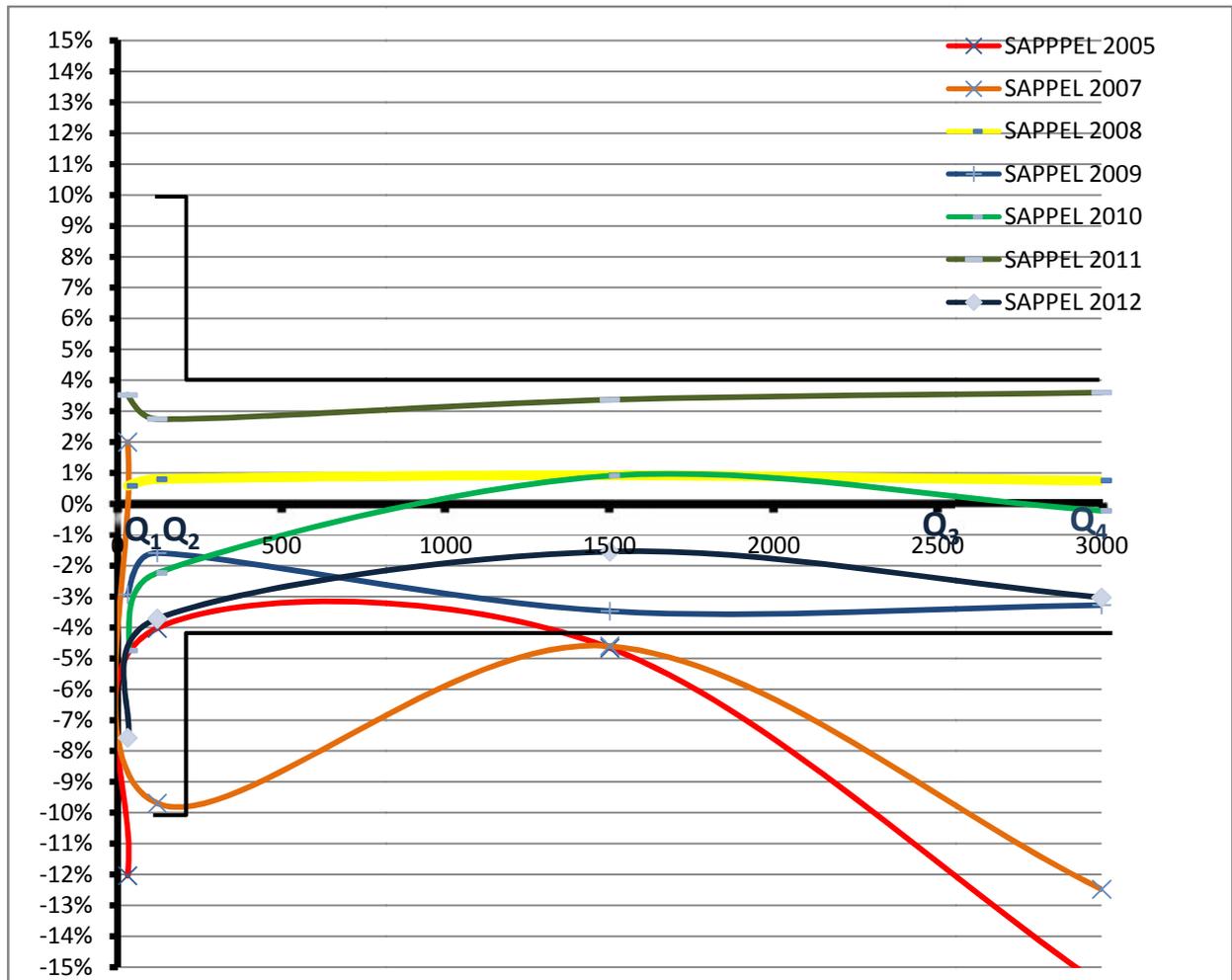


Figure 16: courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs de marque Sappel en fonction de l'âge

3.5.4 Courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Wehrle par année de pose

La figure 17 indique que les courbes des différentes années des compteurs de marque Wehrle sont contenues dans le canal de tolérance des erreurs maximales tolérées sauf les compteurs de 2005. En effet les compteurs de 2005 sous comptent en général au Q_1 et au Q_4 .

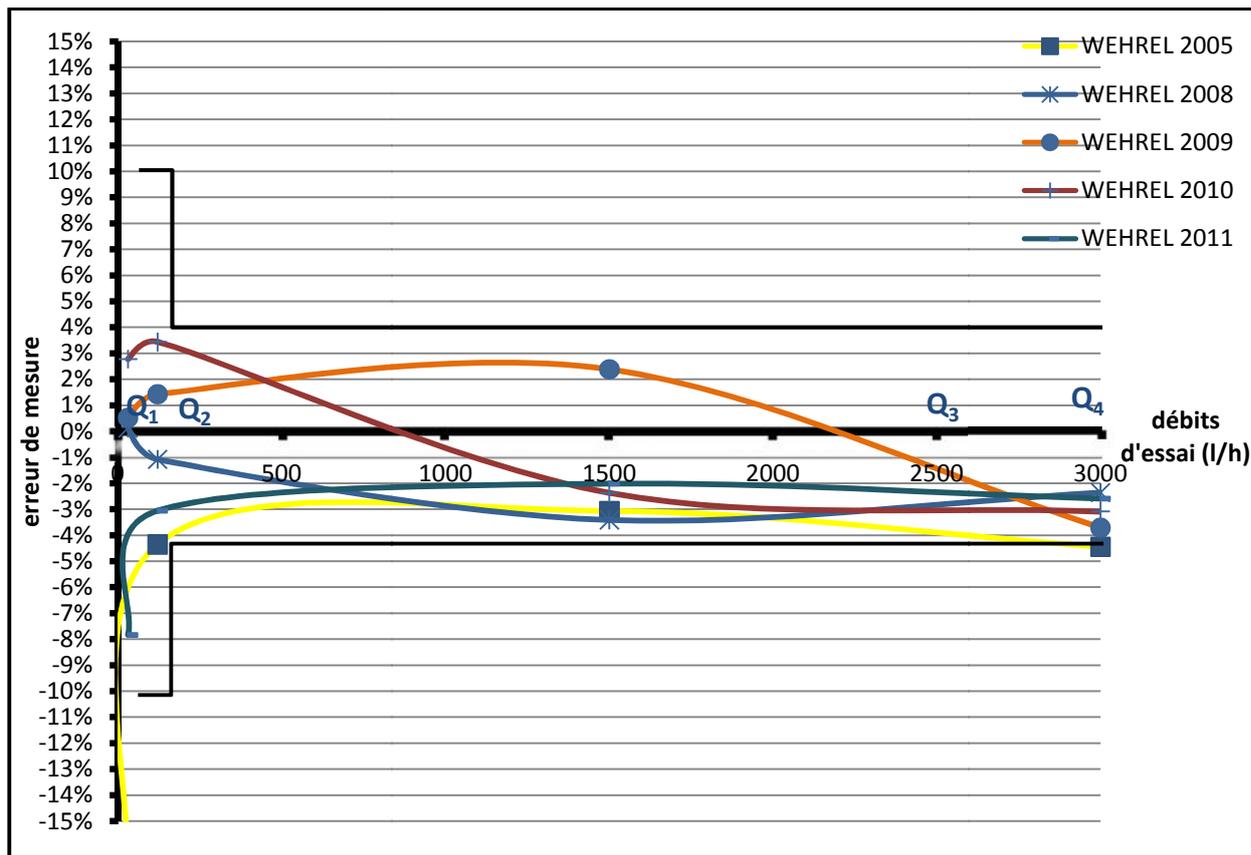


Figure 17: courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs de marque Wehrle en fonction de l'âge

3.5.5 Courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Actaris par année de pose

La figure 18 nous montre que les courbes d'erreurs moyennes pondérées des années 2007, 2008 et 2009 sont contenues dans le canal de tolérance des erreurs maximales tolérées. Les autres courbes des années 2005 et 2006 se retrouvent hors du canal à Q_1 , Q_2 , Q_3 et Q_4 à des erreurs de mesures négatives (sous comptage).

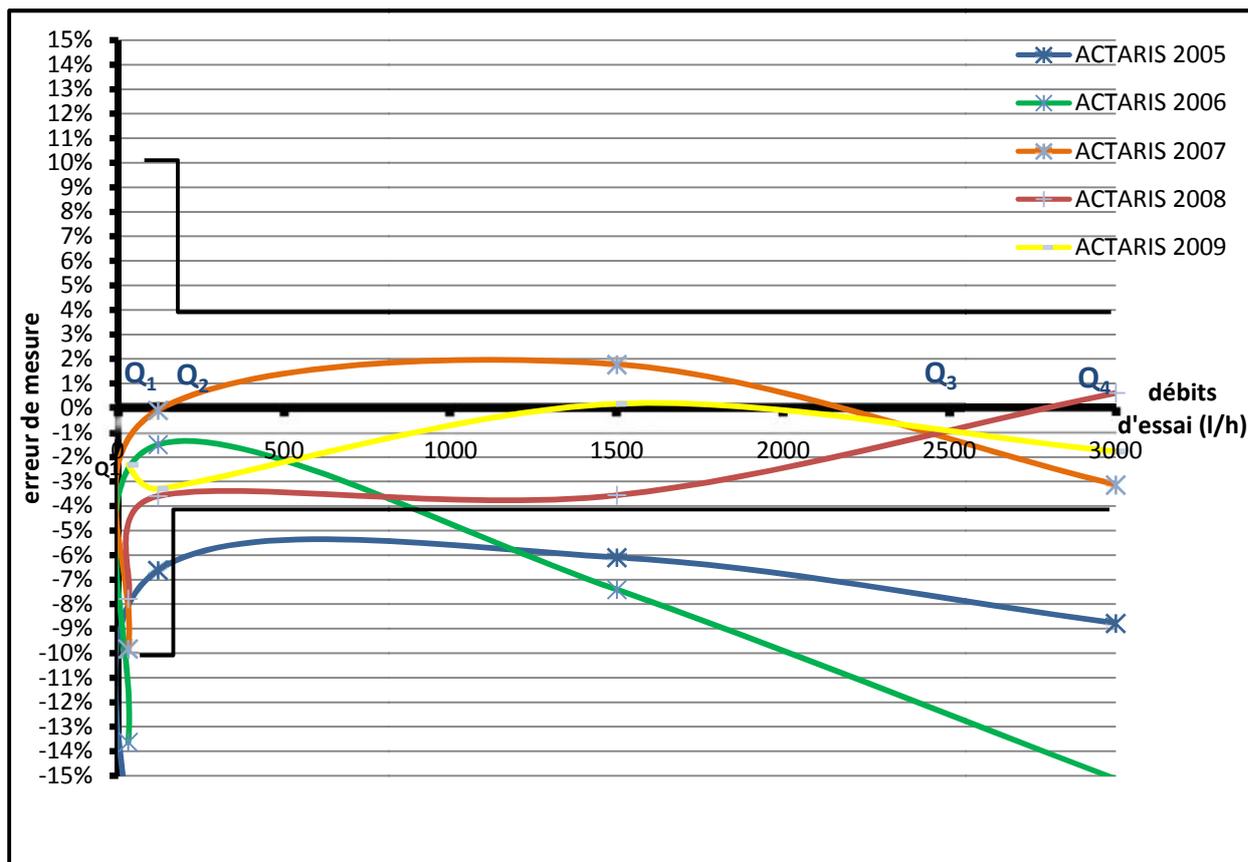


Figure 18: courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs de marque Actaris en fonction de l'âge

3.5.6 Courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Sensus par année de pose

sur la figure 19 nous constatons qu'à l'exception de la courbe d'erreur moyenne pondérée des compteurs Sensus de l'année 2006 qui sous compte au Q_1 les autres courbes représentant respectivement les compteurs des années 2007, 2008 et 2010, sont contenues dans le canal de tolérance des erreurs maximales tolérées (EMT).

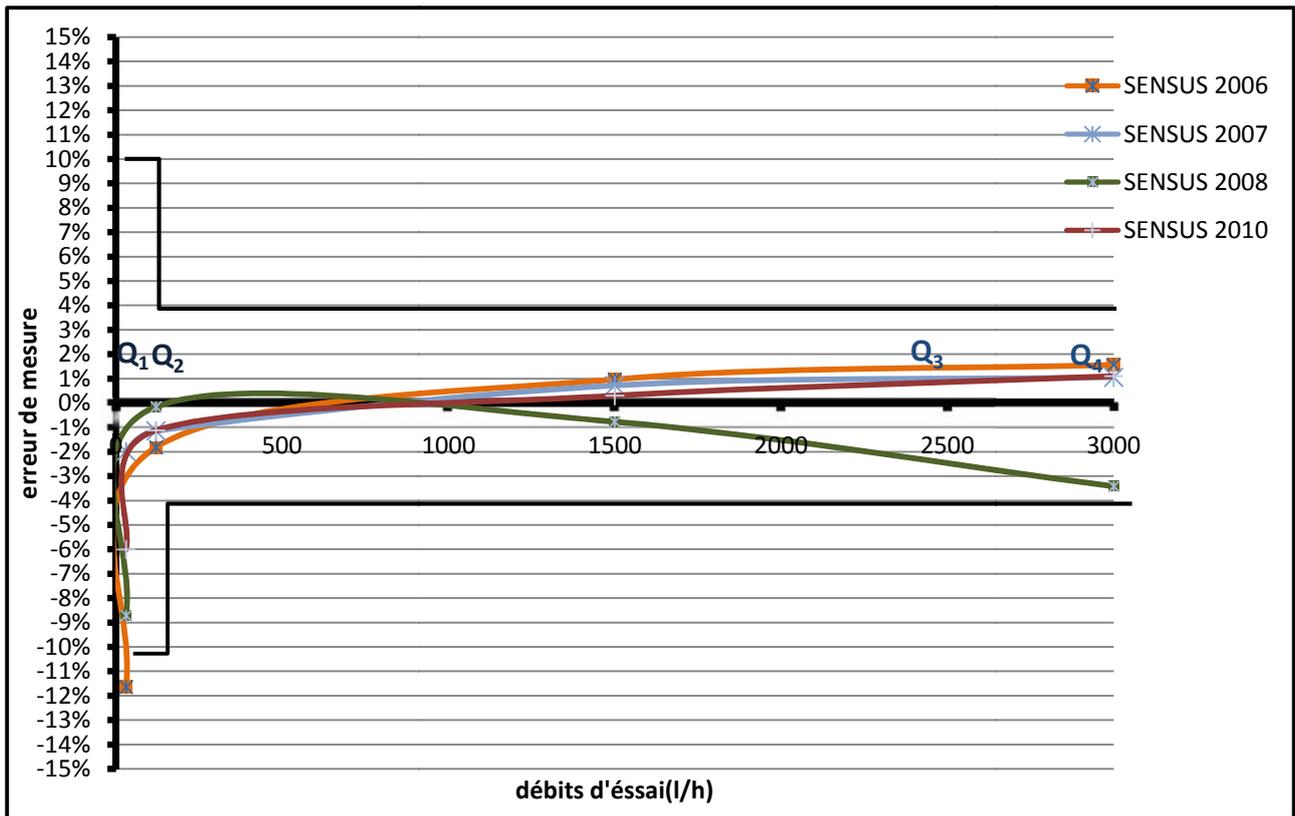


Figure 19: courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs de marque Sensus en fonction de l'âge

3.5.7 Courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs Baylan par année de pose

La figure 20 montre que la courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs de marque Baylan de l'année 2012 se trouve hors du canal de tolérance des erreurs maximales tolérées (sous compte au Q₁) tandis que celle de l'année 2013 est contenue dans le canal des erreurs maximales tolérées.

