



## Efficacité des actions de réduction des pertes des réseaux d'AEP : Rapport intermédiaire 2016

A. Vacelet, Eddy Renaud, Alain Husson, Clémence Gourlaouen, C. Rodicq

### ► To cite this version:

A. Vacelet, Eddy Renaud, Alain Husson, Clémence Gourlaouen, C. Rodicq. Efficacité des actions de réduction des pertes des réseaux d'AEP : Rapport intermédiaire 2016. [Rapport de recherche] irstea. 2016, pp.63. hal-02605781

**HAL Id: hal-02605781**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02605781>**

Submitted on 16 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **Collaboration Irstea – Veolia Environnement – VEDIF**



### **Projet :**

Efficacité des actions de réduction des pertes des réseaux d'AEP

**Rapport intermédiaire**

Décembre 2016

**Alice VACELET <sup>(1)</sup>**

**Eddy RENAUD <sup>(1)</sup>**

**Alain HUSSON <sup>(1)</sup>**

**Constant GOURLAOUEN <sup>(1)</sup>**

**Camille Rodicq <sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Groupement de Bordeaux

Unité de recherche ETBX

50, avenue de Verdun, Gazinet-Cestas

33612 Cestas cedex

## Liste des sigles, acronymes et abréviations

AEP	Alimentation en Eau Potable
Irstea	Institut de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
IWA	<i>International Water Association</i>
NRR	<i>Natural Rate of Rise</i>
SEDIF	Syndicat des Eaux d'Ile-de-France
SMAEP EDL	Syndicat Mixte d'Adduction d'Eau Potable des Eaux de Loire
SIG	Système d'Information Géographique
UARL	<i>Unavoidable Annual Real Losses</i>
UKWIR	<i>United Kingdom Water Industry Research</i>
VEDIF	Veolia Eau d'Ile-de-France

## Table des matières

Liste des sigles, acronymes et abréviations.....	2
I Introduction.....	7
II Traitements primaires des données brutes .....	11
II.1 Sectorisation .....	11
II.1.1 Contrôle de l'homogénéité et de la régularité temporelles de la chronique.....	13
II.1.2 Calcul des débits infra-horaires par différence d'index .....	13
II.1.3 Calcul des débits infra-horaires du secteur .....	13
II.1.4 Filtrage des données nulles et négatives .....	14
II.1.5 Filtrage par le bas.....	14
II.1.6 Calcul des débits horaires du secteur .....	20
II.2 Télérelève .....	23
II.2.1 Rattachement des points de livraison au secteur approprié .....	25
II.2.2 Filtrage des compteurs défectueux .....	25
II.2.3 Filtrage des données aberrantes des compteurs conservés.....	25
II.2.4 Synchronisation des heures des compteurs conservés .....	25
II.2.5 Calcul des débits horaires par différence d'index .....	26
II.2.6 Remplissage des vides des chroniques des compteurs conservés.....	26
II.2.7 Calcul d'un débit de secteur sous-estimé intermédiaire.....	26
II.2.8 Extrapolation du débit horaire de secteur final .....	26
III Exploitation des données .....	29
III.1 Méthodologie.....	29
III.1.1 Calcul des autres débits caractéristiques à partir des données de sectorisation.....	29
III.1.2 Modélisation des consommations et des pertes par la méthode « à consommation nocturne proportionnelle » .....	37
III.1.3 Estimation de l'impact des interventions sur les débits de pertes .....	45
III.2 Résultats .....	55
III.2.1 Confrontation des données de consommations issues de la télérelève et des débits de sectorisation sur quelques secteurs .....	55
III.2.2 Modélisation des consommations et des pertes par la méthode « à consommation nocturne proportionnelle » .....	56
III.2.3 Travaux supplémentaires sur les données de télérelève .....	58
III.2.4 Estimation de l'impact des interventions sur les débits de pertes .....	59
IV Bilan .....	61
IV.1 Analyse critique des méthodes et des résultats .....	61
IV.2 Programme de travail 2017 .....	61

V Bibliographie .....	63
-----------------------	----

## Table des illustrations

<i>Figure 1 : Les grandes étapes du traitement primaire des données brutes de sectorisation .....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 2 : Les étapes du pré-traitement des données brutes de sectorisation et leurs échelles respectives .....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 3 : Cassure apparente sur la distribution statistique des débits infra-horaires d'une chronique exemple (secteur 25 du SMAEP EDL) au début de l'étape 5 du processus de pré-traitement .....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 4 : Allure générale de la fonction de répartition des débits infra-horaires.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 5 : Détermination du débit de cassure de la fonction de répartition des débits infra-horaires d'une chronique exemple (secteur 25 du SMAEP EDL) au cours de l'étape 5 du processus de pré-traitement.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 6 : Détermination du débit de cassure de la fonction de répartition des débits infra-horaires d'une chronique exemple (secteur 75 du SMAEP EDL) au cours de l'étape 5 du processus de pré-traitement.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 7 : Parts éliminée et conservée des débits d'une chronique exemple (secteur 25 du SMAEP EDL) à l'issue de l'étape 5 du processus de pré-traitement (GOURLAOUEN, 2016).....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 8 : Les grandes étapes du traitement primaire des données brutes de télérelève .....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 9 : Les étapes du pré-traitement des données brutes de sectorisation et leurs échelles respectives .....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 10 : Les débits infra-horaires d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015 à l'issue du processus de pré-traitement .....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 11: Les débits horaires moyens d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015 à l'issue du processus de pré-traitement .....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 12 : Les débits journaliers moyens d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 13 : Les débits nocturnes journaliers moyens d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015 .....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 14 : Les débits journaliers de référence d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015 .....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 15 : Les débits hebdomadaires moyens d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015 .....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 16 : Les débits nocturnes hebdomadaires d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015 .....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 17 : Les différents débits annuels d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 18 : Principe de calcul du NRRt par la méthode de l'UKWIR .....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 19 : Signal de fuite de type 1 et intervention du 25/11/2011 (secteur 72, SMAEP EDL) .....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 20 : Signal de fuite de type 2 et intervention du 06/01/2011 (secteur 72, SMAEP EDL) .....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 21 : Signal de fuite de type 3 et intervention du 02/11/2011 (secteur 72, SMAEP EDL) .....</i>	<i>47</i>
<i>Figure 22 : Calcul du débit économisé par la méthode hebdomadaire sur une intervention exemple (intervention du 25/11/2011 sur le secteur 72 du SMAEP EDL).....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 23 : Calcul du débit économisé par la méthode journalière sur une intervention exemple (intervention du 06/01/2011 sur le secteur 72 du SMAEP EDL).....</i>	<i>49</i>
<i>Figure 24 : Classification des couples fuites et interventions.....</i>	<i>52</i>
<i>Figure 25 : Les différents volumes perdus calculés par type de fuite représentés sur une chronique reconstituée à partir de débits de pertes modélisés sur un secteur réel (secteur 72, SMAEP EDL) .....</i>	<i>54</i>
<i>Figure 26 : Débits de sectorisation et consommations télérelevées d'avril à Juin 2015 (Veliz206, SEDIF) (GOURLAOUEN, 2016) .....</i>	<i>55</i>
<i>Figure 27 : Débits de sectorisation et consommations télérelevées de février à Juin 2015 (Vilju150, SEDIF) (GOURLAOUEN, 2016).....</i>	<i>56</i>
<i>Figure 28 : Répartition des volumes consommés par catégorie d'abonnés en 2014 (Vilju150, SEDIF) (GOURLAOUEN, 2016) .....</i>	<i>58</i>
<i>Figure 29 : Régression linéaire entre le taux d'interventions sans effet et le linéaire du secteur lancée sur six secteurs du SMAEP EDL (GOURLAOUEN, 2016) .....</i>	<i>60</i>

## Table des tableaux

<i>Tableau 1 : Résultats du calage conjoint de <math>\alpha 0</math> et du NNRT sur un secteur exemple (Auvers100 du SEDIF, période T du 27/03 au 08/07/2015) (GOURLAOUEN, 2016).....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau 2 : les cinq classes d'abonnés envisagées pour la description des consommations du secteur .....</i>	<i>59</i>

# I Introduction

## Objectifs

L'objet principal de la collaboration Irstea-Veolia Environnement-VEDIF est d'étudier l'efficacité des actions de réduction des pertes sur les réseaux d'eau potable.

Les axes de recherche choisis sont les suivants :

1. **Etudier l'impact du renouvellement des canalisations sur les pertes** (axe Renouvellement) ;
2. **Affiner les connaissances sur le lien entre la pression de service et le débit de fuite** (axe Pression) ;
3. **Evaluer les apports de la sectorisation dans la lutte contre les pertes** (axe Sectorisation).

## Moyens

Deux terrains d'études ont été sélectionnés pour fournir les données nécessaires à la réussite du projet. Il s'agit du réseau du **Syndicat des Eaux d'Île de France (SEDIF)** et du réseau du **Syndicat Mixte d'Adduction d'Eau Potable des Eaux de Loire (SMAEP EDL)**, qui représentent respectivement 40 et 162 secteurs.

Pour les secteurs du réseau du **SEDIF**, VEDIF a partagé :

- **les couches SIG de tous les tronçons**, portant les informations de matériaux, de diamètres, de dates ou de périodes de pose et de linéaires ;
- **les données de sectorisation** sous la forme de **relevés d'index** au pas de temps 2 minutes 30 ou 5 minutes au niveau de chaque compteur d'entrée ou de sortie d'un secteur et **les équations bilan** les reliant;
- **Les données de consommation annuelles de chacun des secteurs;**
- **les données de télérelève** (relevés horaires des compteurs des usagers) **sur un nombre limité de secteurs** ;
- **les données de consommation journalières** calculées par Veolia à partir des données de télérelève **sur un nombre limité de secteurs** ;
- **les historiques des interventions** spécifiant les tronçons concernés et les déclencheurs de l'action (signalement, détection ou autre).

Pour les secteurs du réseau du **SMAEP EDL**, Veolia Environnement a partagé :

- **les couches SIG de tous les tronçons**, portant les informations de matériaux, de diamètres, de dates ou de périodes de pose et de linéaires ;
- **les données de sectorisation** sous la forme de **relevés de débits** au pas de temps 15 minutes au niveau de chaque compteur d'entrée ou de sortie d'un secteur et **les équations bilan** les reliant;
- **Les données de consommation annuelles de chacun des secteurs;**
- **les historiques des interventions** spécifiant les tronçons concernés et les déclencheurs de l'action (signalement, détection ou autre).



L'ensemble des débits manipulés et calculés sont exprimés en m<sup>3</sup>/h. Les débits de pertes sont considérés ici égaux aux débits de fuites (pas de prise en compte des volumes utilisés non-comptabilisés).