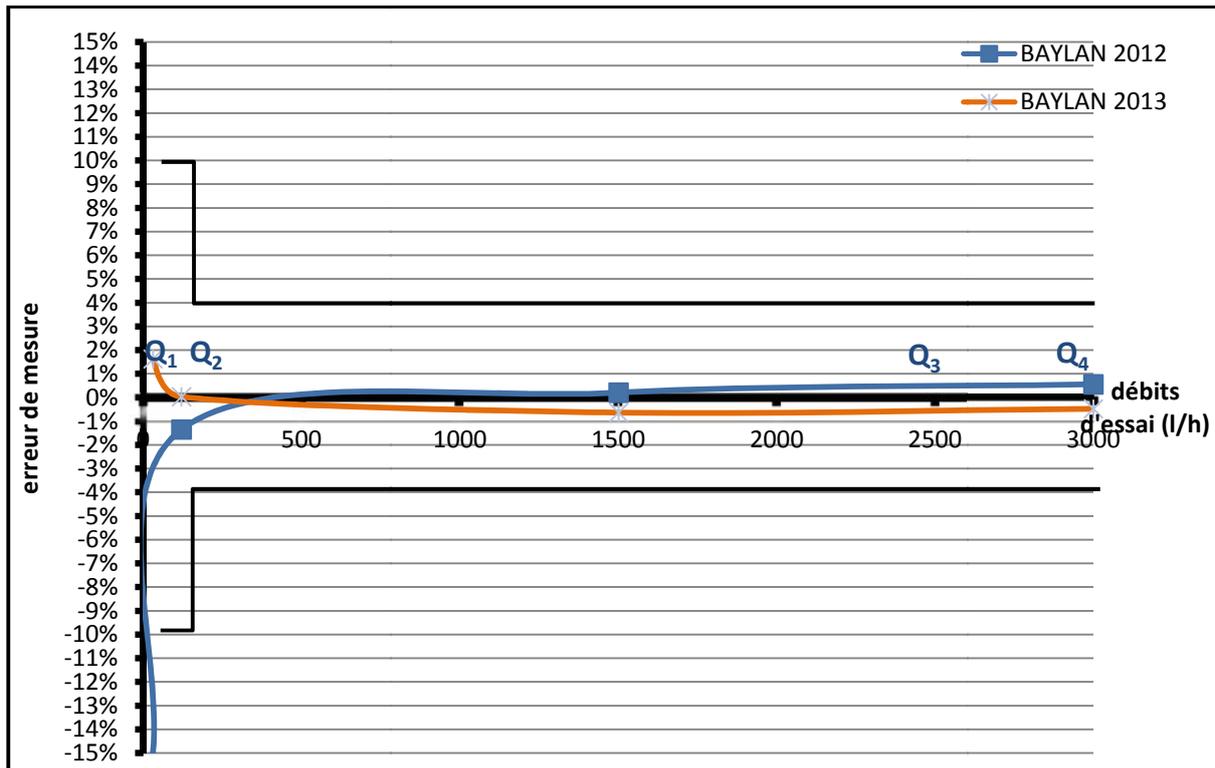


Figure 20: courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs de marque Baylan en fonction de l'âge

Au regard des résultats sur la proportion des compteurs non conformes et le suivi de l'évolution de la dégradation des compteurs en fonction des âges, nous constatons que chaque marque de compteur a son propre profil de dégradation. Les courbes d'erreurs moyennes pondérées des compteurs les plus anciens se retrouvent hors du canal de tolérance des EMT et se manifeste par un sous comptage des volumes d'eau consommée. Les erreurs de mesure augmentent avec l'âge des compteurs (Bertrand et al, 2004). Pour une même marque de compteur la dégradation se fait selon le modèle des compteurs. en effet selon (Ajuste et al., 2004) certains modèles de compteurs sont sensibles aux vieillissement et aux conditions d'utilisation.

3.6 Répartitions des compteurs non conformes en fonction des volumes enregistrés

Parmi les compteurs défectueux de différentes marques, une segmentation par tranche de 500 m³ d'eau enregistrés par les compteurs a été faite pour connaître la sensibilité des compteurs aux consommations. On rappelle que l'ensemble du parc étant constitué à 95% des compteurs de diamètre 15 mm, l'étude portera essentiellement sur les compteurs de ce diamètre.

- La première tranche concerne les compteurs défectueux ayant enregistré un volume inférieur à 500 m³ depuis leur année de pose,
- la deuxième tranche concerne les volumes compris entre 500m³ et 1000m³,
- la troisième tranche concerne les compteurs défectueux ayant enregistré un volume compris entre 1000 m³ et 1500 m³,

- la quatrième entre 1500 m³ et 2000 m³,
- la cinquième entre 2000 et 2500 m³ et enfin les compteurs ayant enregistré plus de 2500 m³.

L'objectif est de savoir à partir de quelle consommation le phénomène de dégradation atteint une proportion importante. La figure 21 nous montre une vue globale de la répartition des compteurs défectueux en fonction des volumes enregistré pendant la durée de service.

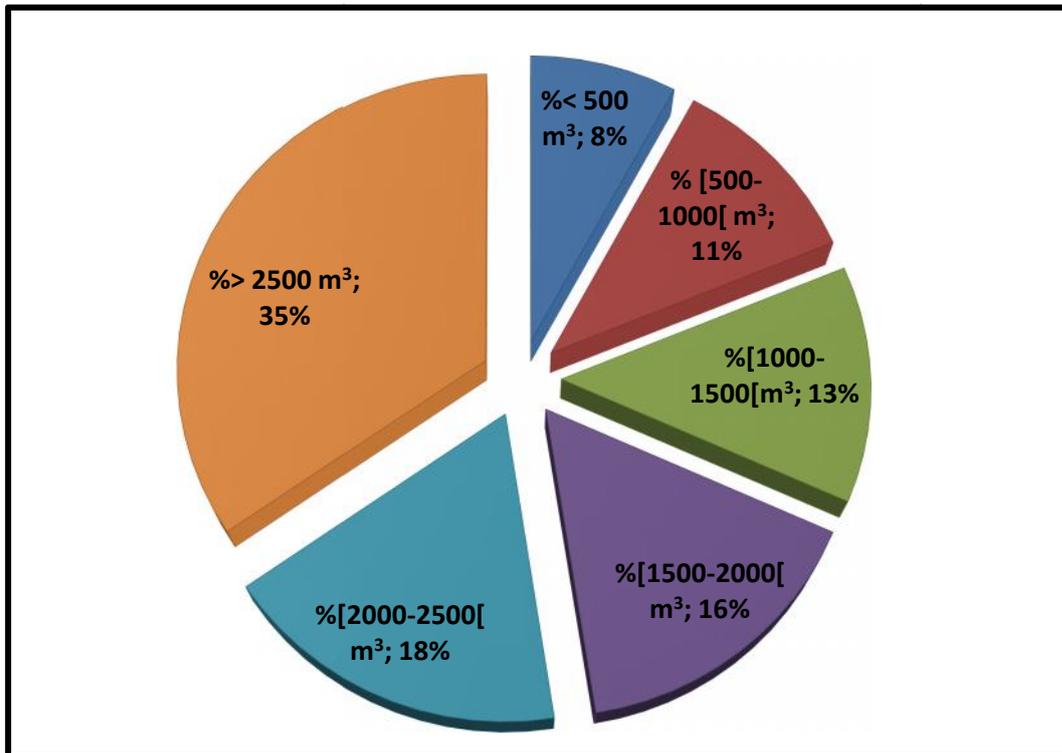


Figure 21: Diagramme de répartition globale des compteurs défectueux en fonction des volumes enregistrés

Une grande proportion des compteurs défectueux ont enregistré un volume d'eau relativement important dans l'ensemble. Sur un total de 121 compteurs défectueux, 35% ont enregistré plus de 2500 m³ d'eau depuis sa pose, 18% ont enregistré entre 2000 et 2500 m³ d'eau et 16% ont enregistré entre 1500 m³ et 2000 m³ d'eau, 13% ont enregistré entre 1000 m³ et 1500 m³, 11% ont enregistré entre 500 et 1000 m³ et 8% ont enregistré moins de 500 m³. Nous remarquons que les compteurs soumis à des consommations importantes ont un taux de dégradation plus importante que ceux qui ont enregistré une consommation plus faible. Selon Bertrand et al (2007), la consommation fait partie des facteurs aggravant la dégradation métrologique des compteurs d'eau. Ces résultats sont confirmés par l'analyse en composante principale déterminant le lien entre la non-conformité et l'index de la figure 22.

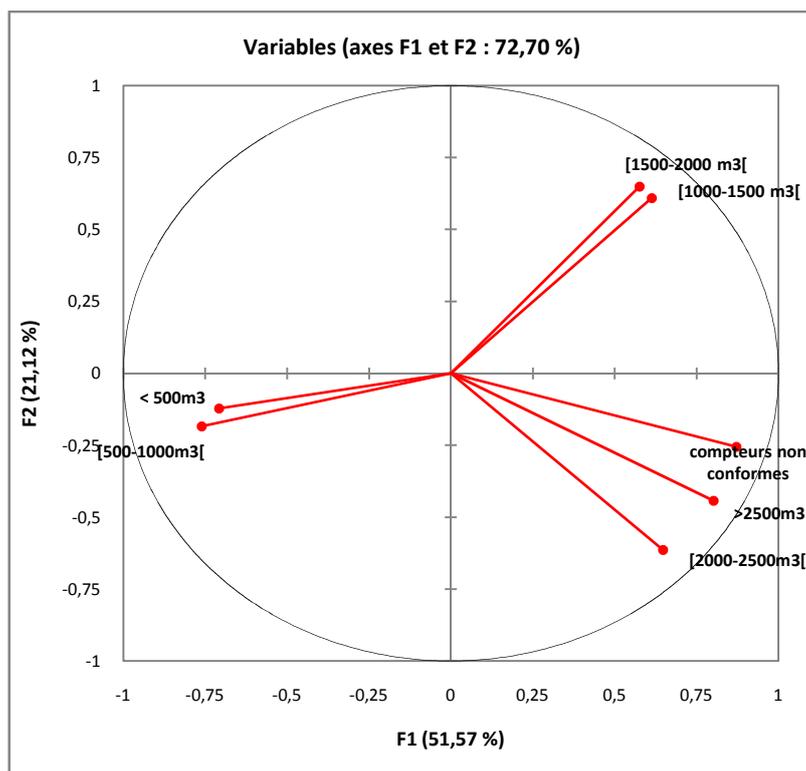


Figure 22: cercle de corrélation entre la non-conformité et les index enregistrés

Le cercle de corrélation ci-dessus (figure 22) montre que les compteurs non conformes sont fortement corrélés aux volumes élevés notamment aux volumes supérieurs à 2500 m³, Ce qui signifie que les compteurs dans leur majorité tendent à la non-conformité au voisinage de l'index 2500 m³. Ces résultats sont similaires à ceux de Pasanisi (2004) qui conclut qu'il ya une différence marquée entre les compteurs enregistrant plus ou moins 200 m³/an, les premiers se dégradant plus vite que les seconds.

3.7 Profil de consommation des abonnés

Les données sur les profils de consommation des différentes catégories d'abonnés permettront d'attribuer les calibres de compteurs selon le mode d'usage de l'eau. En effet, Le choix du compteur à installer sur un branchement est un problème délicat et un compromis s'impose entre le risque de surcharge hydraulique et la possibilité de mesurer à faibles débits (Pasanisi 2004b). Le principe de la correspondance des calibres de compteurs d'eau et profils de consommation se fait selon les étapes suivantes

- d'abord repérer sur l'histogramme les tranches correspondantes aux débits les plus faibles, au pic de la consommation et le débit maximal.
- ensuite faire une adéquation entre la tranche de débits les plus faibles au Q₁, le pic de la consommation au Q₃ d'un diamètre de compteur

- enfin s'assurer que le débit maximal de consommation n'excède pas le Q4 du diamètre correspondant

Les figures 23 à 34 montrent les profils de consommations moyennes des différentes catégories d'abonnés étudiés sur une durée de 24 heures qu'on suppose invariante dans le temps.

3.7.1 Profil de consommation de l'administration publique

La figure 23 montre le profil de consommation journalière moyenne des structures administratives notamment les directions générales administratives publiques. Le pic de la consommation (48%) se fait à l'intervalle des débits de 1500 à 3000 L/h. Le débit maximal de consommation se situe autour de 12000 L/h. Un compteur de 30mm est approprié pour ce type d'abonnés. Les calibres de compteurs actuellement en place sont de diamètre 20 mm pour certaines directions générales comme la direction de l'urbanisme. Ces compteurs installés actuellement chez ces abonnés auront tendance à s'user plus vite car ne supportant pas les forts débits de consommation.

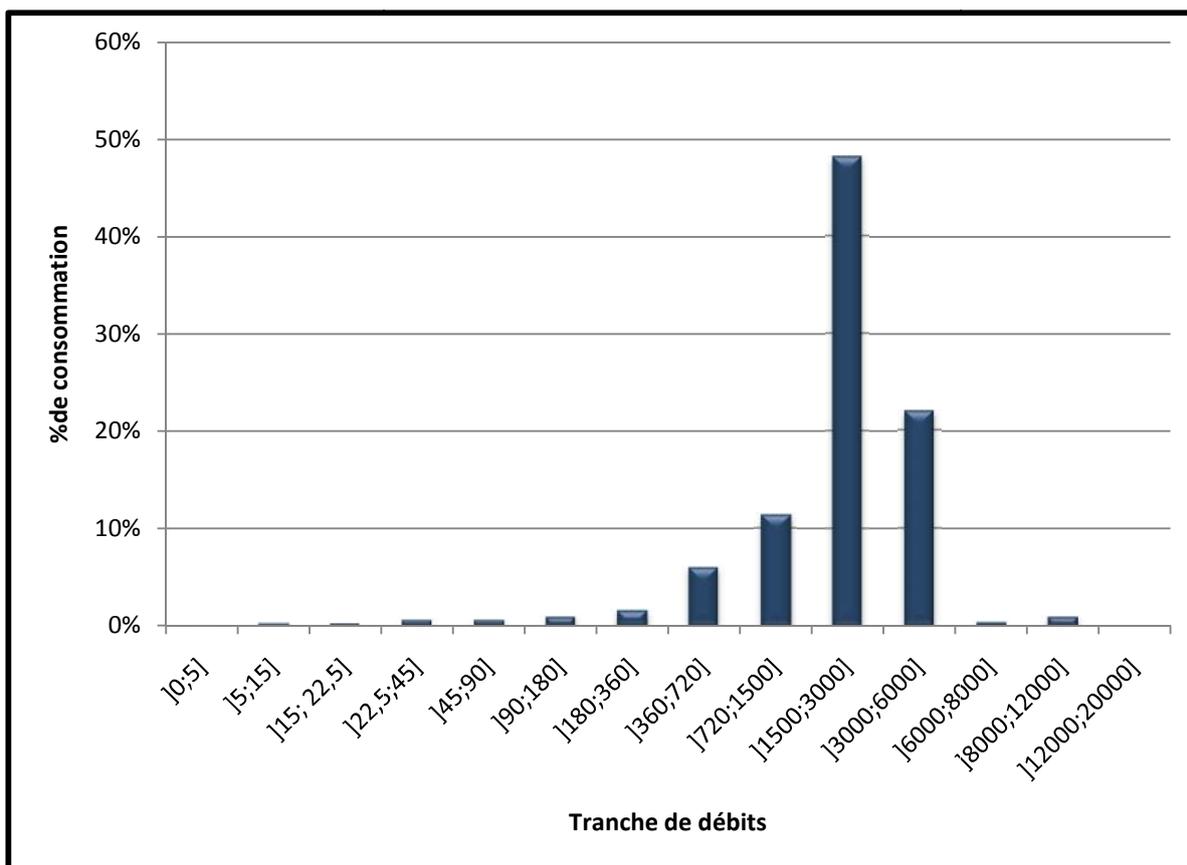


Figure 23: profil de consommations journalières moyennes des directions générales administratives publiques de la zone R7

3.7.2 Profil de consommation des structures spécifiques

Les structures spécifiques concernent les résidences universitaires, des infrastructures sportives comme le stade et l'Institut de la Jeunesse, de l'Education Physique et des Sports (INJEPS), les écoles et les structures sanitaires (maternités) représentés par les figures 24 à 28.

✓ Profil de consommation de la résidence universitaire de la zone R7

L'histogramme de la figure 24 représentant le profil de consommation journalière d'eau des habitants de la résidence universitaire Chinoise de GOUNGHIN montre que la consommation ne se fait pas à des très faibles débits. Les plus faibles débits de consommation de cette cité se trouvent dans l'intervalle 720L/h à 1500 L/h. Le pic de la consommation se fait à des débits compris entre 3000 L/h et 6000 L/h. Les plus forts débits de consommation sont constatés entre les débits 6000 L/h et 8000 L/h. L'essentiel de la consommation se faisant autours de 6000 L/h correspondant au débit nominal des diamètres de 30 mm, il serait profitable d'utiliser un compteur de diamètre 30 mm pour ce genre d'abonnés en lieu et place d'un diamètre 20 mm rencontré sur place.

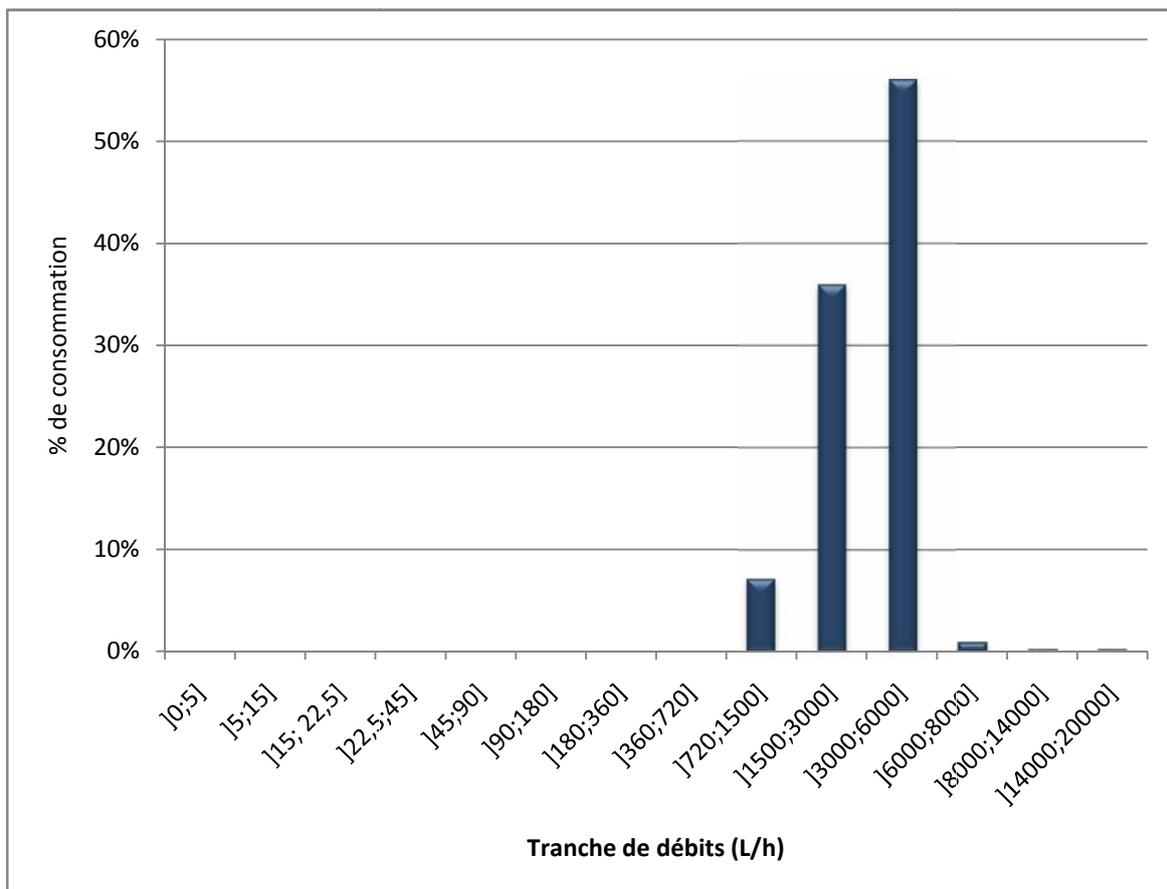


Figure 24: profil de consommation journalière d'une résidence universitaire

✓ **Profil de consommation des infrastructures sportives**

Les infrastructures sportives de la zone R7 sont représentées par l'Institut de la Jeunesse, de l'Education Physique et des Sports (INJEPS), le stade du 4 AOUT. Les histogrammes des figures 25 et 26 montrent les profils de consommations de ces infrastructures sportives.

- **Centre de formation de l'INJEPS**

Sur l'histogramme de la figure 25 représentant le profil de consommation, l'essentiel de la consommation (68%) se fait entre les débits 1500L/h et 3000 L/h. Cependant on note qu'environ 30% de la consommation se fait à des débits compris entre 3000 L/h et 6000 L/h. Le plus grand débit représentant moins de 5% de la consommation se fait à moins de 7000 L/h. Le compteur adapté au profil de consommation de cette structure est celui de 25 mm au lieu de 30 mm présent actuellement sur les lieux. En vue de la fiabilité du comptage des volumes enregistrés de cette structure, celui-ci devra être remplacé par un diamètre 25 mm.

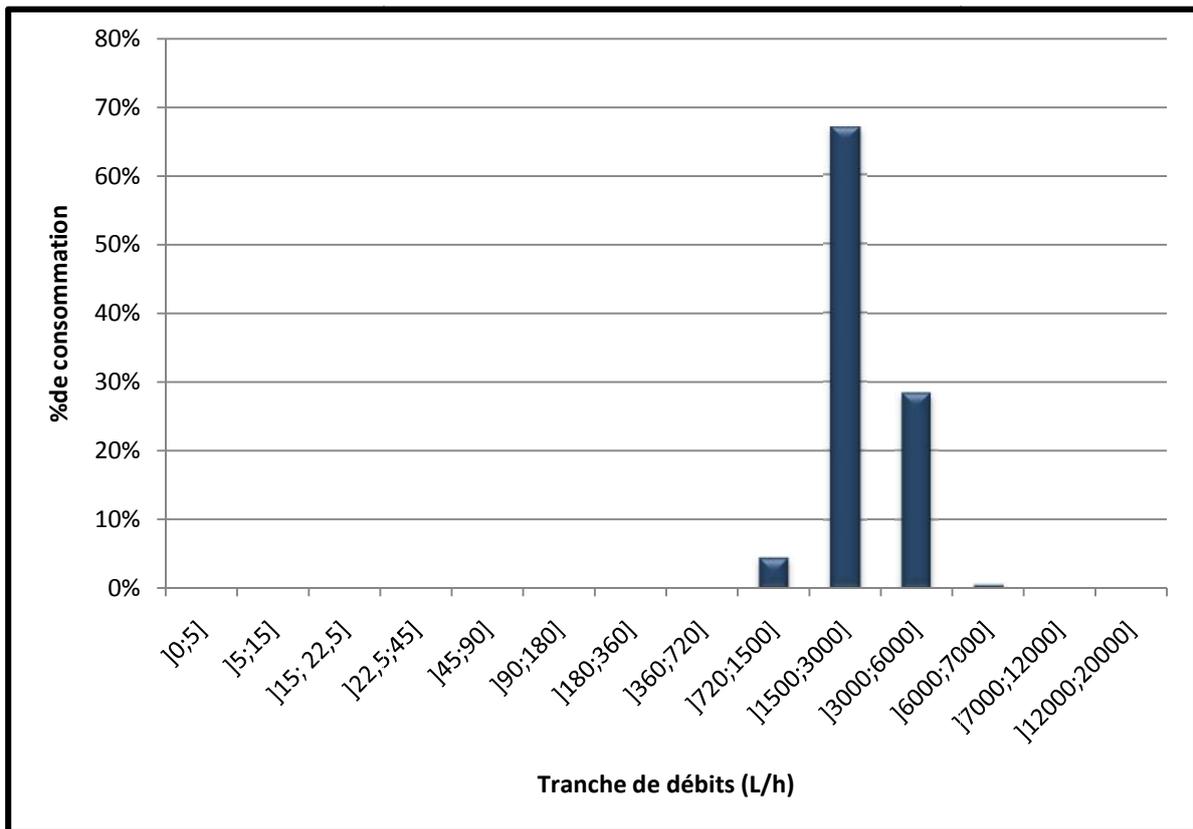


Figure 25: profil de consommation journalière de l'INJEPS

- **Stade du 4 AOUT**

Le stade de 4 août est un complexe sportif qui comporte en son sein une administration regroupant quelques bureaux des agents qui y travaillent. Le stade comprend en plus des

vestiaires des sportifs, des toilettes pour les supporters et les agents chargés de l'entretien du stade. La consommation se fait sur une large plage de débit de 180 L/h à 20000 L/h. Le plus faible débit de consommation se situe entre 180 L/h et 360 L/h. Le pic des tranches de débits de consommation se situe entre 1500 L/h et 3000 L/h. Cependant on note une importante proportion de débits compris entre 3000 L/h à 14000 L/h. les plus forts débits de consommation enregistrés sont dans l'intervalle compris entre 14000 L/h et 20000 L/h et ceux-ci n'atteignent pas 5% de la consommation. Le compteur approprié pour un tel profil de consommation est un compteur de diamètre 40 mm mais la présence des ouvrages comme les bouches d'incendies pourraient justifier le diamètre 200 mm rencontré sur le terrain.

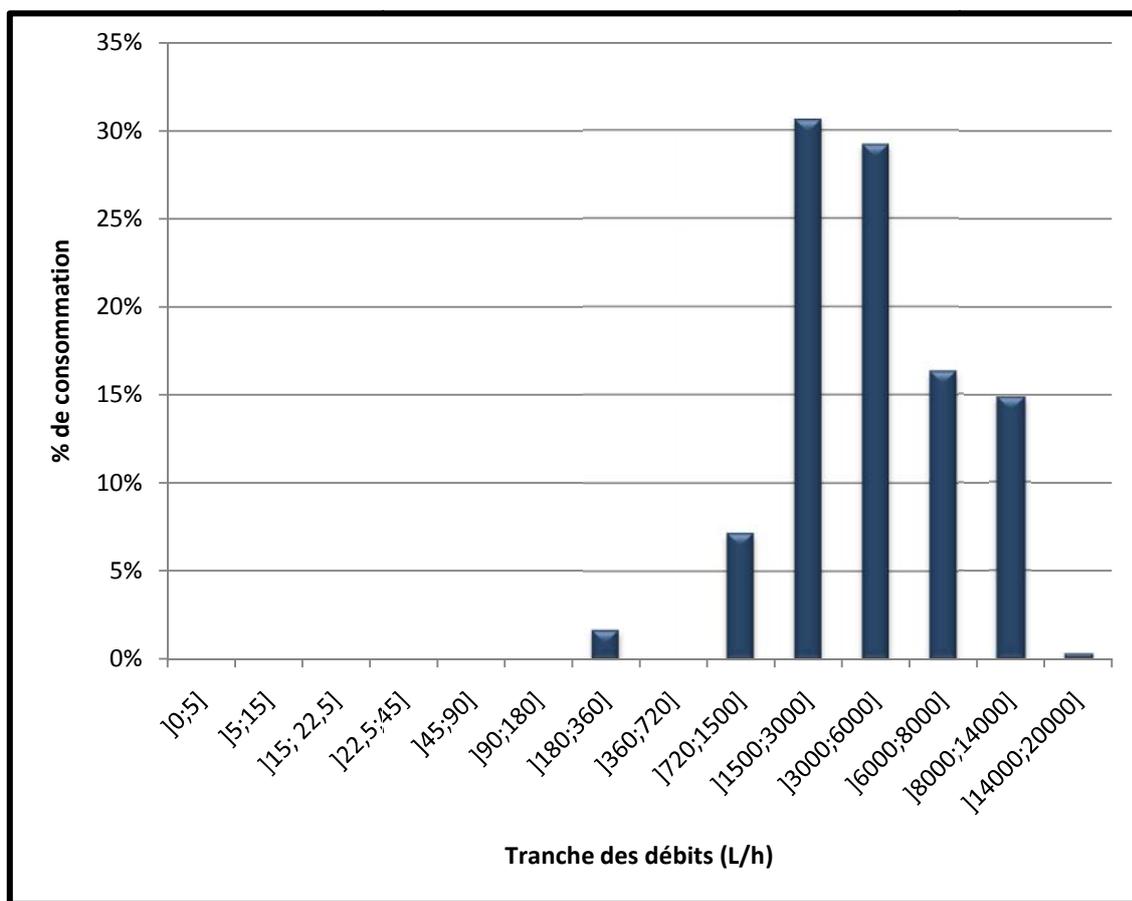


Figure 26: profil de consommation journalière du stade de 4 août

✓ **profil de consommation moyenne des écoles de la zone R7**

L'histogramme de la figure 27 représente le profil de consommation moyenne des écoles de la zone R7. Cet histogramme révèle qu'il y a une très faible proportion de la consommation dans la tranche des faibles débits. En effet les plus faibles débits sont enregistrés entre 360 L/h et 720 L/h. L'essentiel de la consommation des écoles se fait à 60 % entre les débits 1500 L/h et 3000

L/h. Environ 20% de la consommation se situe entre 3000 L/h et 6000 L/h. Cependant on note qu'une très faible proportion de la consommation se fait entre 6000 L/h et 8000 L/h. le compteur approprié pour ce profil de consommation est le 25 mm au lieu du diamètre 20 mm déjà installé sur le terrain.

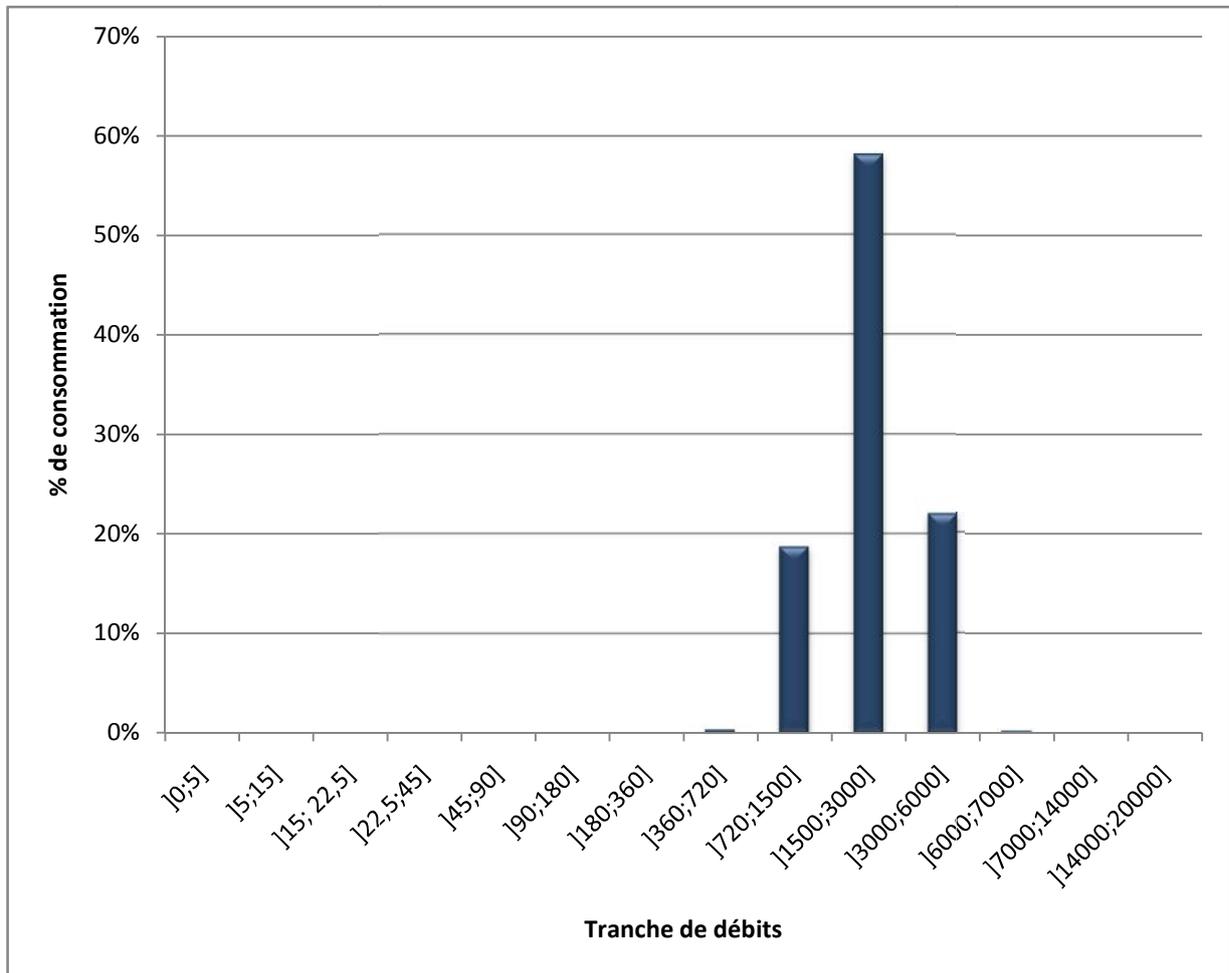


Figure 27: profil de consommation moyenne des écoles de la zone R7

✓ **Profil de consommation moyen des structures sanitaires (maternités, clinique) de la zone R7**

Sur la figure 28 représentant le profil de consommation moyen des structures sanitaires de la zone R7, on constate que la consommation se fait sur une large plage de débits de consommation. On enregistre de très faibles débits correspondant très certainement à des fuites d'eau ou à des consommations pérennes à faible débits. Cependant le pic de la consommation est enregistré entre 360 L/h et 720 L/h. une faible proportion de la consommation se fait entre 720 L/h et 1500 L/h. Le débit maximal n'excède pas 3000 L/h. Un compteur de diamètre 15 mm est approprié pour ce type d'usage de l'eau comme ceux déjà installé sur le terrain actuellement.