### Rappel des échéances

Le contrat signé en novembre 2014 entre les différentes parties concernées prévoit une durée de collaboration de 3 ans (2015-2017). Il stipule la communication annuelle de différents rendus par Irstea :

- **Un rapport bibliographique** faisant un état de l'art de la thématique à la fin de l'année 2015
- **Un rapport intermédiaire** traduisant l'avancée du projet à la fin de l'année 2016
- **Un rapport final** à la fin de l'année 2017

### Travaux déjà menés (2015-2016)

L'année 2015 a permis de faire un **état de l'art de la thématique**, consistant en une lecture exhaustive et une analyse de tous les articles et documents se rapportant à la lutte contre les pertes sur les réseaux d'eau potable.

L'année 2016 a concentré les travaux de **construction de protocoles de traitement primaire des données de sectorisation et de télérelève** fournies par les exploitants. Elle a également permis de **lancer les premiers travaux sur la mesure des pertes à l'échelle du secteur et l'impact des interventions réalisées sur les débits de pertes en fonction de la nature des fuites et des caractéristiques du tronçon**. Une analyse poussée des débits de nuit de quelques secteurs, sélectionnés en première approche parmi les données d'étude, a conduit à **l'élaboration puis à la critique de plusieurs méthodes de modélisation de la part des consommations nocturnes dans le débit total** (les volumes de pertes étant déduit directement de cette valeur par soustraction à partir du débit de nuit total).

### Plan du rapport

Le présent rapport décrit, dans une **première partie, les traitements primaires** effectués sur les deux grands types de **données brutes** communiquées par Veolia et VEDIF sur les secteurs d'étude, il s'agit des :

- données issues de la sectorisation ;
- données issues de la télérelève

Ces pré-traitements ont pour objectifs de fournir des chroniques de sectorisation et des consommations pertinentes sur la plus grande période possible.

La **deuxième partie** du document traite de **l'exploitation des données** fiabilisées par ces traitements préliminaires. Elle présente différentes approches de modélisation des consommations nocturnes et d'évaluation du débit de pertes et décrit la méthodologie d'estimation des impacts des interventions sur les volumes perdus.

**Les principaux résultats provisoires** obtenus à l'issue de cette première phase du projet sont abordés dans **une troisième partie**.

Enfin, la **quatrième partie** propose un **rapide bilan** orienté vers quelques-uns des **enjeux actuels du projet** et expose les **grandes orientations envisagées pour la poursuite du programme en 2017**.



## II Traitements primaires des données brutes

### II.1 Sectorisation

Rappelons que les données de sectorisation brutes correspondent, selon le secteur considéré, à :

- des relevés d'index au pas de temps infra-horaire de 2 minutes 30 ou 5 minutes sur chaque compteur d'entrée et de sortie du secteur (données VEDIF);
- des débits infra-horaires au pas de temps 15 minutes sur chaque compteur d'entrée et de sortie du secteur (données Veolia Environnement).

Notons,

- $t$  le pas de temps infra-journalier initial des données brutes;
- $q_{jt}$  le débit infra-horaire du compteur  $C_k$  au pas de temps  $t$  du jour  $j$ ;
- $\lambda_{jt}$  la fonction relative à la condition de calcul du débit infra-horaire du secteur;
- $n$  le nombre de compteurs d'entrée ou de sortie de l'équation bilan;
- $Q_{jt}$  le débit infra-horaire du secteur au pas de temps  $t$  du jour  $j$ ;
- $Q_{\min_{\text{extrême}}}$  le débit seuil du filtre bas;
- $Q$  la variable aléatoire associée aux débits infra-horaires du secteur;
- $F_n$  la fonction de répartition liée à la variable aléatoire  $Q$ ;
- $Q_{\text{cas1}}$  le premier débit de cassure calculé de la fonction de répartition des débits infra-horaires du secteur lors du « filtrage par le bas »;
- $Q_{\text{cas2}}$  le deuxième débit de cassure calculé de la fonction de répartition des débits infra-horaires du secteur lors du « filtrage par le bas »;
- $Q_{\text{moyP}}$  le débit infra-horaire moyen du secteur calculé sur toute la période de données retenue ;
- $f_n$  le gradient discret de la fonction de répartition des débits infra-horaires du secteur;
- $m$  le nombre de pas de temps infra-horaires  $t$  dans une heure;
- $\lambda_{jh}$  la fonction relative à la condition de calcul du débit horaire du secteur;
- $Q_{jh}$  le débit horaire du jour  $j$  du secteur.

Les grandes étapes du processus de traitement préalable des données de sectorisation sont présentées sur la Figure 1 et respectent les préconisations du guide de l'ONEMA d'Avril 2012 (*Renaud, 2012*).

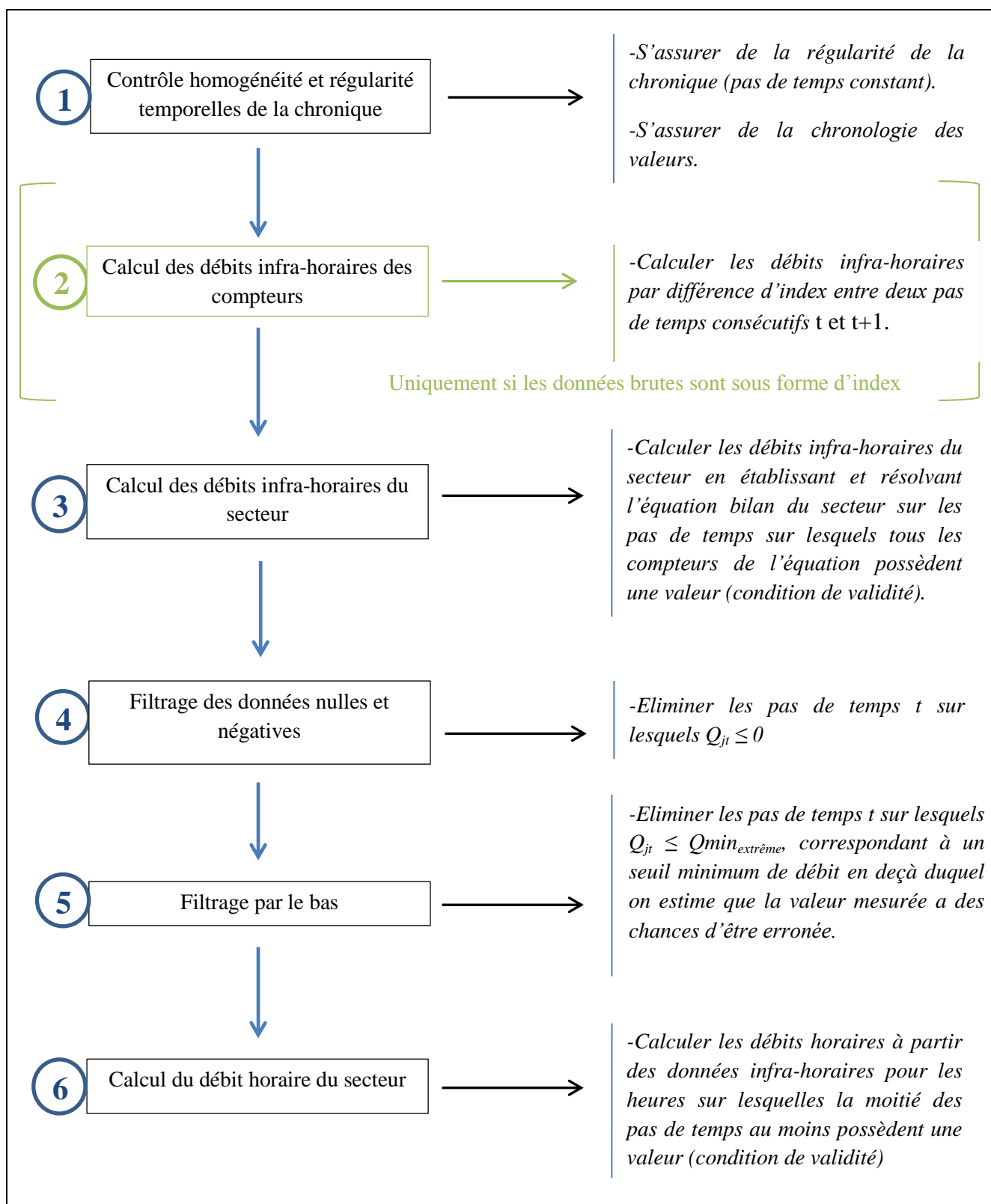


Figure 1 : Les grandes étapes du traitement primaire des données brutes de sectorisation

La Figure 2 replace chacune des étapes du pré-traitement des données brutes à l'échelle de la sectorisation concernée :

- celle du compteur Ck d'entrée ou de sortie du secteur étudié ;
- celle du secteur étudié.

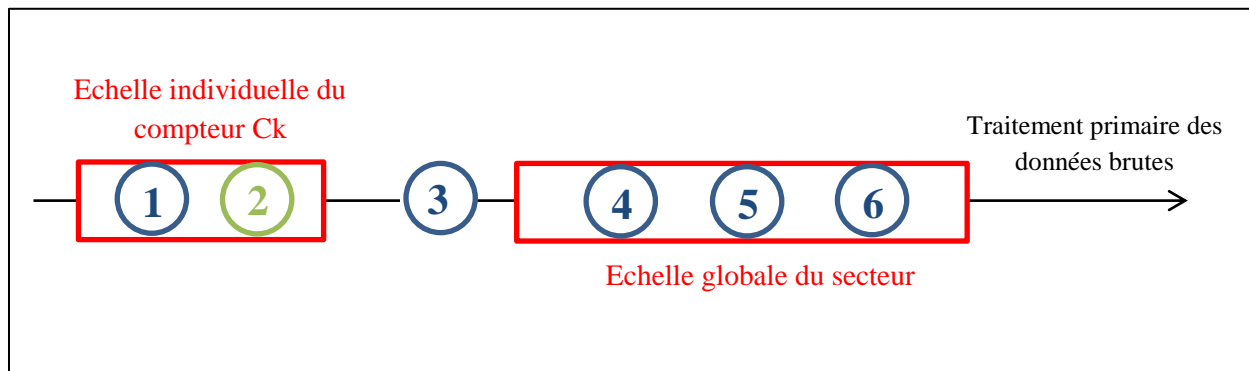


Figure 2 : Les étapes du pré-traitement des données brutes de sectorisation et leurs échelles respectives

### II.1.1 Contrôle de l'homogénéité et de la régularité temporelles de la chronique

La première étape consiste en la **vérification de la régularité des pas de temps et de la cohérence chronologique de la série de données brutes**. Il s'agit ici de vérifier que la durée des pas de temps est constante toute au long de la chronique et que tous les pas de temps se suivent. Les périodes de données ne satisfaisant pas ces critères sont éliminées et la période de calcul restreinte.