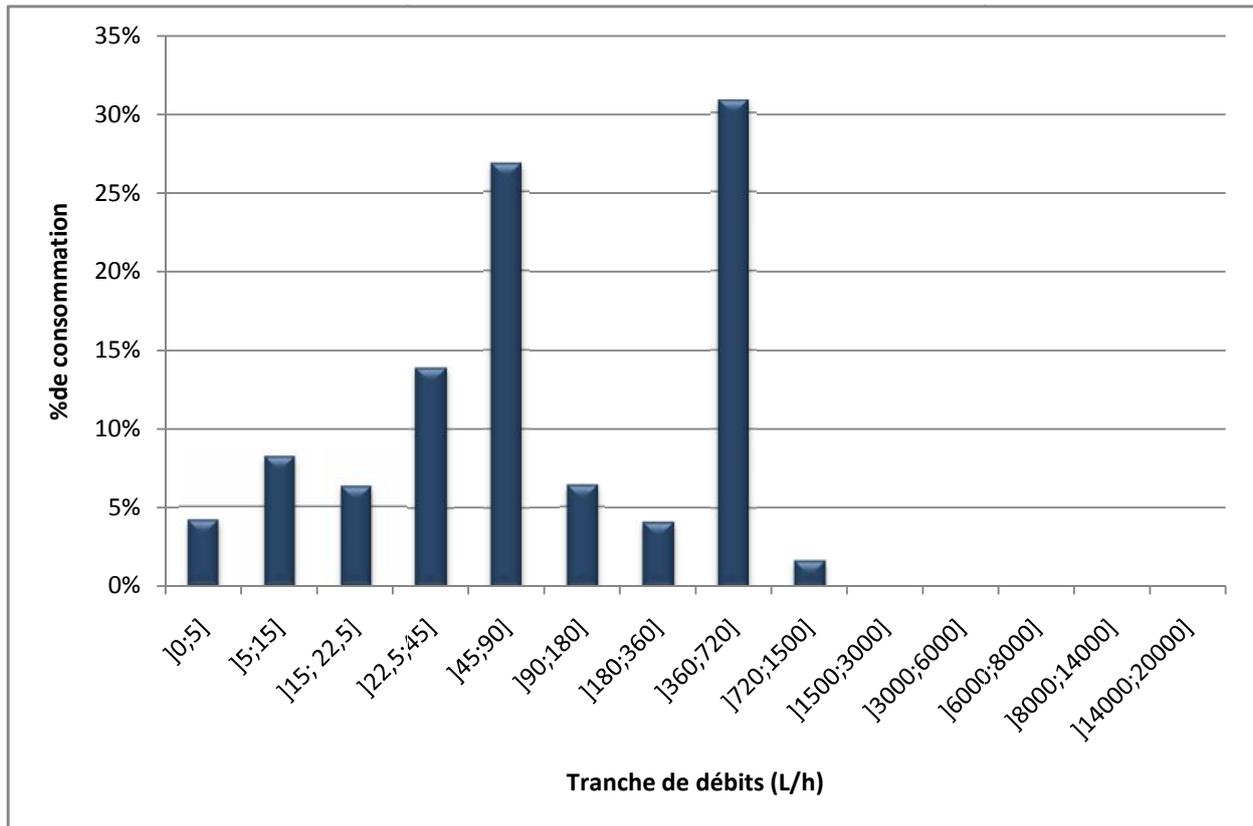


Figure 28: profil de consommation moyen des structures sanitaires

3.7.3 Profil de consommation des bornes fontaines

Sur cet histogramme de la figure 29, on constate que l'eau est consommée autant à faibles débits qu'à fort débits. Les plus faibles débits de la consommation sont compris entre 360 et 720 L/h. Le pic de la consommation est enregistré entre les débits 3000 L/h et 6000 L/h. Les plus forts débits de consommation n'excèdent pas 12000 L/h. Le compteur adapté au profil de consommation pour ce type d'abonné est celui de 30 mm. Les calibres de compteurs déjà installés sur les bornes fontaines sont de diamètre 30 mm donc correspondent parfaitement aux profils de consommation.

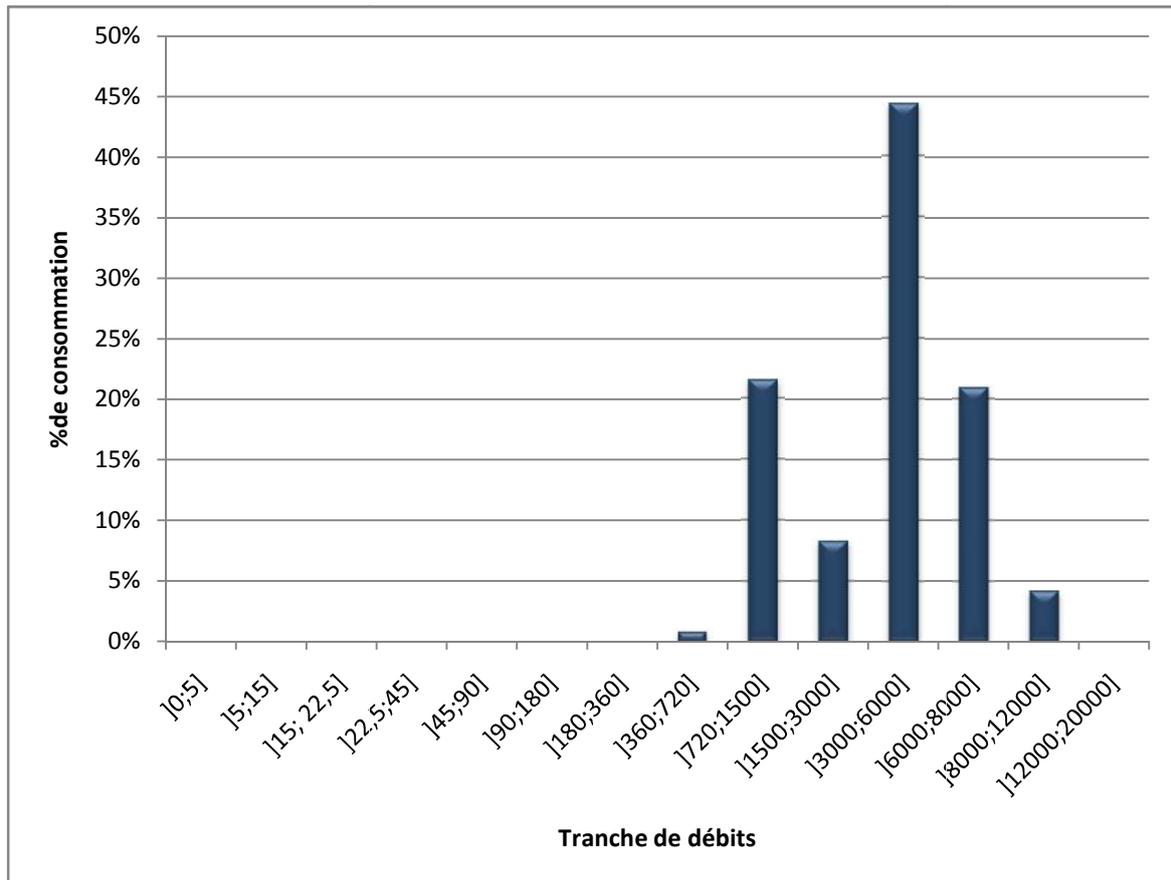


Figure 29: profil de consommation journalière moyen des bornes fontaines de la zone R7

3.7.4 Profil de consommation moyenne des grandes maisons

Les grandes maisons sont représentés les hôtels et les édifices religieuses (mosquée) de la zone de R7 dont les figure 30 et 31 représentent les profils de consommations.

✓ profil de consommation des hôtels

L'analyse de l'histogramme de la figure 30, nous montre que la consommation d'eau des hôtels se fait sur une très large plage de débits allant de 0 à 8000L/h. cependant une part importante de consommation a lieu à faible débit. Ces faibles débits pourraient correspondre à des fuites ou à une très faible pression de l'eau. Cependant on note qu'environ 20% de la consommation se fait à un débit compris entre 720 L/h et 1500 L/h. Les plus grands débits sont dans la tranche de 6000 L/h et 8000 L/h. Le compteur adapté doit donc mesurer avec précision sous une perte de charge acceptable des débits extrêmement variables. Dans ce cas de figure il est recommandé de procéder par une partition des compteurs c'est-à-dire un petit calibre notamment un DN 15 mm connecté aux équipements à faibles débits, et un DN 25 mm connecté aux équipements à forts débits comme l'arrosage de la pelouse et le remplissage des piscines.

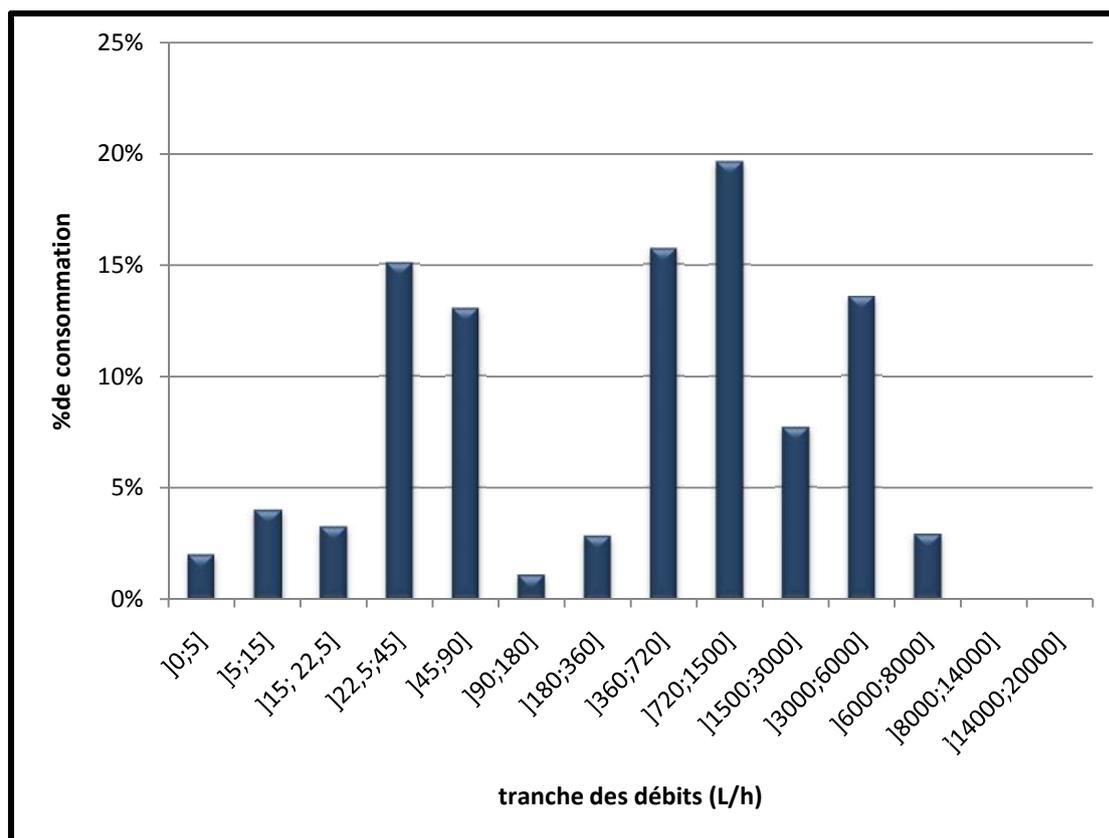


Figure 30: profil de consommation moyen des structures hôtelières de la zone de R7

✓ **Profil de consommation d'un édifice religieux**

Sur l'histogramme de la figure 31 représentant le profil de consommation journalière d'une mosquée de la zone R7 on constate que le pic des tranches des débits de consommation se situe entre 720 L/h et 1500 L/h. Les débits de consommation n'excèdent pas 3000 L/h. le calibre de compteurs adapté pour ce profil de consommation est le diamètre 15 mm identiques aux calibres rencontrés sur le terrain.

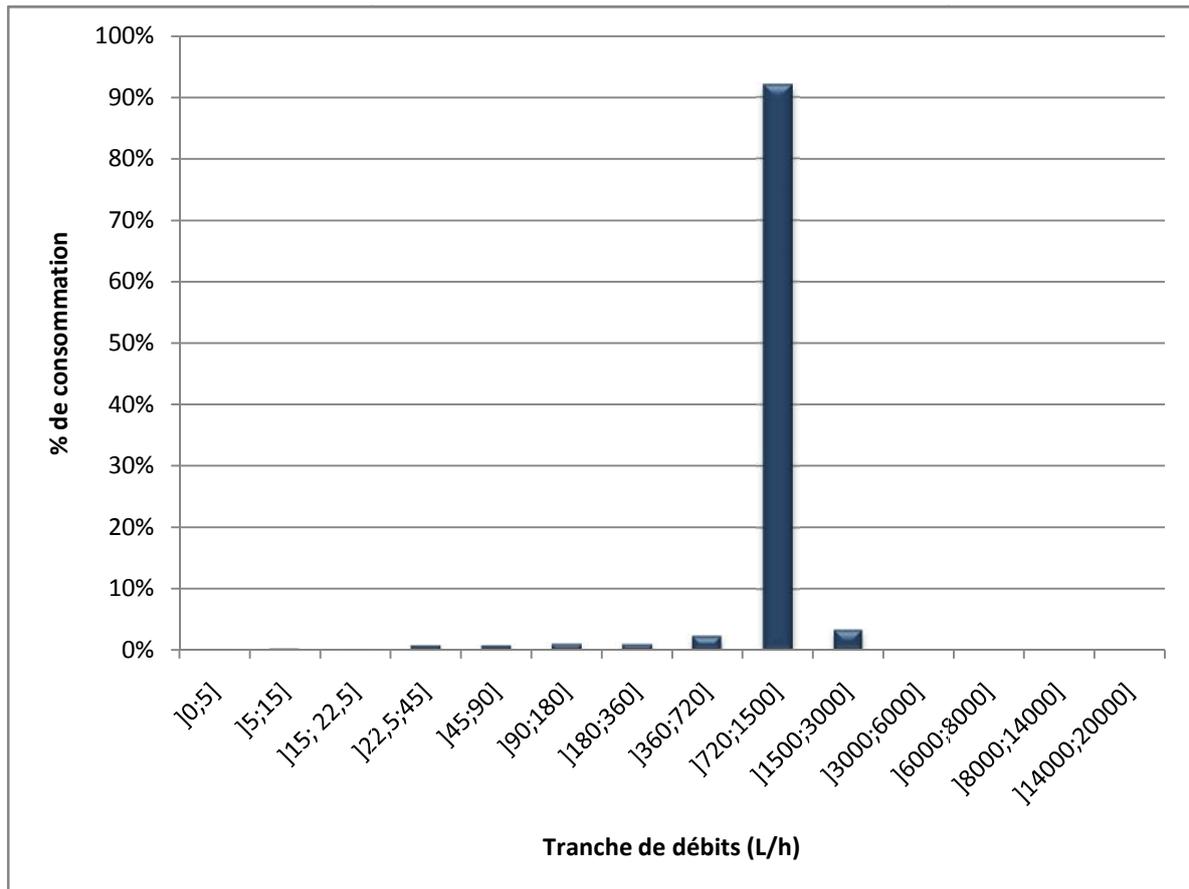


Figure 31: profil de consommation journalière d'une mosquée de la zone R7

3.7.5 Profil de consommation des particuliers

Les particuliers sont représentés par les ménages, les boulangeries, les pharmacies

✓ Profil de consommation moyenne des boulangeries de la zone R7

Sur l'histogramme de la figure 32 représentant le profil de consommation des boulangeries, nous constatons que la consommation se fait autant sur de faibles débits que sur des débits élevés. Les plus faibles débits n'excèdent pas dans leurs ensembles 5% de la consommation. L'essentiel de cette consommation se fait dans la tranche de débits compris entre 360 L/h et 3000 L/h. Environ plus de 30% de la consommation se fait à débit maximal. Le compteur adapté pour ce genre de profil de consommation est le compteur diamètre 15 mm. En effet les différents calibres de compteurs déjà installés sont de 15 mm. Ce qui correspond parfaitement au profil de consommation de ce type d'abonné.

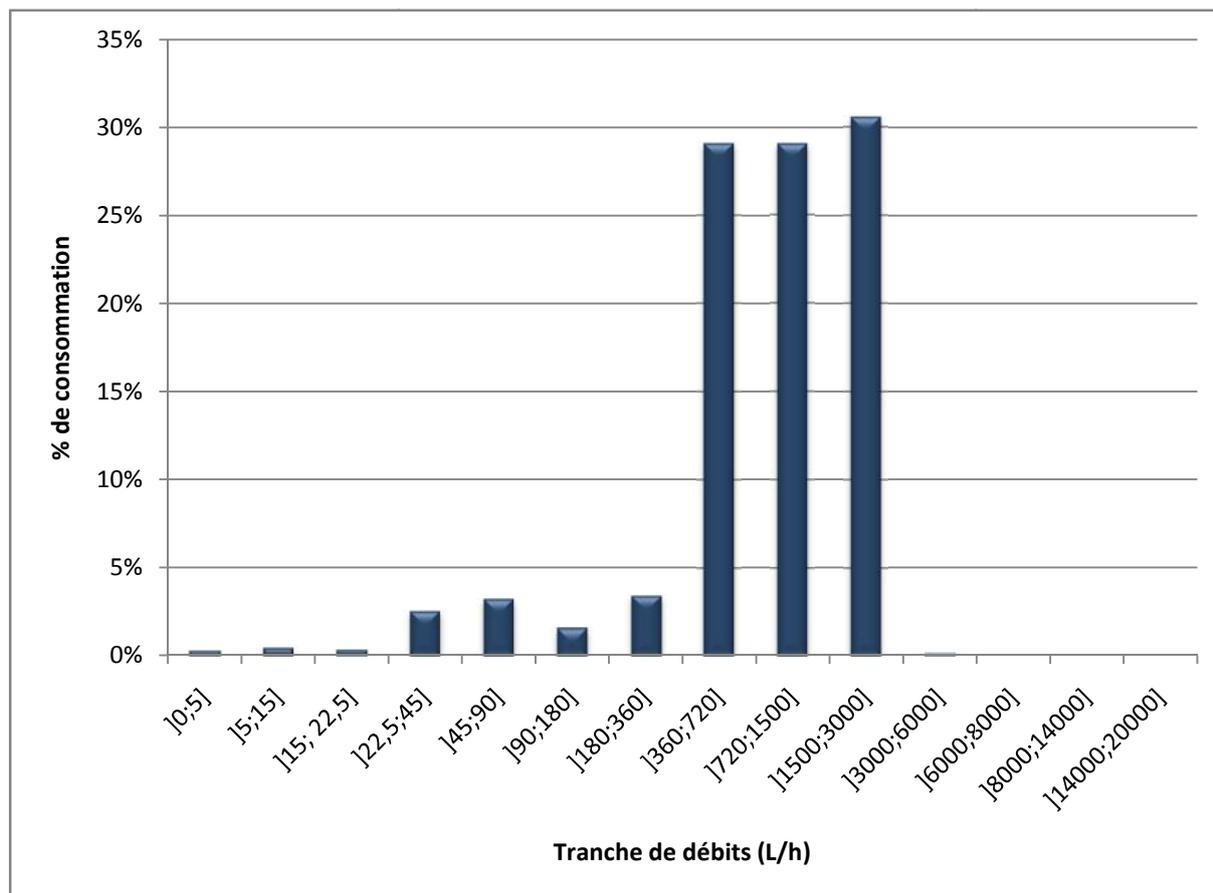


Figure 32: profil de consommation moyen des boulangeries de la zone R7

✓ Profil de consommation moyen des ménages de la zone R7

L'histogramme de la figure 33 représente le profil de consommation moyen des ménages de la zone de la R7. Il s'agit d'une mixture de plusieurs types de ménages à savoir les célibataires, des ménages à compteurs communs, des maisons individuelles. La plus grande partie de la consommation se fait dans la tranche des débits compris entre 720 L/h et 1500 L/h. les débits de consommation n'excèdent pas 3000 L/h. le calibre adapté pour ce profil de consommation est le compteur de diamètre 15 mm comme la plupart des calibres de compteurs rencontrés dans les ménages.

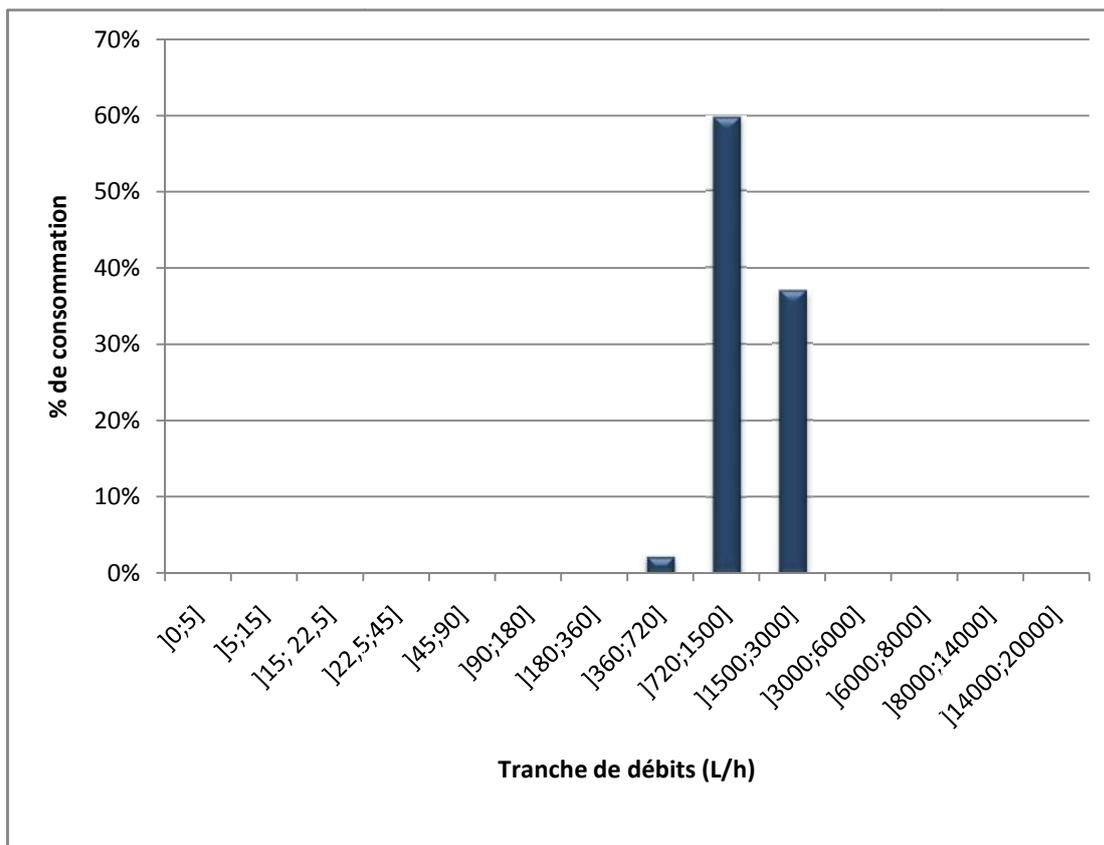


Figure 33: profil de consommation moyen des ménages de la zone R7

✓ **Profil de consommation journalière moyen des pharmacies de la zone R7**

La figure 34 montre le profil de consommation moyen des pharmacies de la zone R7. Il est important de rappeler qu'une grande partie des pharmacies de la zone R7 ne détiennent pas de leurs propres compteurs. En effet certaines pharmacies partagent le même compteur avec d'autres structures ou d'autres ménages. Ce profil de consommation moyen concerne certaines pharmacies qui détiennent exclusivement leurs propres compteurs. L'historique de la figure 33 montre que plus de la moitié de la consommation se fait dans la tranche de débits allant de 720 L/h à 1500 L/h. Les débits élevés n'atteignent pas 3000 L/h. Le calibre de compteur adapté pour ce genre de profil de consommation est le diamètre 15 mm.

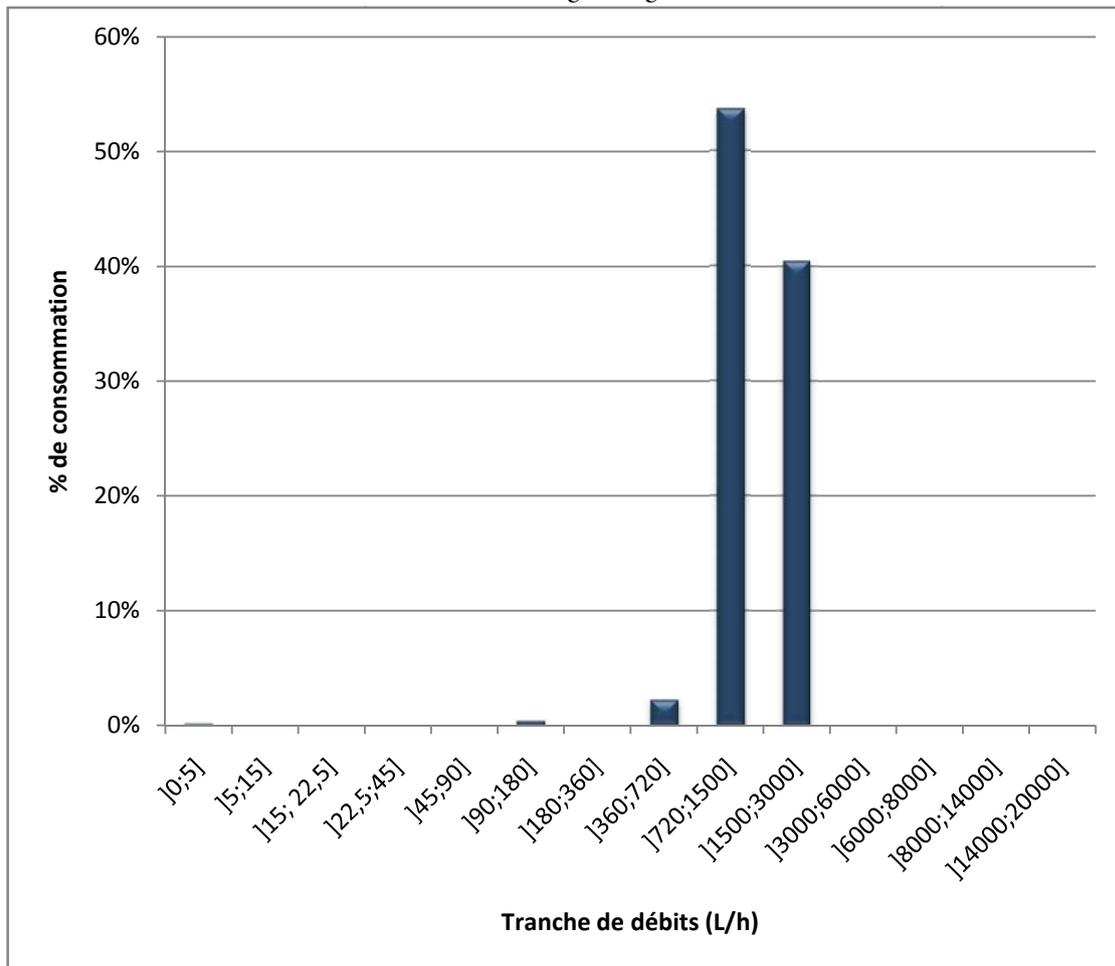


Figure 34: profil de consommation moyen des pharmacies de la zone R7

CONCLUSION

L'objectif de notre travail était d'apporter une contribution à l'amélioration de la politique de remplacement du parc de compteurs d'eau de la zone d'influence R7 de Ouagadougou. Ce travail nous a permis de comprendre l'évolution de la dégradation des compteurs et des facteurs qui en sont responsables. Il en ressort que l'âge et l'index des compteurs sont les facteurs principaux de cette dégradation. Cependant, l'âge des compteurs affecte plus la qualité métrologique des compteurs que l'index. De ce fait pour ce qui concerne l'âge, les lot de compteurs sont destinés à un refus après une durée compris entre 10 ans et 13 ans de service qu'un compteur selon la marque. Quant à l'index, Les compteurs atteignent une non-conformité lorsqu'ils atteignent un enregistrement d'environ 2500m³ d'eau pendant leur durée de service. L'analyse des courbes de vieillissement des compteurs montrent que la majorité des dysfonctionnements se manifestent par les cas de sous comptage : ce qui peut constituer une perte financière pour le gestionnaire de l'eau. Par ailleurs les cas de sur-comptage (10%) à Q₄ sont non-négligeables et peuvent constituer des facteurs de discordes entre la société gestionnaire et ses abonnés. Des dispositions conséquentes doivent être prises afin d'analyser avec suffisamment de rigueur les différents cas qui viendraient à se présenter. Le présent document servira de base pour le remplacement des compteurs en fonction des années de fabrication et des volumes enregistrés. L'étude sur les profils de consommation basée sur les habitudes de consommation des différentes catégories d'abonnés constitue un élément très important dans le dimensionnement des compteurs d'eau des catégories d'abonnés.

PERSPECTIVES

En raison du temps limité qui nous a été accordé pour l'accomplissement de ce travail, il nous a été impossible d'aborder certains aspects qui peuvent être très important en complément aux résultats de ce travail. A cet effet nous recommandons ce qui suit :

- Poursuivre la détermination des profils de consommation sur plusieurs jours, au moins en une semaine d'enregistrement des débits pour le même abonné. Cette procédure doit se faire en différentes saisons afin de connaître les consommations optimales de l'eau ;
- Suivre l'évolution du comportement des compteurs étudiés afin de comprendre davantage le mécanisme de dégradation des compteurs ;
- Faire une analyse financière du remplacement des compteurs afin de connaître le cout et la rentabilité de cette opération ;
- Etudier l'influence de la qualité physico-chimique et l'état du réseau de distribution sur la qualité métrologique des compteurs. En effet, des études antérieures (Parent 2004,

Bertrand et *al.*, 2007 ; Costes et Pia, 2000) ont montré que la qualité de l'eau et l'état du réseau peuvent constituer des variables explicatives de dégradation des compteurs.