### II.1.2 Calcul des débits infra-horaires par différence d'index

C'est étape n'a lieu **que pour le traitement des données reçues sous forme d'index** (cas des données fournies par VEDIF). Les débits infra-horaires au compteur Ck considéré sont calculés par différence d'index entre les pas de temps consécutifs t et t+1.

### II.1.3 Calcul des débits infra-horaires du secteur

Les deux premières étapes étaient propres à chaque compteur Ck, cette troisième étape **permet de passer à l'échelle du secteur**. Elle s'appuie sur les **équations de secteur** fournies par Veolia. L'équation bilan du secteur est résolue avec les chroniques de débits infra-horaires des compteurs d'entrée et de sortie. **Pour que le débit infra-horaire du secteur soit calculé à un pas de temps t donné, on doit disposer des données de tous les compteurs de l'équation sur ce pas de temps.**

En termes mathématiques,

Soit n le nombre de compteurs présents dans l'équation bilan du secteur étudié, la condition de calcul du débit infra-horaire du secteur au pas de temps t du jour j s'écrit :

$$\sum_{k=1}^n \lambda_{jt}(k) = n$$

$\lambda_{jt}$  vaut 1 si la donnée du comptage k est présente au pas de temps infra-horaire t du jour j et 0 sinon.

Lorsque la somme des  $\lambda_{jt}$  vaut  $n$ , alors tous les compteurs présentent une valeur au pas de temps  $t$  du jour  $j$ , et le débit infra-horaire du secteur peut alors être calculé par l'expression suivant :

$$Q_{jt} = \sum_{k=1}^n q_{jt}(C_k) \times \lambda_{jt}(k)$$

Où  $q_{jt}$  est le débit infra-horaire d'un compteur au pas de temps  $t$  du jour  $j$ .

#### II.1.4 Filtrage des données nulles et négatives

Un **premier filtrage-élimination des données positives ou nulles** est ensuite effectué sur les données de débits infra-horaires du secteur. Les pas de temps  $t$  pour lesquels  $q_{jt}$  est inférieur ou égal à 0 sont supprimés de la série retenue.

#### II.1.5 Filtrage par le bas

Enfin, après le nettoyage-filtrage macroscopique des données brutes des chroniques individuelles des compteurs et de la série des débits infra-horaires du secteur global des étapes 1 à 4, un dernier filtre est appliqué pour s'affranchir des données de débit considérées comme « probablement erronées », c'est-à-dire celles paraissant fortement suspectes au vu des autres valeurs de la série. Il s'agit uniquement d'un **filtrage statistique, dit « filtrage par le bas »**, car il **ne concerne qu'une part des débits minimum extrêmes situés en deçà d'un certain seuil de débit  $Q_{\min_{\text{extrême}}}$** . La valeur de ce seuil est déterminée comme suit.

Le tracé de la distribution statistique des débits infra-horaires du secteur met en évidence **une zone de cassure**, comme le montre la Figure 3. La cassure est plus ou moins visible selon la série considérée.

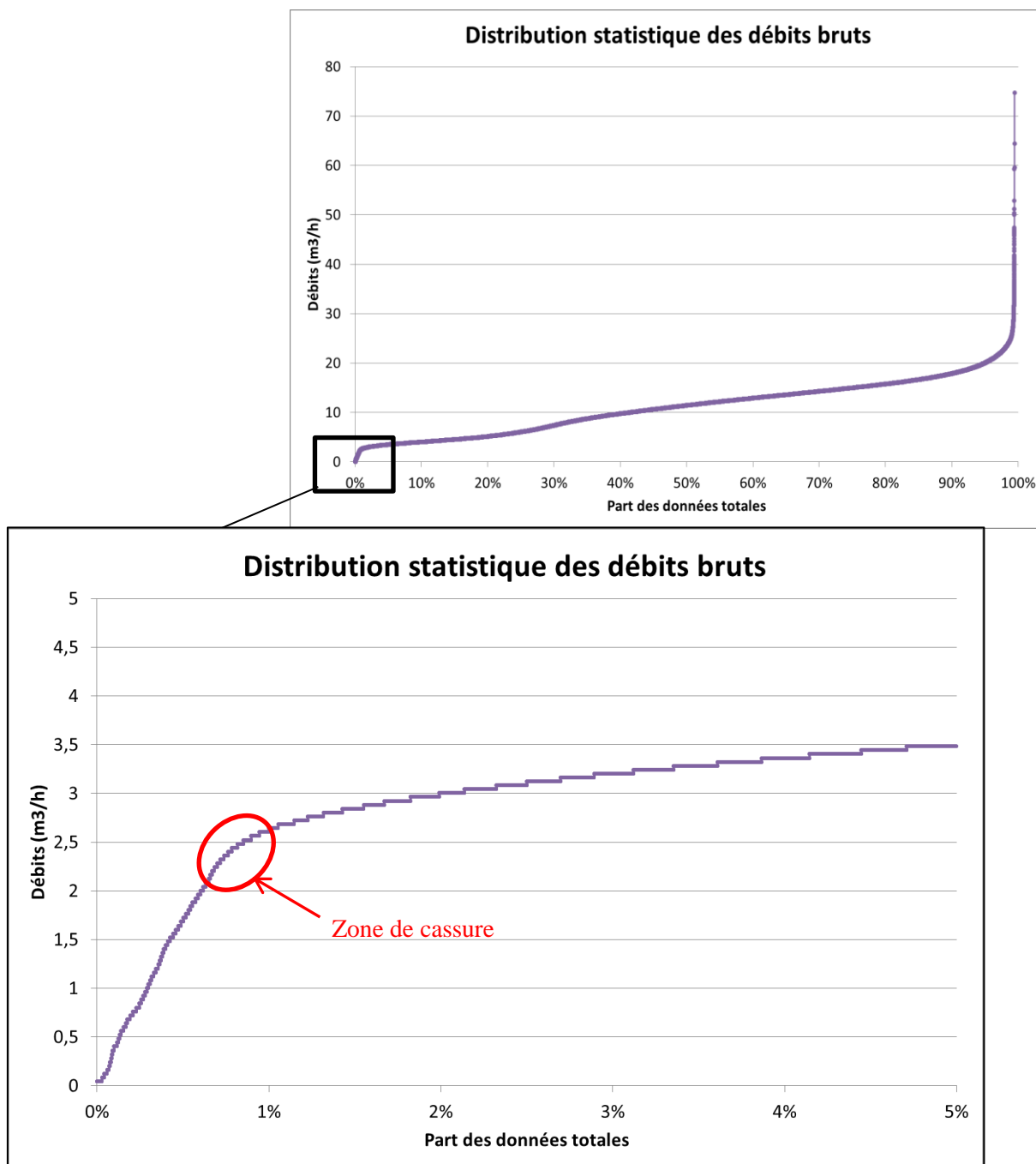


Figure 3 : Cassure apparente sur la distribution statistique des débits infra-horaires d'une chronique exemple (secteur 25 du SMAEP EDL) au début de l'étape 5 du processus de pré-traitement

Pour **déterminer d'une manière plus précise et objective la valeur du débit de cassure**, une méthode statistique reposant sur le tracé de la **fonction de répartition des débits** et plus précisément sur celui du **gradient discret** de cette fonction de répartition, a été mise en place.

Il s'agit tout d'abord de tracer la fonction de répartition des débits infra-horaires.  
Soit  $Q$  la variable aléatoire discrète à valeur dans  $\mathbb{R}^+$  égale au débit infra-horaire mesuré;  
soit  $n$  le nombre de données mesurées;



soit  $i \in [1, n]$  le rang de la distribution statistique des données mesurées;

La fonction de répartition  $F_n$  de  $Q$  s'écrit :

$$\left[ \begin{array}{l} F_n : R \rightarrow [0,1] \\ Q_{(i)} \mapsto \mathbb{P}(Q \leq Q_{(i)}) \\ \Leftrightarrow \frac{i}{n} \end{array} \right.$$

Elle n'est pas continue et n'est pas dérivable sur son ensemble de définition. L'allure de la fonction de répartition  $F_n$  est visible sur la figure 4.

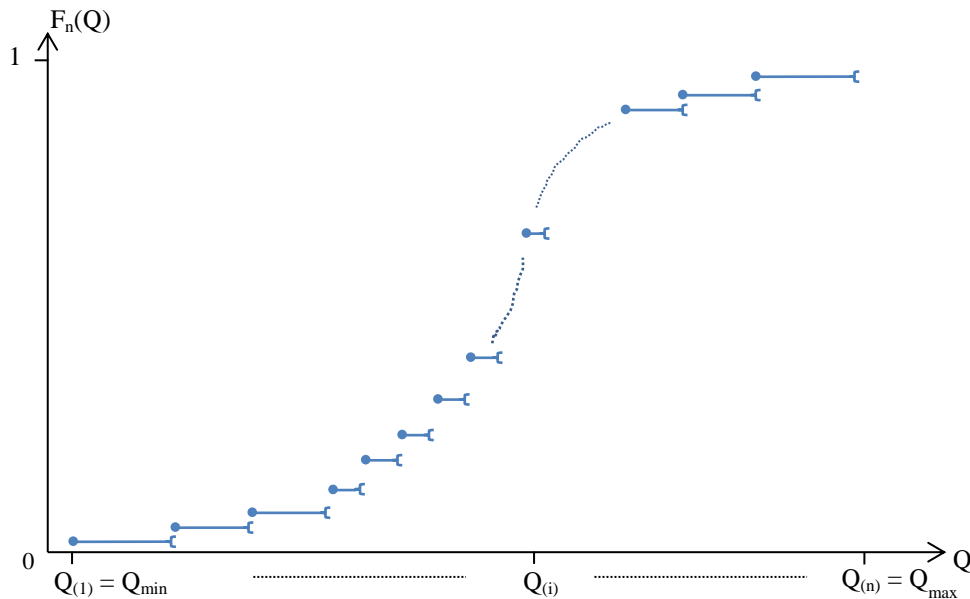


Figure 4 : Allure générale de la fonction de répartition des débits infra-horaires

On calcule alors  $f_n$ , le **gradient discret de  $F_n$** , c'est-à-dire une **estimation locale de la dérivée de la fonction de répartition** qui n'est pas dérivable.  $\forall i \neq 1$ , son expression est la suivante :

$$f_n(Q_{(i)}) = \frac{\Delta F_n(Q_{(i)})}{\Delta Q_{(i)}} = \frac{1}{n(Q_{(i)} - Q_{(i-1)})}$$

Le calcul de cette « pseudo-dérivée » de la fonction de répartition des débits a pour but d'identifier de la manière la plus précise possible le point de cassure de la courbe de répartition, ie le point à partir duquel la « **pente** » de la courbe de répartition augmente **significativement**. Pour cela, une **valeur seuil de gradient** a été **fixée empiriquement à 0,1**. On peut ainsi calculer un premier débit  $Q_{cas1}$  correspondant au plus petit débit  $Q_{(i)}$ , tel que :

$$\begin{aligned} (1) \quad & f_n(Q_{(i)}) \geq 0,1 \\ \Leftrightarrow & \frac{1}{n(Q_{(i)} - Q_{(i-1)})} \geq 0,1 \end{aligned}$$

Il arrive cependant que l'on observe, dans certains cas, des pics de gradient parasites pour des débits faibles, vraisemblablement dus à des erreurs de mesures. Ces pics, qui peuvent parfois dépasser le

seuil de 0,1, ne sont pas pour autant pertinents pour localiser la cassure des débits. C'est pourquoi **une deuxième condition vient s'ajouter dans le calcul du débit de cassure** :

- (2) La première valeur de  $Q_{cas1}$  n'est conservée que si et seulement si elle est supérieure au seuil empirique de 10% du débit moyen de la période considérée  $Q_{moyP}$ .