Il sera souhaitable de procéder à la vérification des compteurs des années de fabrication dont les courbes de vieillissement sont hors du canal de tolérance des erreurs moyennes tolérées.

Cependant d'autres études sur l'aspect financier pourraient confirmer cette hypothèse

Les séances d'étalonnage ont montré des cas de compteurs dont les filtres sont obstrués par des particules causant un ralentissement de la vitesse de l'eau. Ces cas sont dus à une intrusion des particules volumineuses dans le réseau de distribution après des cassures des conduites. A cela s'ajoute de nombreux cas de compteurs illisibles qu'on peut attribuer au mauvais entretien des compteurs. Il serait opportun d'accorder une attention particulière quant à la réparation immédiates des fuites et aux visites régulières des compteurs.

.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AJUSTE, C., BERLAND, J.-M., CELERIER, J.-L., 2004. Réhabilitation/remplacement des réseaux d'eau potable en zone rurale. Document technique hors série.
- Barraqué, Bernard, Laure Isnard, Marielle Montginoul, Jean-Daniel Rinaudo, and Julien Souriau. 2011. "Baisse Des Consommations D'eau Potable Et Développement Durable." *Responsabilité Et Environnement* (3): 102–108.
- Bertrand, Frédéric, Myriam Maumy, and others. 2007. "Application De Méthodes De Classification Sur Des Vitesses Métrologiques De Dégradation De Compteurs D'eau." In *XIVe Rencontre De La Société Francophone De classification–SFC 2007*.
- Boistard, Pascal. 1993. "Qualité Et Prix Des Services Publics De Distribution D'eau Potable. Approche D'un Prix De La Qualité De L'eau Et De La Desserte". École nationale des ponts et chaussées.
- Bouchet, Christophe. 2010. "L'Eau, l'Industrie, Les Nuisances 2008-10 - Optimiser La Gestion D'un Parc De Compteurs.pdf". 315. L'EAU, L'INDUSTRIE, LES NUISANCES.
- Chesneau, Olivier. 2006. "Un Outil D'aide à La Maîtrise Des Pertes Dans Les Réseaux D'eau Potable : La Modélisation Dynamique De Différentes Composantes Du Débit De Fuite". Strasbourg: Université Louis Pasteur Strasbourg I.
- Costes, A, and Y Pia. 2000. "Les Compteurs D'eau En France: La Réglementation Et Son Évolution: Comptage, Tarification Et Facturation Des Consommations D'eau." *TSM. Techniques Sciences Méthodes, Génie Urbain Génie Rural* (7-8): 21–27.
- Da Vinci, Leonardo. 2010. "Livre De Base De Perte d'Eau."
- Guerquin, M, and M Grosjean. 2000. "Prise En Compte Du Comptage à L'international: Exemple De Buenos Aires: Comptage, Tarification Et Facturation Des Consommations D'eau." *TSM. Techniques Sciences Méthodes, Génie Urbain Génie Rural* (7-8): 59–61.
- INSD. 2011. "Annuaire Statistiques De La Ville De Ouagadougou (Burkina Faso)."

- Le Blanc, David, Anne Laferrère, and Rémy Pigois. 1999. "Les Effets De L'existence Du Parc HLM Sur Le Profil De Consommation Des Ménages." *Economie Et Statistique* 328 (1): 37–60.
- Montginoul, M, Thierry Rieu, and others. 1996. "Instruments De Gestion De L'eau En France: Exemple De La Charente." *Ingénieries-EAT* (8).
- Nations Unies. 2009. "Le 3eme Rapport Mondial Des Nations Unies Sur La Mise En Valeur Des Ressources En Eau". 3. *L'eau Dans Un Monde Qui Change*. Nations Unies.
- ONEA. 2012. "Rapport Technique 2012". ONEA.
- Parent, ERIC. 2004. "Modélisation Bayésienne Du Vieillissement Des Compteurs D'eau Par Mélange De Classe D'appareils De Différents États De Dégradation." *Revue De La Statistique Appliquée* 52 (39- 55).
- Pasanisi, Alberto. 2004a. "Aide à La Décision Dans La Gestion Des Parcs De Compteurs D'eau Potable". ENGREF (AgroParisTech).
- Renaud, Eddy, Dikra KHEDHAOUIRIA, Marion LAUZIER, Amir NAFI, aty WEREY, and Christophe WITTNER. 2012. "Réduction Des Fuites Dans Les Réseaux D'alimentation En Eau Potable Systèmes D'indicateurs Et Méthodologies Pour La Définition, La Conduite Et L'évaluation Des Politiques De Lutte Contre Les Fuites Dans Les Réseaux D'eau Potable". 3. ONEMA.
- RGPH. 2006. "Recensement General De La Population Et De L'habitat."
- Souriau, Julien. 2011. *Les Principaux Déterminants De La Consommation D'eau à Paris: Un État Des Lieux*. Doctorat Eau de Paris–CIRED.
- USAID, 2010. Manuel du manager sur l'eau non comptabilisée en Afrique.132 p

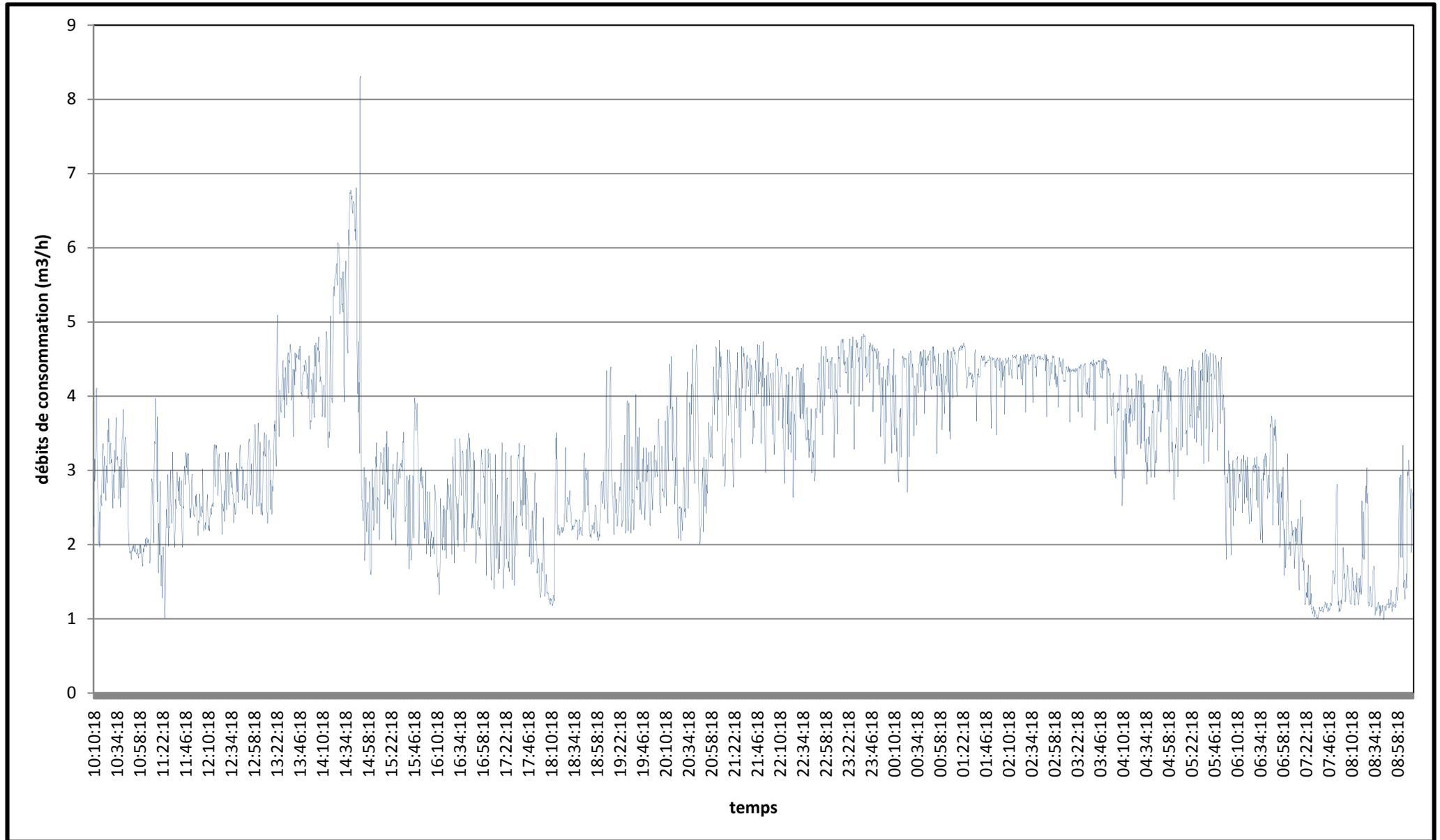
ANNEXES

Annexe 1 : exemple de fiche d'étalonnage

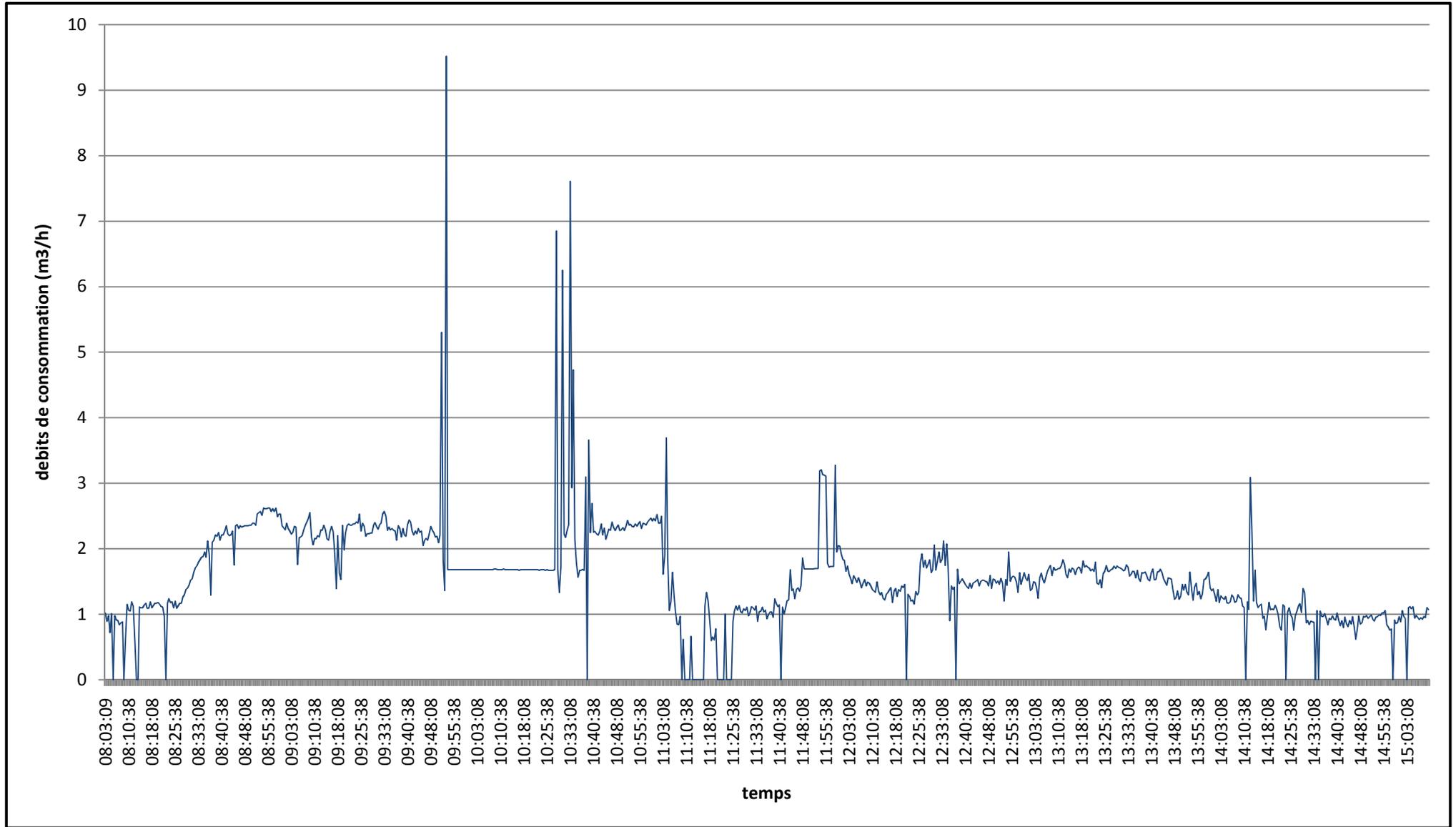
| RESULTATS DES ESSAIS | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|----------------|---------------|--------|---------|--------|------|-----------|--------------------|
| DEBIT D'ESSAI | DEBIT | RELEVE D'INDEX | | | JAUGE | | | ERREURS | |
| | L/H | Initial | Final | VM(L) | VRef(L) | VJ(L) | R(%) | ± EMT % | ERREURS CONSTATEES |
| Q1 | 30 | 67,9 | 73,3 | 5,4 | 5 | 5,01 | 0,2 | 10 | 7,8% |
| Q2 | 120 | 73,3 | 94,3 | 21 | 20 | 20,06 | 0,3 | 4 | 4,7% |
| Q3 | 1500 | 94,3 | 201,65 | 107,35 | 100 | 100,60 | 0,6 | 4 | 6,7% |
| Q4 | 3000 | 201,65 | 300,6 | 98,95 | 100 | 103,80 | 3,8 | 4 | -4,7% |