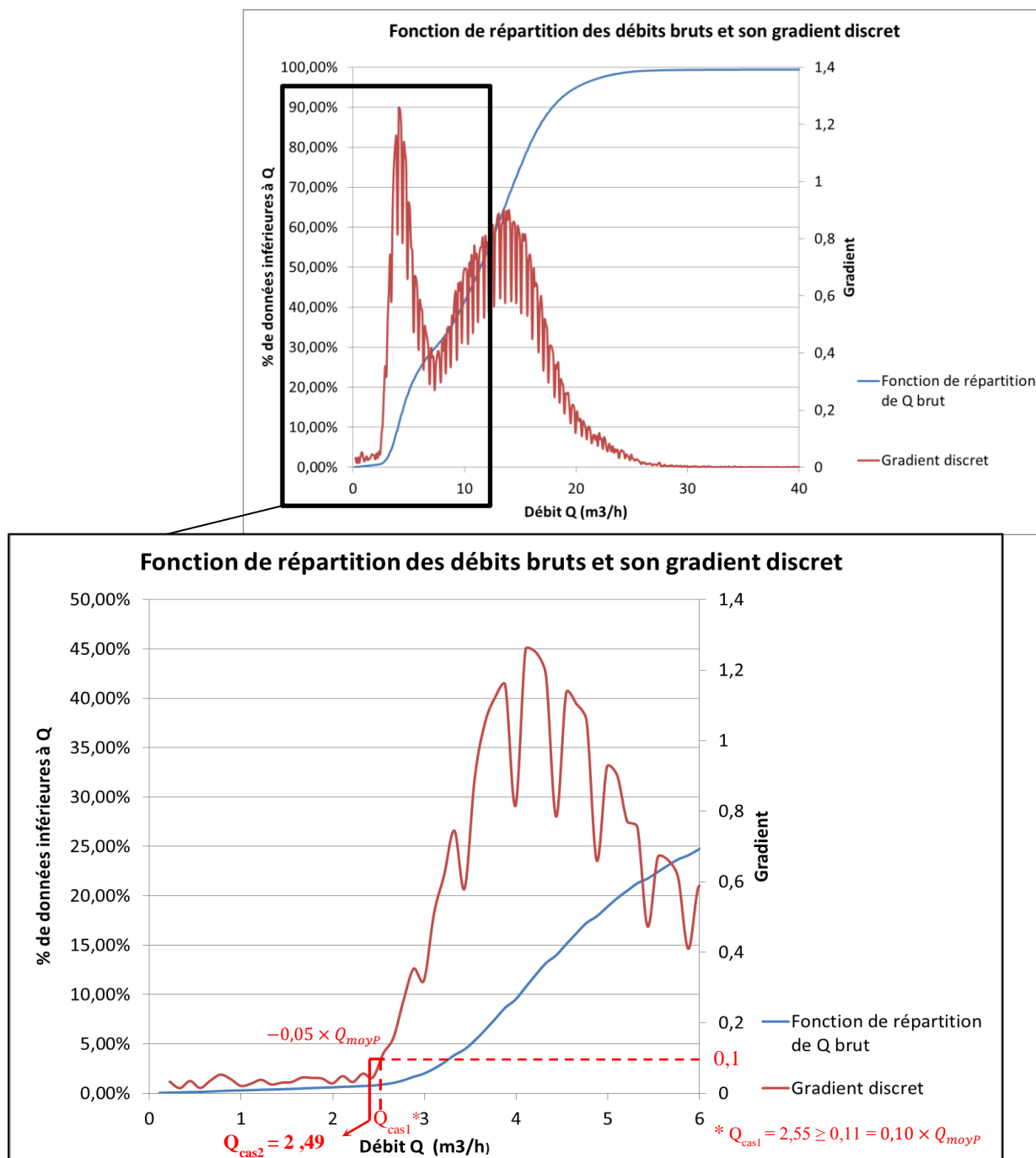
**$Q_{cas1}$  prend donc la valeur du plus petit débit  $Q_i$  respectant simultanément les conditions (1) et (2).**

Une **marge d'erreur** est enfin appliquée sur  $Q_{cas1}$  pour **éviter de filtrer trop haut** et **d'écarter des petits débits** dont l'existence est réelle malgré leur faible occurrence. Ainsi, **on calcule  $Q_{cas2}$**  :

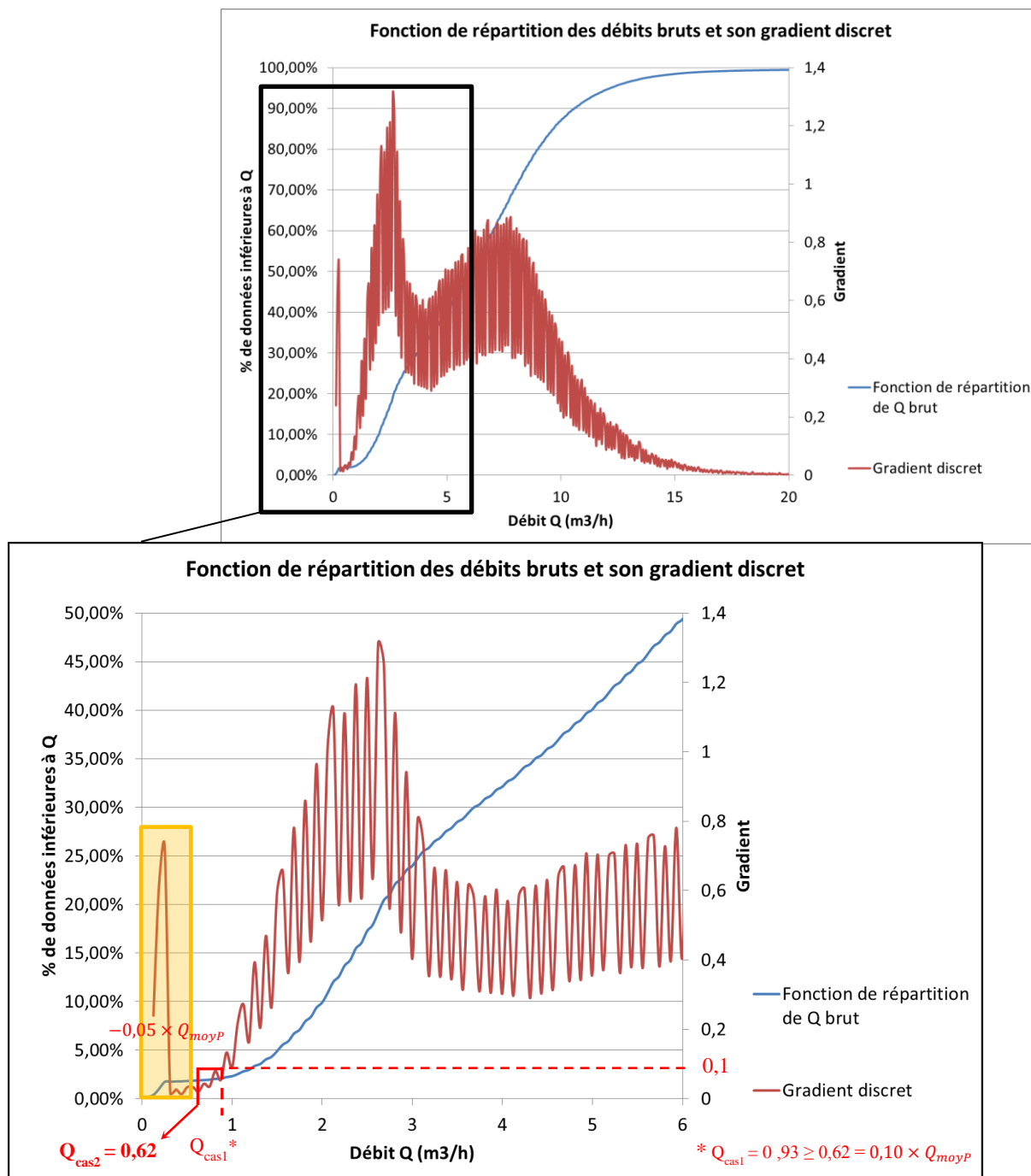
$$(3) Q_{cas2} = Q_{cas1} - 0,5 \times Q_{moyP}$$

**La valeur de la marge est fixée à 5% du débit moyen de manière empirique.**

Les différentes étapes de calcul précédemment décrites sont matérialisées sur la Figure 5 dans le cas d'une chronique exemple. La Figure 6 illustre le cas d'un autre secteur dans lequel on observe un important pic de gradient parasite dans la tranche des débits faibles.



**Figure 5 : Détermination du débit de cassure de la fonction de répartition des débits infra-horaires d'une chronique exemple (secteur 25 du SMAEP EDL) au cours de l'étape 5 du processus de pré-traitement**



**Figure 6 : Détermination du débit de cassure de la fonction de répartition des débits infra-horaires d'une chronique exemple (secteur 75 du SMAEP EDL) au cours de l'étape 5 du processus de pré-traitement**

Le débit seuil  $Q_{min_{extrême}}$  de « filtrage par le bas » appliqué à la chronique de débits infra-horaires du secteur correspond au débit  $Q_{cas2}$  précédent.

$$Q_{min_{extrême}} = Q_{cas2}$$

La Figure 7 représente la part conservée pour l'exploitation et la part écartée des données sur une chronique exemple.