Annexe 2: débits d'essai et volume de la jauge d'étalonnage

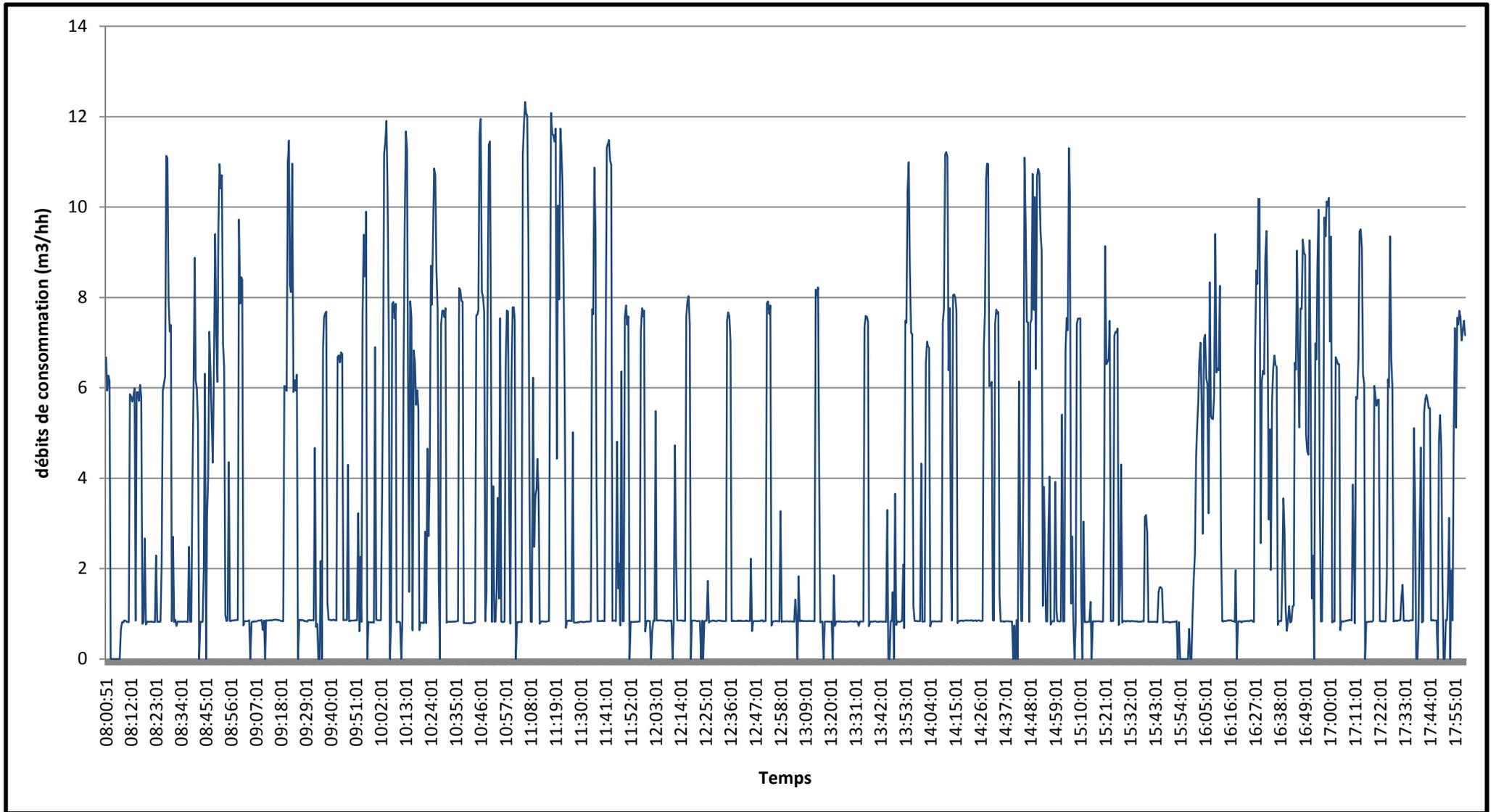
| Diamètre (mm) | Q3 (l/h) | Q1(l/h) | Jauge (L) | Q2(l/h) | Jauge (L) | Q3(l/h) | Jauge (L) | Q4(l/h) | Jauge (L) |
|---------------|----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| 15 | 1500 | 30 | 5 | 120 | 20 | 1500 | 100 | 3000 | 100 |
| 20 | 2500 | 50 | 5 | 200 | 20 | 2500 | 100 | 5000 | 100 |
| 25 | 3500 | 70 | 5 | 280 | 20 | 3500 | 100 | 7000 | 100 |
| 30 | 6000 | 120 | 5 | 480 | 20 | 6000 | 500 | 12000 | 500 |
| 40 | 10000 | 200 | 5 | 800 | 20 | 10000 | 500 | 20000 | 500 |
| 50 | 20000 | 600 | 100 | 4000 | 500 | 20000 | 500 | 40000 | 500 |
| 65 | 40000 | 1200 | 100 | 8000 | 500 | 40000 | 500 | 80000 | 500 |
| 80 | 55000 | 1650 | 100 | 11000 | 500 | 55000 | 500 | 110000 | 500 |



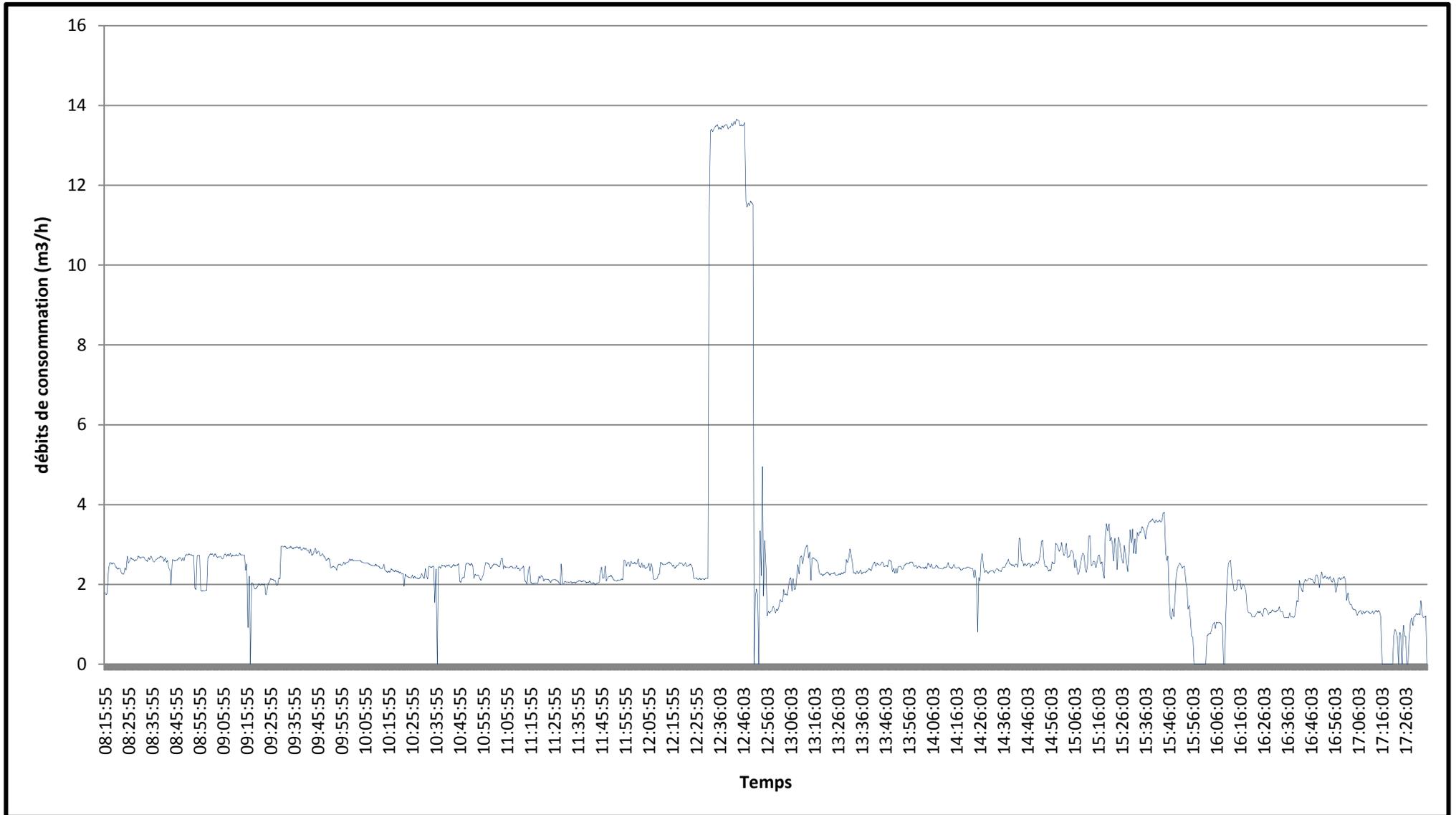
Annexe 3: variation du débit de consommation en fonction du temps d'une résidence universitaire



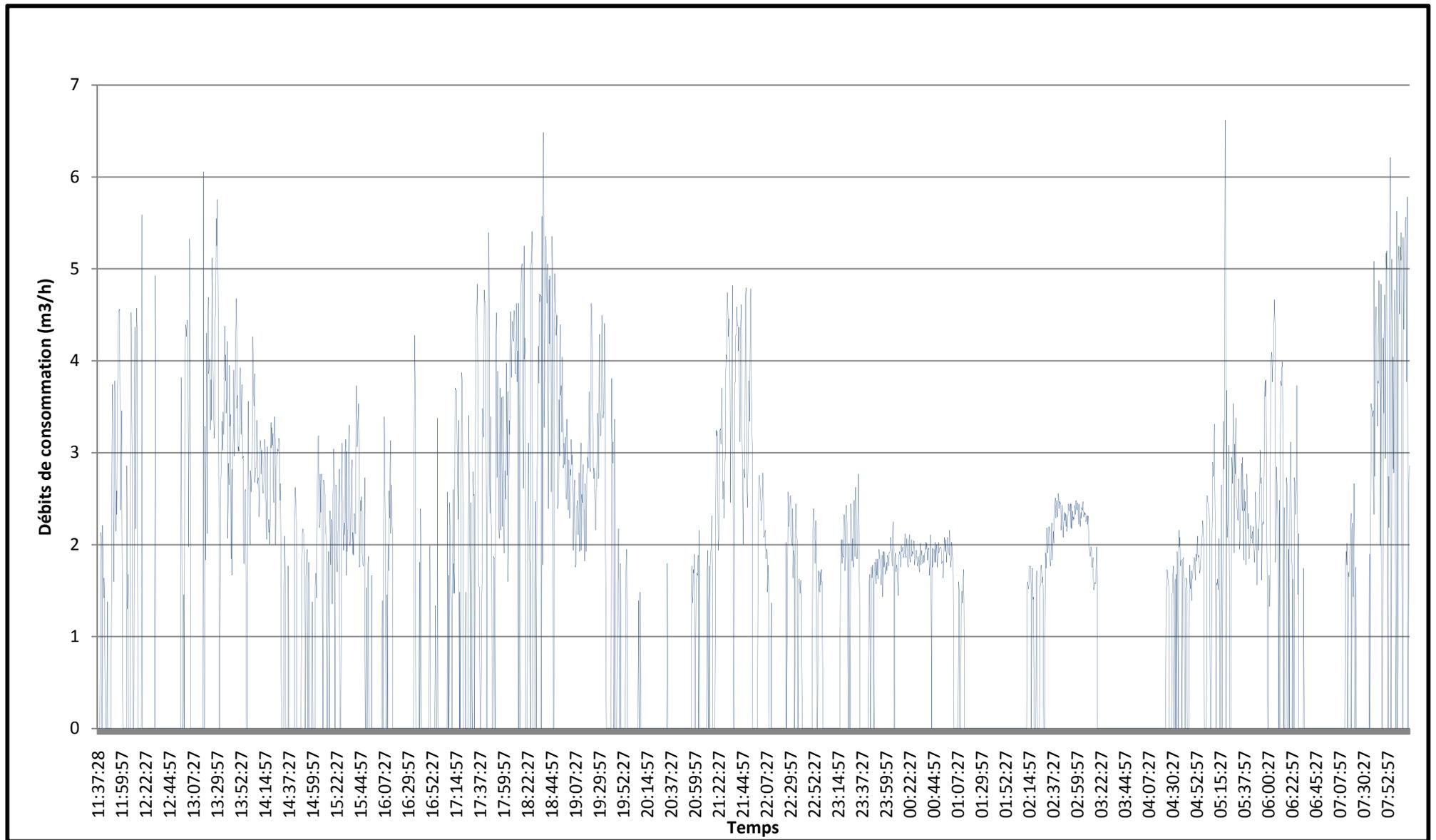
Annexe 4: variation des débits de consommation du lycée municipal



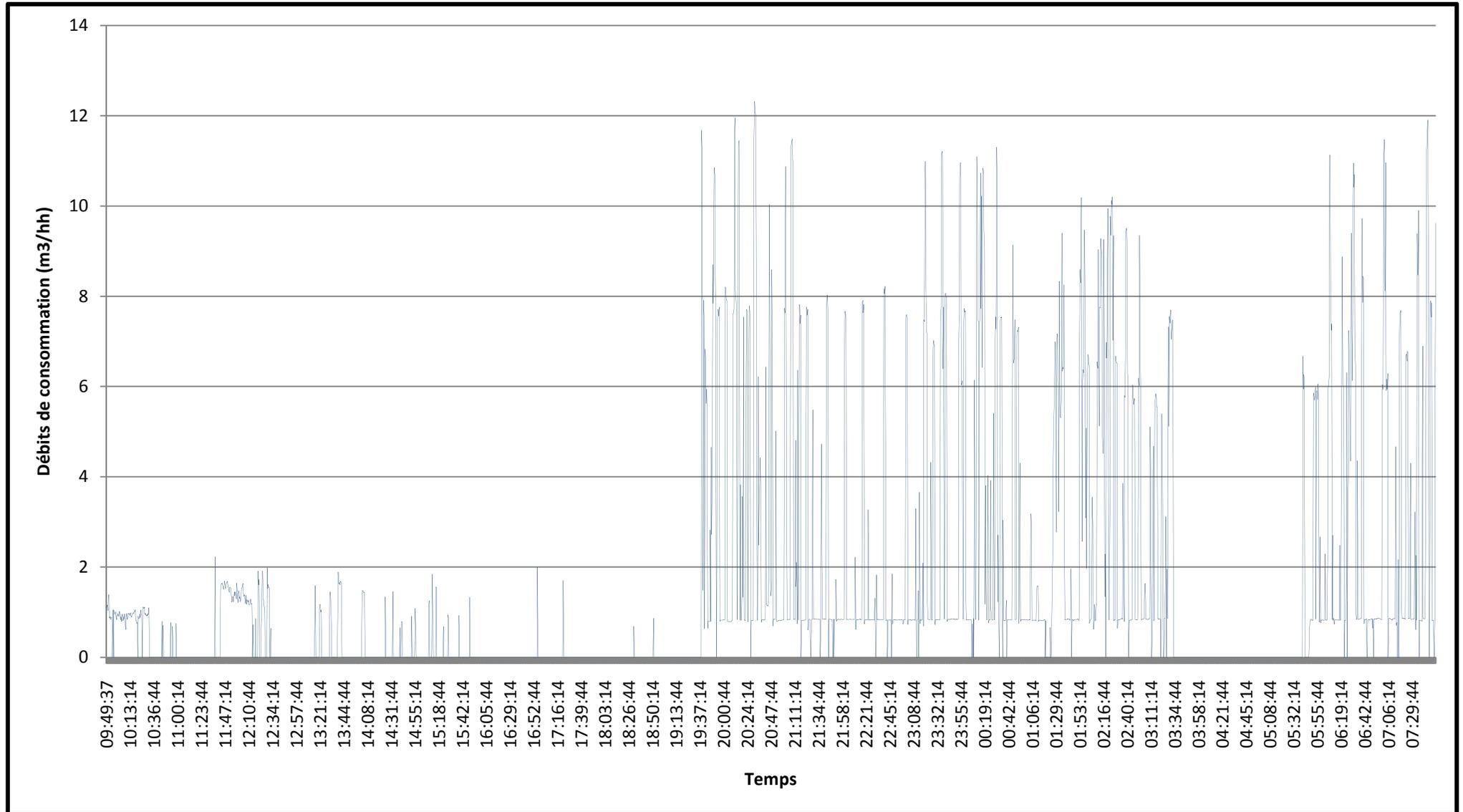
Annexe 5: variation des débits de consommation journalière d'une borne fontaine