Notons que les **divers coefficients et seuils employés ici** :

- gradient discret seuil de 0,1 de la condition (1);
- seuil minimal de  $Q_{casI}$  de 10% de  $Q_{moyP}$  de la condition (2);
- coefficient d'abaissement de  $Q_{casI}$  de 5% de  $Q_{moyP}$  de la condition (3)

sont des grandeurs déterminées empiriquement via les résultats d'analyses de quelques secteurs d'étude.

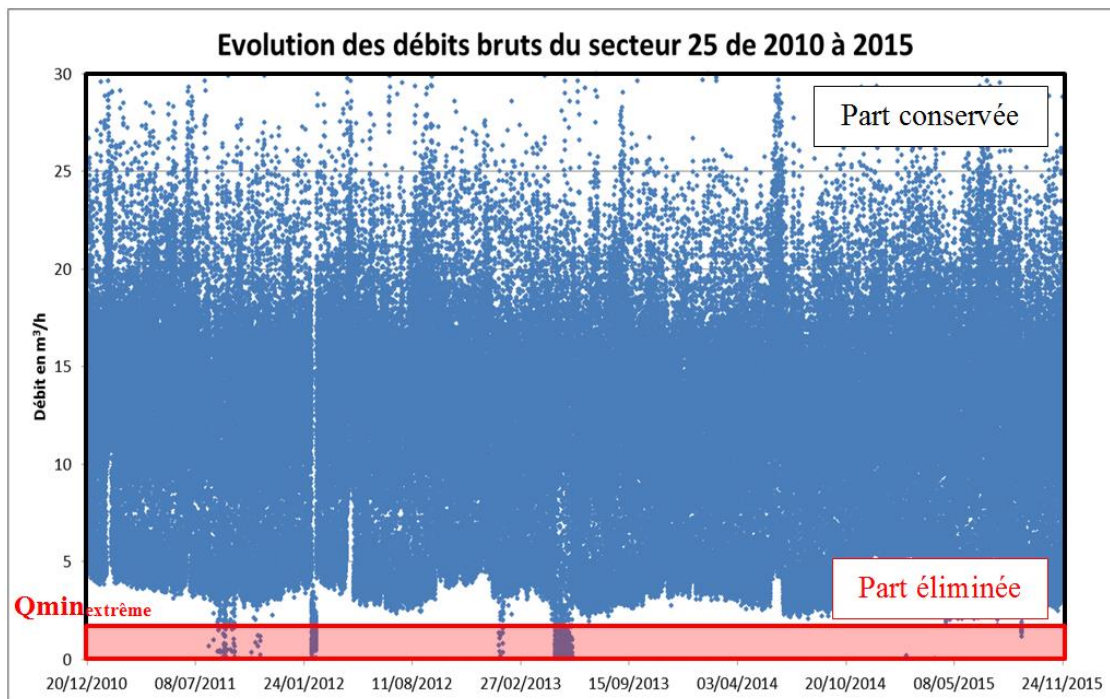


Figure 7 : Parts éliminée et conservée des débits d'une chronique exemple (secteur 25 du SMAEP EDL) à l'issue de l'étape 5 du processus de pré-traitement (GOURLAOUEN, 2016)

Après ces 4 étapes, la chronique de débits infra-horaires du secteur est prête pour le calcul du débit horaire.

### II.1.6 Calcul des débits horaires du secteur

Comme pour le calcul des débits infra-horaires du secteur, une fonction de validité est introduite. Elle porte cette fois sur le nombre minimum de données infra-horaires disponibles pour calculer un débit horaire représentatif de la réalité. On considère que **si moins de la moitié des pas de temps infra-horaires de l'heure considérée contiennent des valeurs, le débit horaire du secteur ne peut être pris en compte.**

En termes mathématiques,

soit  $m$  le nombre de données infra-horaires contenues dans une heure, la condition de calcul du débit horaire du secteur s'écrit :

$$\sum_{i=1}^m \lambda_{jh}(i) \geq \frac{m}{2}$$

$\lambda_{jh}$  vaut 1 si la donnée du pas de temps  $t$  est présente dans l'heure  $h$  du jour  $j$  et 0 sinon. Lorsque la somme des  $\lambda_{jh}$  est supérieure ou égale à la moitié du nombre de pas de temps existant dans l'heure  $\frac{m}{2}$  alors le débit horaire du secteur peut-être calculé à l'heure  $h$  du jour  $j$  par la formulé suivante :

$$Q_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^m Q_{jt} \times \lambda_{jh}(i)}{\sum_{i=1}^m \lambda_{jh}(i)}$$

On dispose ainsi de la série de débits horaires du secteur global.



## II.2 Télérelève

Rappelons que les données brutes issues de la télérelève correspondent à :

- des relevés d'index acquis au pas de temps horaire sur les compteurs des abonnés du secteur considéré (données VEDIF).

Notons,

- $t$  le pas de temps initial des données brutes (ici l'heure);
- $t_{\max}$  le dernier pas de temps de la chronique de données considérée;
- $q_{jt}$  le débit horaire mesuré à l'heure  $t$  le jour  $j$  au compteur  $C_n$ ;
- $R(t)$  le coefficient du profil de consommation hebdomadaire enregistré au compteur  $C_n$  ;
- $V_h(t)$  le volume horaire enregistré à l'heure  $t$  de la journée type au compteur  $C_n$ ;
- $V_j$  le volume journalier de la journée type au compteur  $C_n$ ;
- $V_p$  la différence d'index des bornes de l'intervalle vide considéré dans la série horaire des débits au compteur  $C_n$ ;
- $r$  le nombre de compteurs télérelevés valides;
- $S$  le nombre total de compteurs du secteur d'étude;
- $A(t)$  le coefficient de hausse de la somme des débits des compteurs de télérelève du secteur à l'heure  $t$ ;
- $Q_{jt\ SE}$  le débit horaire sous-estimé du secteur à l'heure  $t$  du jour  $j$ ;
- $Q_{jt}$  : le débit horaire du secteur à l'heure  $t$  du jour  $j$ .

Les grandes étapes du processus de traitement primaire des données issues de la télérelève sont présentées sur la Figure 8.



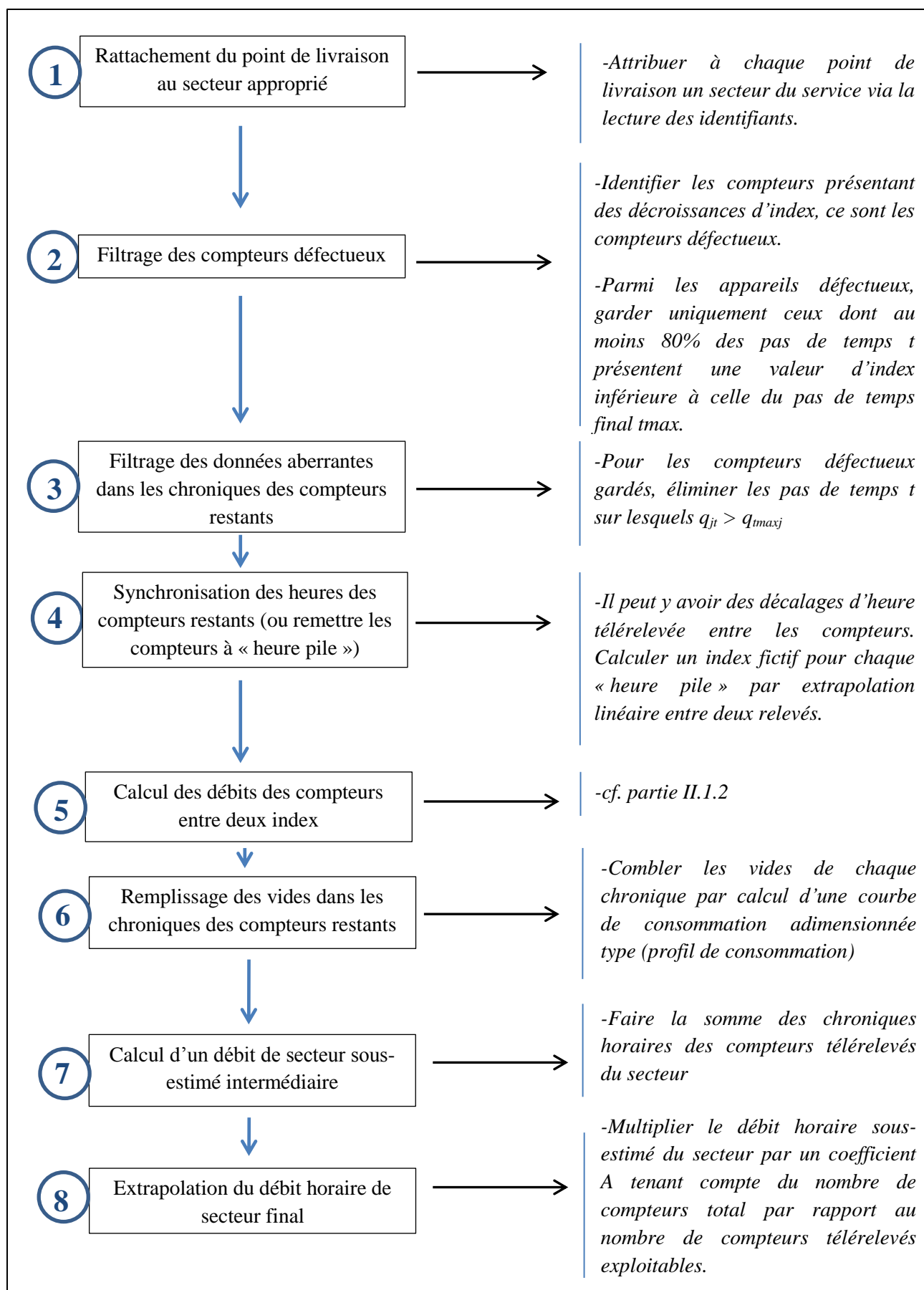


Figure 8 : Les grandes étapes du traitement primaire des données brutes de télérelève

La Figure 9 replace chacune des étapes du pré-traitement des données brutes à l'échelle du calcul concernée:

- celle du compteur Cn de l'abonné ;
- celle du secteur étudié.