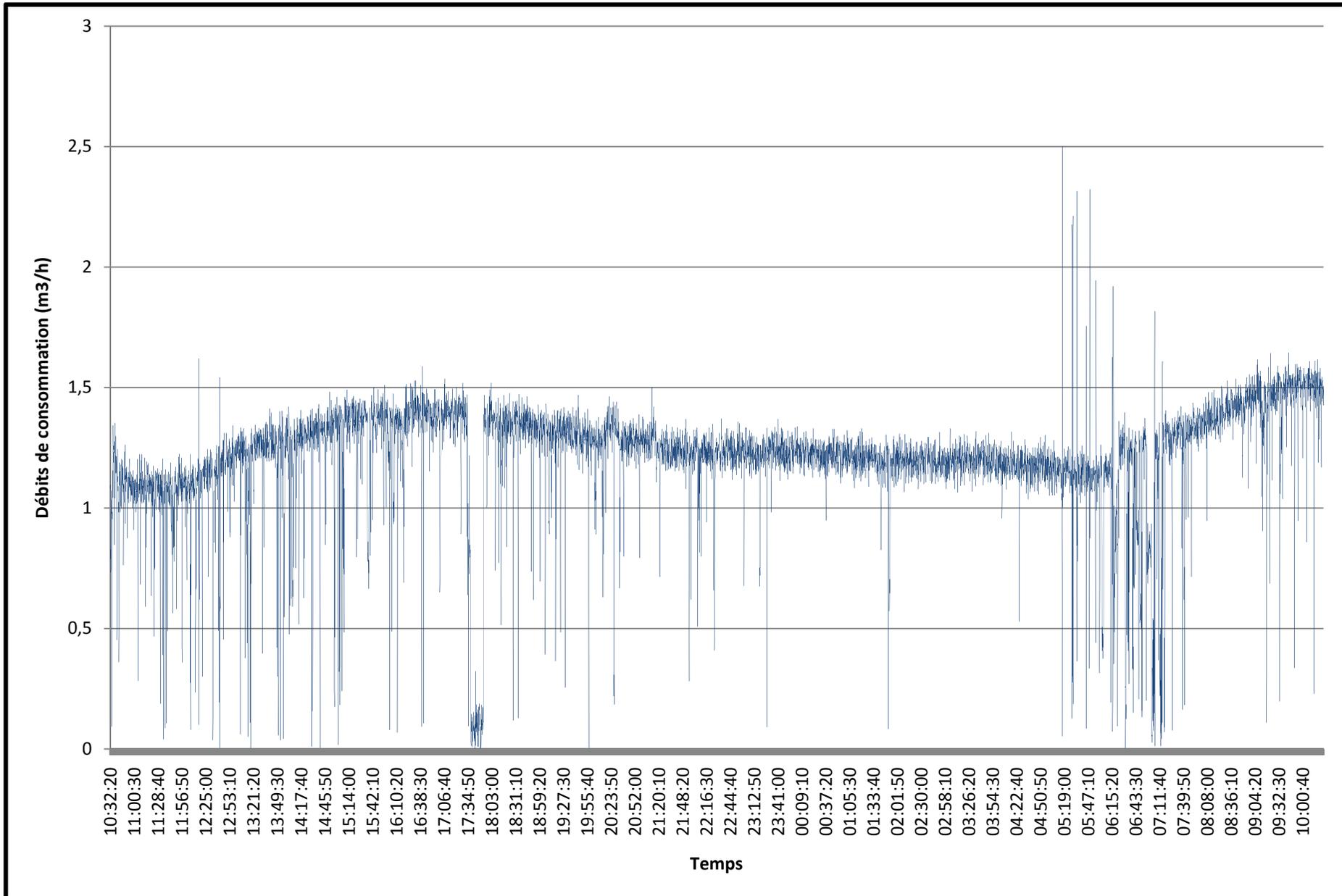
Annexe 6: variation des débits de consommation moyenne des structures administratives publiques



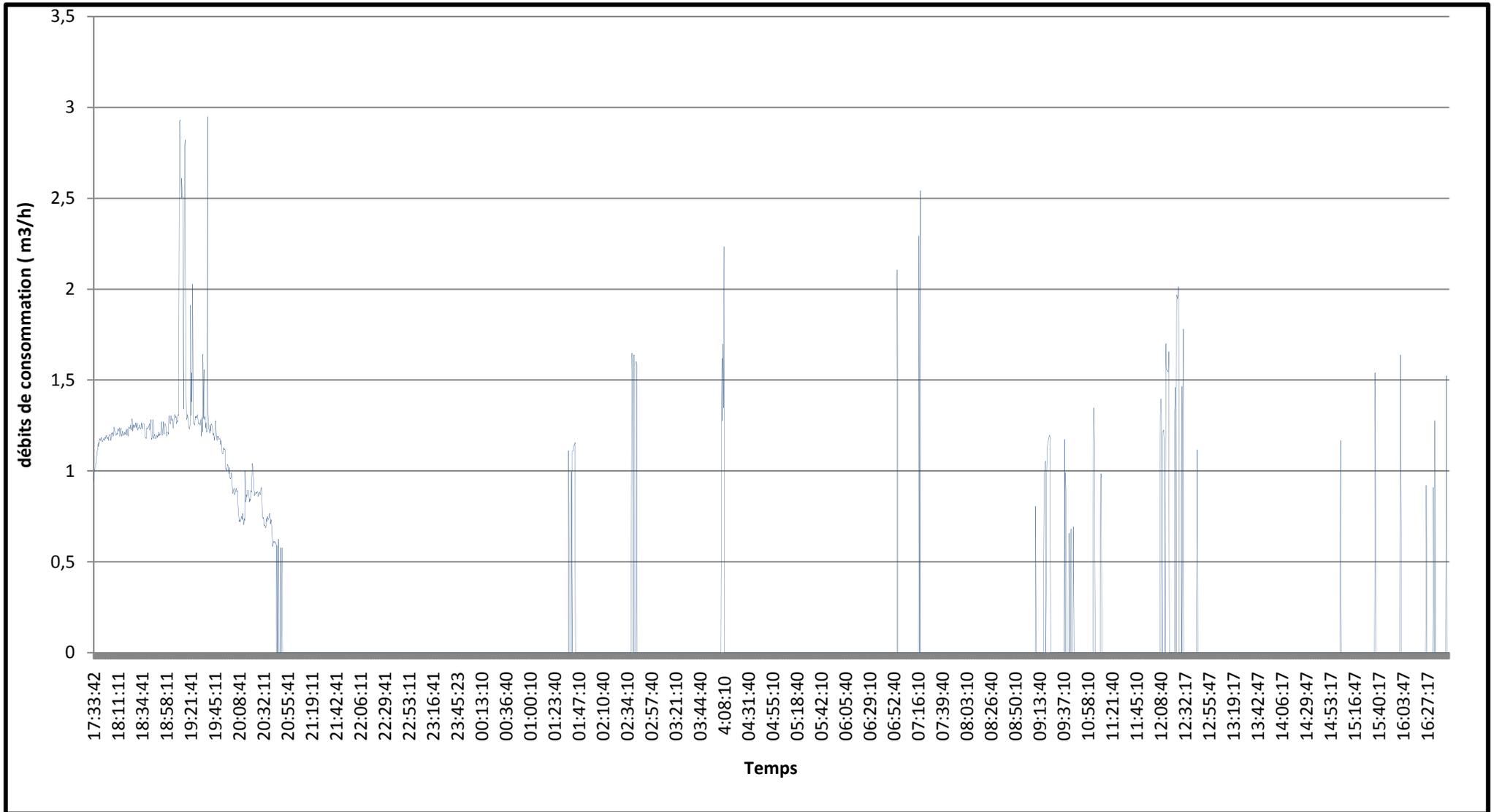
Annexe 7: variation des débits de consommation de l'INJEPS



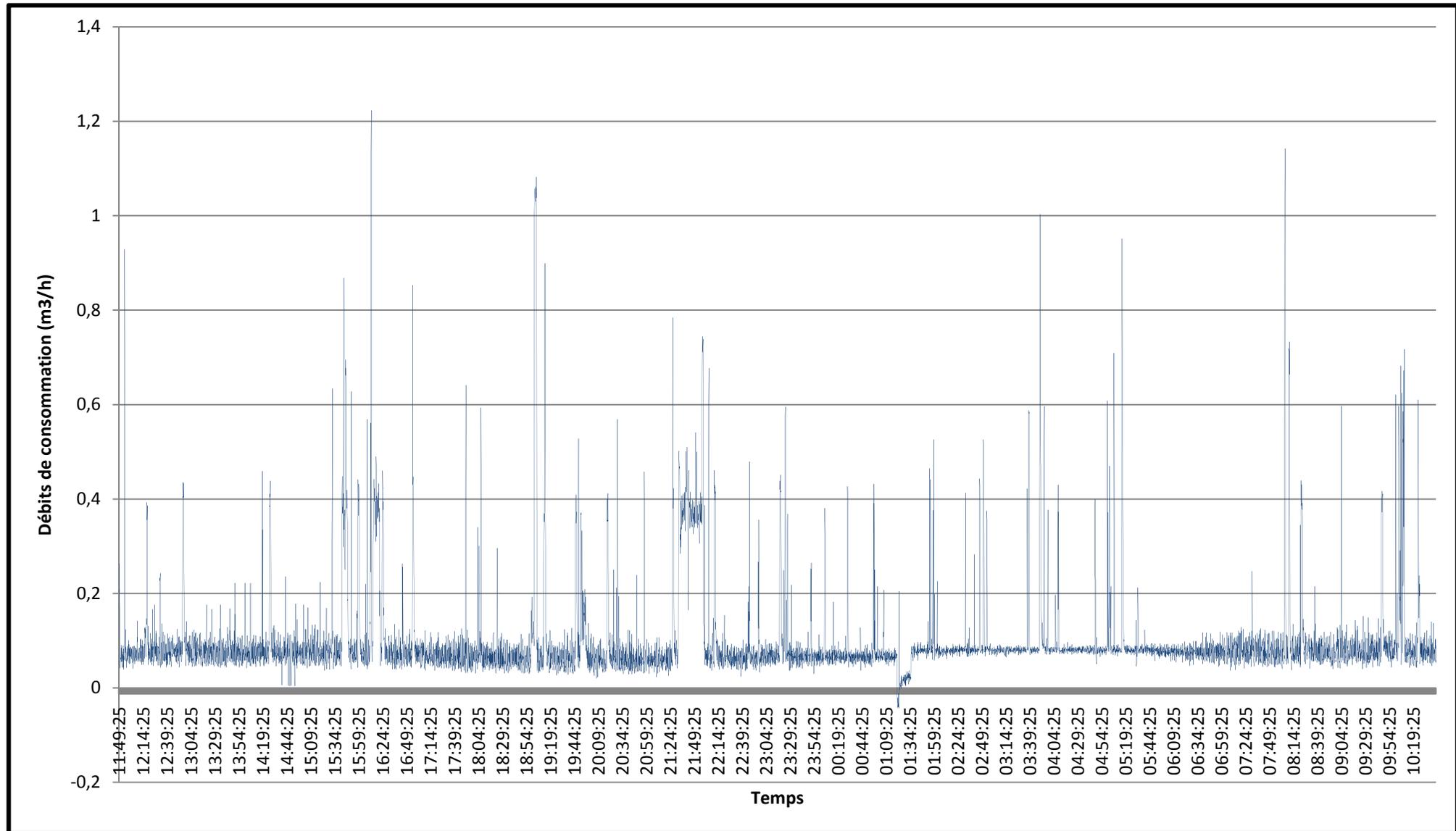
Annexe 8: variation des débits de consommation d'un hôtel



Annexe 9: variation du débit de consommation d'une mosquée

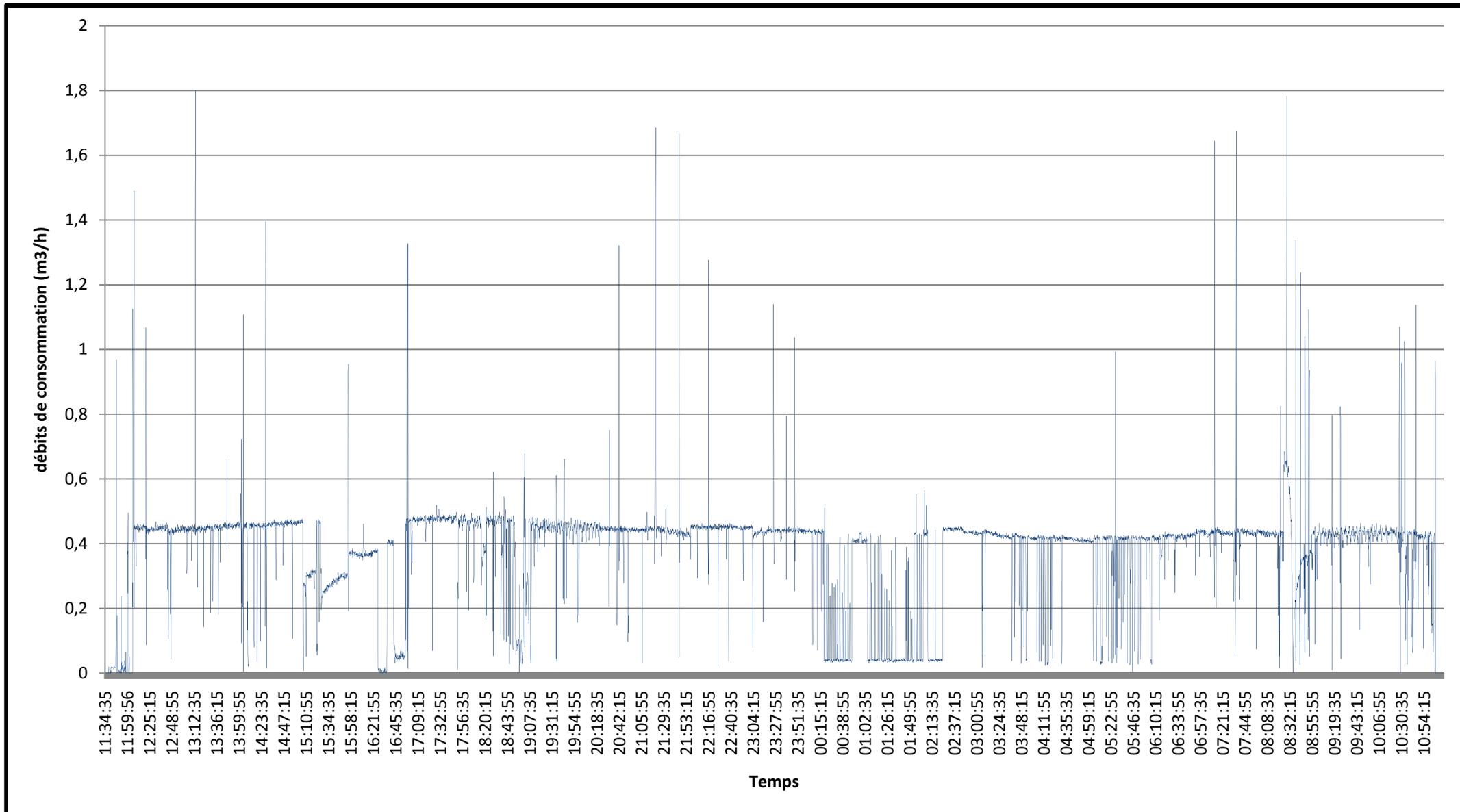


Annexe 10: variation des débits de consommation d'un ménage



Annexe11: variation des débits de consommation journalière d'une structure sanitaire

x



Annexe12: variation des débits de consommation journalière d'une boulangerie

Annexe13: liste des sites échantillonnés pour les profils de consommation

| STRUCTURES | |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| ECOLE | ECOLE CNSS |
| | LYCEE MUNICIPAL |
| | COLLEGE PRIVE COMMERCIALE DE KADIOGO |
| BOULANGERIES | BOULANGERIE WEND KONTA |
| | BOULANGERIE DE TAMPOUY |
| | BOULANGERIE HUILE TERRA |
| PHARMACIE | PHARMACIE HAMDALAYE |
| | PHARMACIE DE LA JEUNESSE |
| | PHARMACIE BARAKA |
| | PHARMACIE MARE |
| HOTEL | HOTEL LA LIBERTE |
| | HOTEL AVENIR |
| | AFRICA AUBERGE |
| | HOTEL MAZENSE |
| | HOTEL IBRA |
| ADMINISTRATION PUBLIC | DG ONEA |
| | DRNO ONEA |
| | DG D'ENTRETIEN ROUTIER |
| | DIRECTION GENERALE DES ROUTES |
| SPORT | STADE 4 AOUT |
| | INJPES |
| BORNE FONTAINE | BF0036 |
| | BF 0565 |
| | BF 0190 |
| | BF STATION DE PASPANGA |
| | BF A COTE AGENCE ONEA GOUNGHIN |
| | BF 0044 |
| MENAGE | MENAGE JEUNESSE 1101014111781 |
| | MENAGE (11010141116001) |
| | MENAGE (11010241354001) |
| | MENAGE (110102201078000) |
| | MENAGE(110102201078050) |
| | MENAGE (110102201078048) |
| | MENAGE (110102201078069) |
| | MENAGE (110102201078048) |
| SANTE | CLINIQUE LES FLAMBOYANTS |
| | MATERNITE GOUNGHIN |
| | MATERNITE POGBI |
| LIEU DE CULTE | MOSQUEE PROCHE D'ECOLE NOUREINE |
| RESIDENCE UNIVERSITAIRE | CITE CHINOISE DE GOUNGHIN |