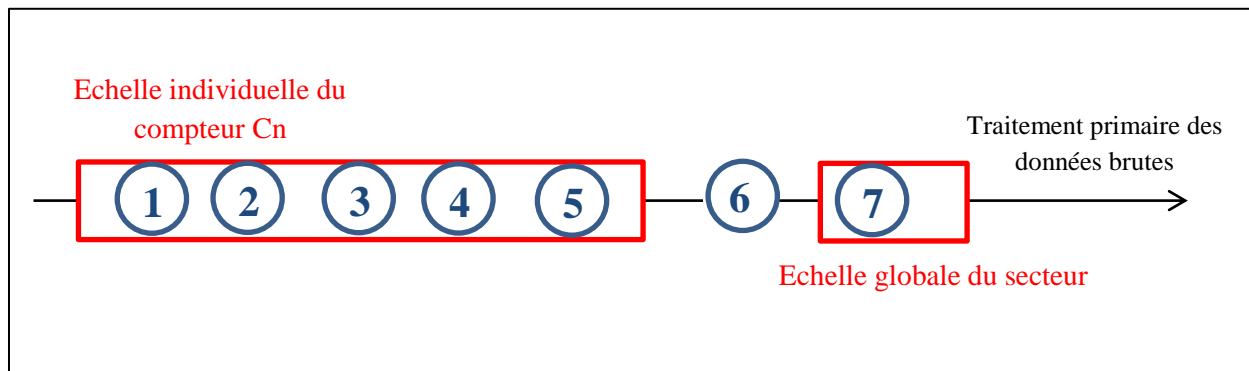


Figure 9 : Les étapes du pré-traitement des données brutes de sectorisation et leurs échelles respectives

### II.2.1 Rattachement des points de livraison au secteur approprié

La **première étape** consiste à **rattacher chaque point de livraison (PDS) du réseau au secteur dédié**. Ce travail s'appuie sur les identifiants associés individuellement à chaque compteur Cn. Cette opération est fondamentale et plus complexe qu'il n'y paraît. **Le lien entre le module du compteur, le point de livraison et l'unique secteur auquel ces deux éléments sont reliés doit être clair et précis.**

### II.2.2 Filtrage des compteurs défectueux

Il faut **ensuite identifier et éliminer les compteurs** clairement **défectueux**. Ainsi, on cherche tous les appareils présentant des **décroissances d'index**, indicatrices d'un dysfonctionnement certain du matériel de mesure.

**Parmi ces compteurs** identifiés défectueux, on **conserve uniquement les compteurs pour lesquels 80% au moins des pas de temps t sont associés à des index inférieurs à celui du pas de temps final** de la chronique  $t_{max}$ . Les compteurs ne remplissant pas cette condition sont écartés.

### II.2.3 Filtrage des données aberrantes des compteurs conservés

**Pour les compteurs défectueux conservés** (cf. partie II.2.2), les **décroissances d'index ponctuelles** sont **éliminées**, c'est-à-dire que les pas de temps contenant les valeurs aberrantes (telles que l'index associé est supérieur à l'index du pas de temps final de la chronique) sont supprimés.

### II.2.4 Synchronisation des heures des compteurs conservés

Parmi les relevés des compteurs retenus, il arrive parfois que les heures des télérelevés diffèrent d'un appareil à l'autre. La **cinquième étape du traitement** primaire des données brutes de télérelève consiste à **remettre les compteurs** dont l'horloge est décalée à **l'heure pile**. Pour ce faire, **pour chaque heure décalée, un index fictif est calculé par extrapolation linéaire entre les deux relevés réels**. L'extrapolation est conservée si la durée entre deux relevés d'un même compteur n'excède pas 2 heures.

## II.2.5 Calcul des débits horaires par différence d'index

Cf. partie II.1.2 (« infra-horaires » devient « horaires »).

## II.2.6 Remplissage des vides des chroniques des compteurs conservés

La **sixième étape** du processus est de **combler les vides de chaque chronique**, qu'ils soient du fait de lacunes dans les données brutes ou induits par les étapes 2 et 3. Pour chaque compteur Cn conservé, une courbe de consommation hebdomadaire type est calculée par une moyenne des valeurs horaires de la semaine sur la période étudiée (ie, on fait la moyenne des valeurs de tous les lundis à 8 heures, tous les lundis à 9 heures,...). Cette courbe est rendue adimensionnelle pour obtenir un profil de consommation en divisant le volume horaire de chaque pas de temps Vh par le volume journalier de la journée type aboutissant ainsi à un coefficient R à chaque pas de temps t pour le compteur Cn.

$$R(t) = \frac{Vh(t)}{Vj}$$

avec,

- $\sum_{t=1}^{24} R(t) = 1$

On calcule ensuite le débit horaire manquant du compteur Cn à l'heure t par la formule suivante :

$$q_{jt} = \frac{R(t)}{\sum_{i=1}^p R(i)} \times Vp$$

Avec,

- p le nombre de pas de temps dont la valeur manque ;
- Vp la différence d'index des bornes de l'intervalle vide, c'est-à-dire la différence entre le dernier pas de temps possédant une valeur et le premier pas de temps suivant disposant d'une nouvelle valeur.

## II.2.7 Calcul d'un débit de secteur sous-estimé intermédiaire

La somme des débits horaires télérelevés aboutit à une valeur de débit de secteur de première approximation Q<sub>jt SE</sub> :

$$Q_{jt SE} = \sum_{n=1}^r q_{jt}(Cn)$$

Avec r le nombre de compteurs retenus à l'issue de l'étape 2.

## II.2.8 Extrapolation du débit horaire de secteur final

Les 6 premières étapes du processus de traitement aboutissent à l'obtention de chroniques de débit complètes (parfois partiellement reconstituées) pour tous les compteurs retenus, ce qui signifie tous les appareils possédant, avant le début du traitement, 80% ou plus de mesures d'index croissantes.

Le nombre r de compteurs retenus et utilisés dans le premier calcul d'un débit de secteur à l'étape 6 ne correspond pas au nombre S de compteurs réellement présents sur le secteur. En effet, on doit rajouter à ce chiffre r non seulement les compteurs trop défectueux éliminés au niveau de l'étape 2, mais également tous les compteurs non-équipés de la télérelève, pour in fine pouvoir calculer le débit horaire du secteur.

Pour approcher la consommation réelle du secteur, il est donc nécessaire **d'extrapoler le débit  $Q_{jt\ SE}$** . Cette opération, correspondant à la **huitième et dernière étape du processus de pré-traitement**, est réalisée à l'aide d'un coefficient d'extrapolation A.

$$A(t) = \frac{\text{nombre de compteurs total du secteur}}{\text{nombre de compteurs télérelevés valide à } t} = \frac{S}{r}$$

L'expression du débit horaire du secteur  $Q_{jt}$  à l'heure t du jour j est alors la suivante :

$$Q_{jt} = Q_{jt\ SE} \times A(t)$$

On dispose ainsi de la série de débits horaires du secteur global.



## III Exploitation des données

### III.1 Méthodologie

Le téléreleve n'étant pas aujourd'hui généralisée, nous avons dans un premier temps expérimenté et recherché des méthodes d'évaluation des consommations et des pertes d'un secteur basées sur les seules données de sectorisation. Les débits consommés modélisés par calcul à partir des données de sectorisation ont ensuite été comparés aux débits télérelevés dans un deuxième temps.

#### III.1.1 Calcul des autres débits caractéristiques à partir des données de sectorisation

Les calculs suivant sont effectués **sur les données de sectorisation traitées dans la partie II.1 uniquement**.

Notons,

- $h$  le pas de temps horaire des données de débits;
- $Q_{jh}$  le débit horaire du jour  $j$  du secteur;
- $Q_j$  le débit moyen journalier du jour  $j$  du secteur;
- $\delta_j$  la fonction relative à la condition de calcul du débit journalier du secteur;
- $Q_{nuit j}$  le débit moyen nocturne du jour  $j$  du secteur
- $\varepsilon_j$  la fonction relative à la condition de calcul du débit nocturne journalier du secteur;
- $Q_{min j}$  le débit minimum du jour  $j$  du secteur;
- $Q_s$  le débit hebdomadaire moyen de la semaine  $s$  du secteur;
- $\delta_s$  la fonction relative à la condition de calcul du débit hebdomadaire du secteur;
- $Q_{nuit s}$  le débit nocturne hebdomadaire moyen de la semaine  $s$  du secteur;
- $\varepsilon_s$  la fonction relative à la condition de calcul du débit nocturne hebdomadaire du secteur;
- $Q_a$  le débit annuel moyen de l'année  $a$  du secteur;
- $\delta_a$  la fonction relative à la condition de calcul du débit annuel du secteur;
- $Q_{nuit a}$  le débit nocturne annuel de l'année  $a$  du secteur;
- $\varepsilon_a$  la fonction relative à la condition de calcul du débit nocturne annuel du secteur;
- $Q_{ref a}$  le débit de référence de l'année  $a$  du secteur;
- $v_a$  la fonction relative à la condition de calcul du débit de référence annuel du secteur.

Pour rappel, la Figure 10 et la Figure 11 présentent respectivement les débits infra-horaires et les débits horaires moyens issus de la phase de traitement primaire des données de sectorisation d'un secteur exemple (cf. partie II.1).

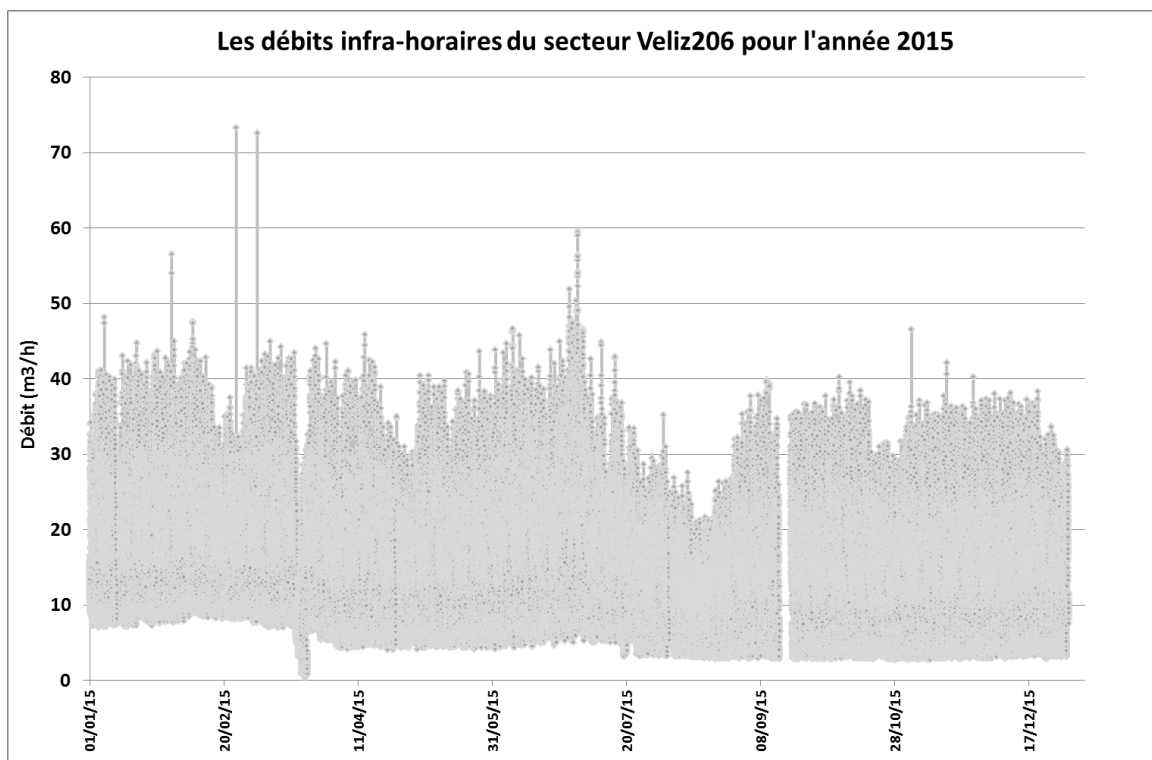


Figure 10 : Les débits infra-horaires d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015 à l'issue du processus de pré-traitement

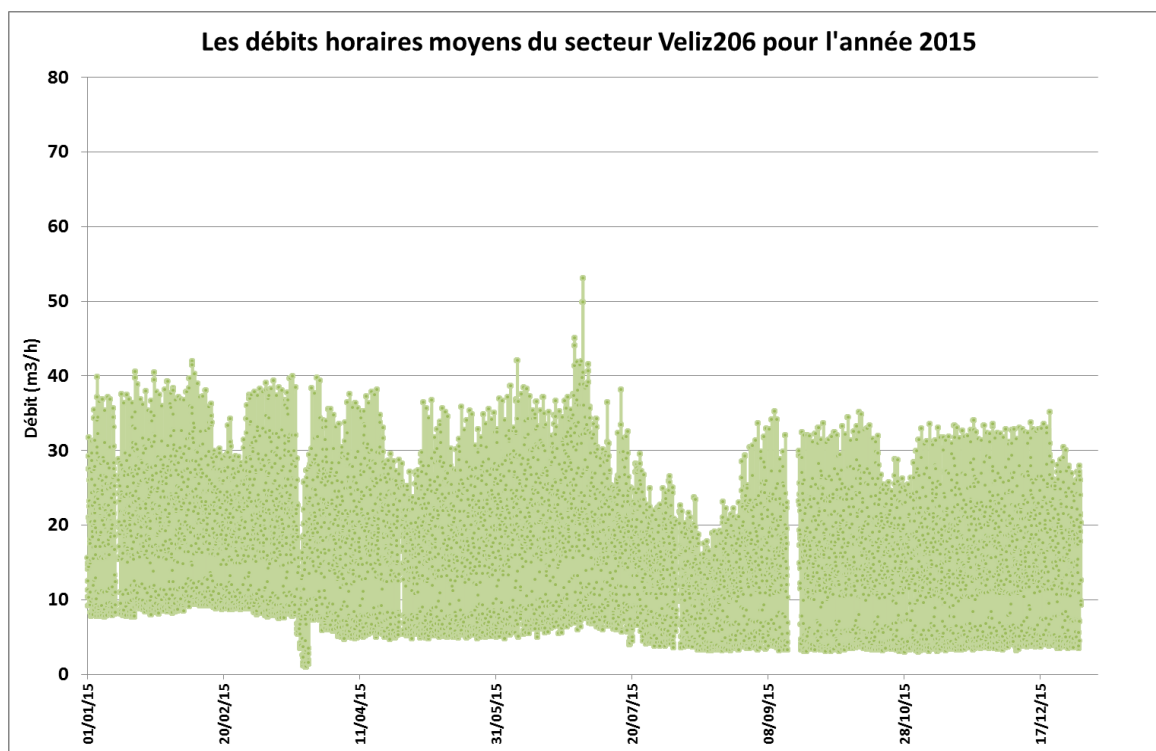


Figure 11: Les débits horaires moyens d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015 à l'issue du processus de pré-traitement

### III.1.1.1 Débit journalier moyen

Le **débit journalier moyen du secteur le jour j**  $Q_{\text{jour } j}$  est obtenu à partir des débits horaires du secteur isolés à la fin de la phase de traitement primaire des données de sectorisation (cf. partie II.1). Une fonction de validité portant sur le nombre minimum de données horaires disponibles est utilisée pour calculer un débit journalier effectivement représentatif de la réalité du jour j. On considère que **si plus de la moitié des pas de temps possède une valeur pour ce jour, le débit journalier du secteur peut être calculé.**

Si la condition suivante est vérifiée :

$$\sum_{h=1}^{24} \delta_j(h) > 12$$

sachant que  $\delta_j$  vaut 1 si la donnée est présente à l'heure h du jour j et 0 sinon ;

on calcule le débit journalier du jour j par la formule :

$$Q_j = \frac{\sum_{h=1}^{24} Q_{jh} \times \delta_j(h)}{\sum_{h=1}^{24} \delta_j(h)}$$

où  $Q_{jh}$  est le débit de l'heure h du jour j.

La Figure 12 présente les débits journaliers moyens ainsi calculés sur un secteur exemple.

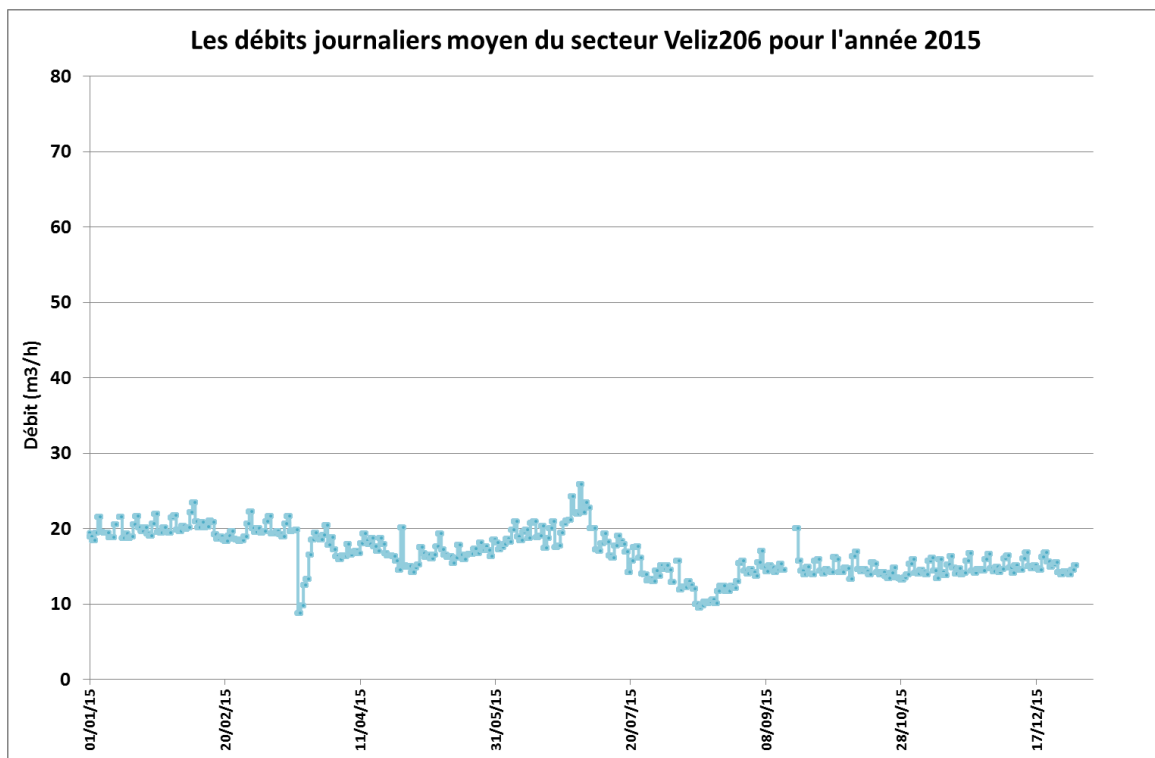


Figure 12 : Les débits journaliers moyens d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015



### III.1.1.2 Débit nocturne journalier moyen

Le **débit nocturne journalier moyen du secteur le jour j**  $Q_{\text{nuit } j}$  est également obtenu à partir des débits horaires du secteur isolés à la fin de la phase de traitement primaire des données de sectorisation (cf. partie II.1), mais cette fois, on prend en compte seulement la période de 3 heures, située entre 3 heures et 5 heures du jour j, assimilée à la nuit. Une fonction de validité portant sur le nombre minimum de données horaires disponibles est là encore introduite pour calculer un débit nocturne représentatif. **Le débit nocturne est calculé si l'on possède au moins 2 valeurs de débit sur 3.**

Si la condition suivante est vérifiée :

$$\sum_{h=3}^5 \varepsilon_j(h) \geq 2$$

sachant que  $\varepsilon_j$  vaut 1 si la donnée est présente à l'heure h du jour j et 0 sinon ;

on calcule le débit nocturne du jour j par la formule :

$$Q_{\text{nuit } j} = \frac{\sum_{h=3}^5 Q_{jh} \times \varepsilon_j(h)}{\sum_{h=3}^5 \varepsilon_j(h)}$$

où  $Q_{jh}$  est le débit de l'heure h du jour j.

La Figure 13 présente les débits nocturnes journaliers moyens ainsi calculés sur un secteur exemple.

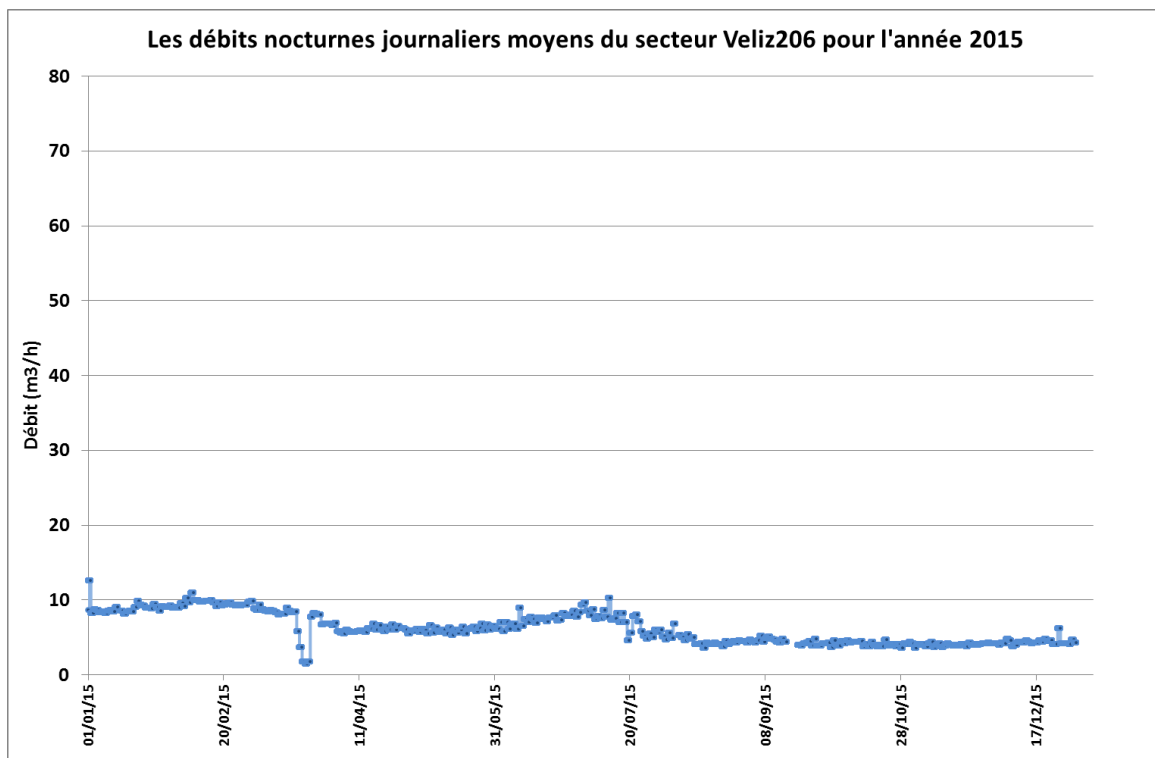


Figure 13 : Les débits nocturnes journaliers moyens d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015

### III.1.1.3 Débit journalier minimal (ou débit journalier de référence)

Le **débit minimum du jour j**  $Q_{\min j}$  calculé correspond à la **plus petite valeur prise par le débit nocturne horaire** (cf. partie III.1.1.2) et n'est calculé que dans le cas où le débit nocturne journalier existe pour le jour j.

$$Q_{\min j} = \text{Min}(Q_{jh})_{h \in [3,5]}$$

La Figure 14 présente les débits journaliers minimum ainsi calculés sur un secteur exemple.

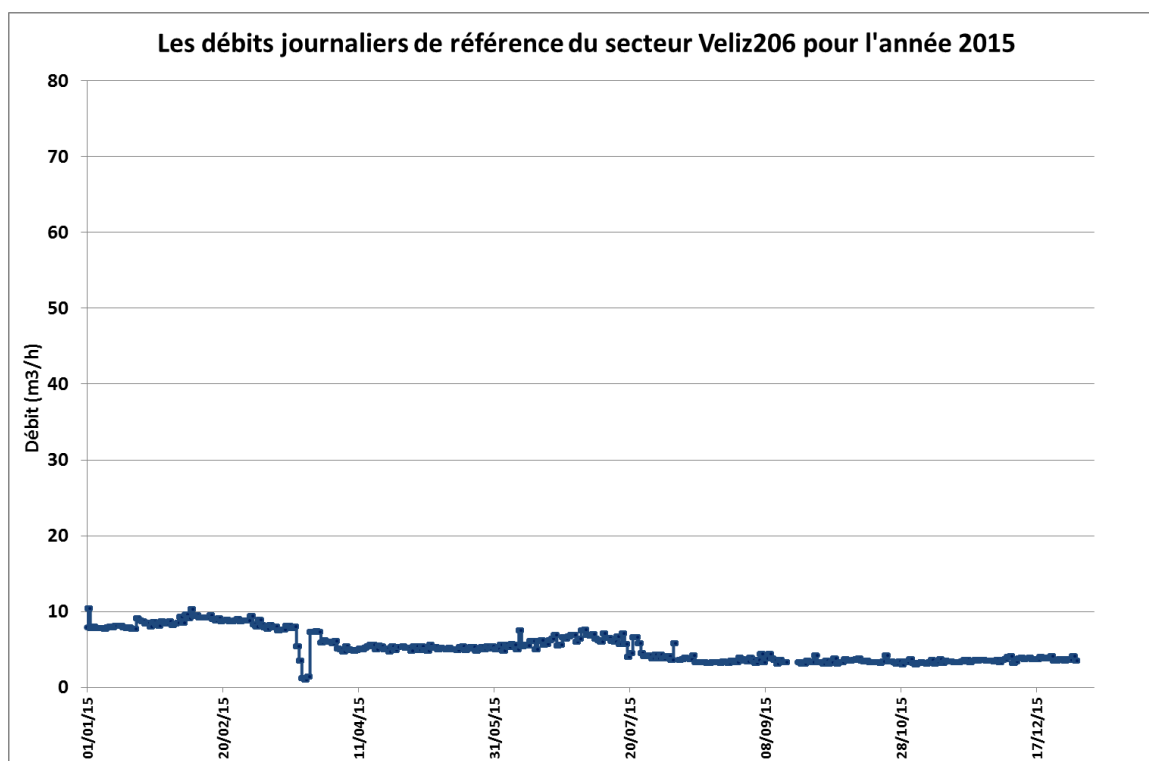


Figure 14 : Les débits journaliers de référence d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015

### III.1.1.4 Débit hebdomadaire moyen

Le **débit hebdomadaire moyen de la semaine s**  $Q_s$  est obtenu à partir des débits journaliers moyens des jours contenus dans s (cf. partie III.1.1.1). Une fonction de validité portant sur le nombre minimum de données journalières disponibles est encore une fois utilisée pour calculer un débit hebdomadaire représentatif. **Celui-ci est calculé si l'on possède au moins 4 valeurs de débits journaliers** sur les 7 jours que contient la semaine.

Si la condition suivante est vérifiée :

$$\sum_{j=1}^7 \delta_s(j) \geq 4$$

sachant que  $\delta_s$  vaut 1 si la donnée est présente le jour j de la semaine s et 0 sinon;

on calcule le débit hebdomadaire moyen de la semaine  $s$  par la formule :

$$Q_s = \frac{\sum_{j=1}^7 Q_j \times \delta_s(j)}{\sum_{j=1}^7 \delta_s(j)}$$

où  $Q_j$  est le débit moyen du jour  $j$  de la semaine  $s$ .

La Figure 15 présente les débits hebdomadaires moyens ainsi calculés sur un secteur exemple.

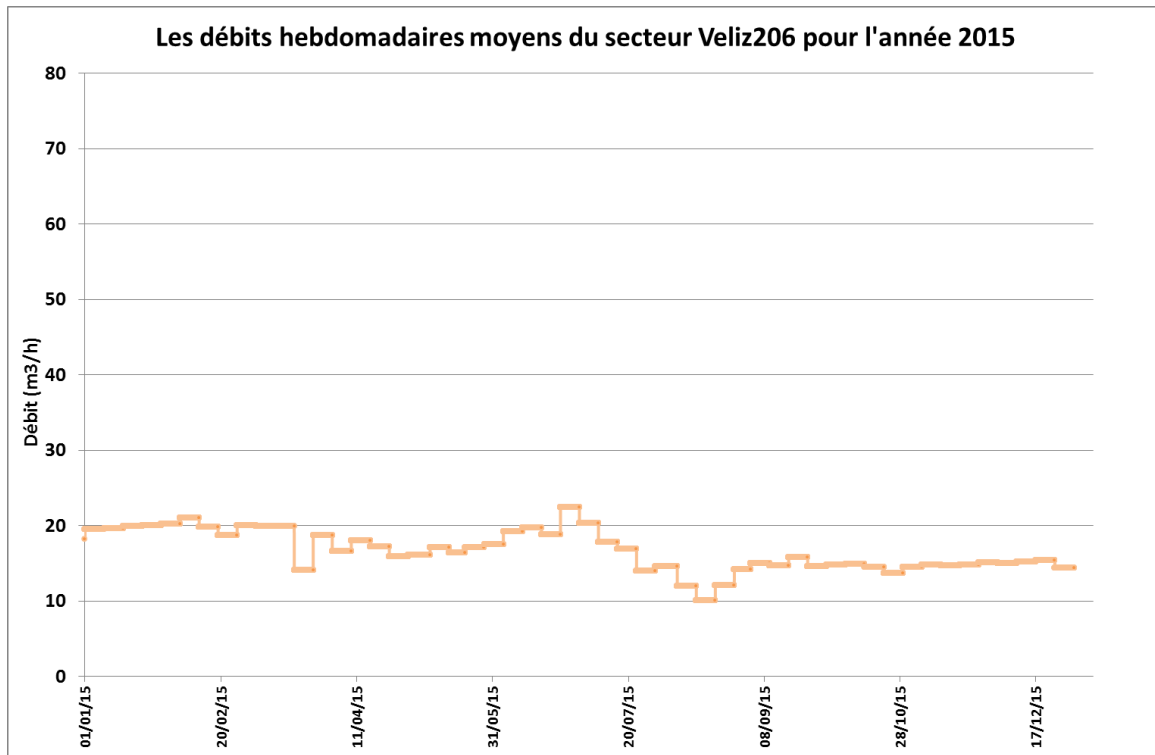


Figure 15 : Les débits hebdomadaires moyens d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015

### III.1.1.5 Débit nocturne hebdomadaire moyen

Ce débit est calculé sur le même modèle que le débit hebdomadaire moyen (cf. partie III.1.1.4). Le **débit nocturne hebdomadaire moyen de la semaine  $s$**   $Q_{\text{nuit } s}$  est obtenu à partir des débits nocturnes journaliers moyens contenus dans  $s$  (cf. partie III.1.1.2). Une fonction de validité portant sur le nombre minimum de données journalières disponibles est encore une fois utilisée pour calculer un débit nocturne hebdomadaire représentatif. **Celui-ci est calculé si l'on possède au moins 4 valeurs de débits nocturnes journaliers** sur les 7 nuits que contient la semaine.

Si la condition suivante est vérifiée :

$$\sum_{j=1}^7 \varepsilon_s(j) \geq 4$$

sachant que  $\varepsilon_s$  vaut 1 si la donnée est présente la nuit du jour  $j$  de la semaine  $s$  et 0 sinon;

on calcule le débit nocturne hebdomadaire moyen de la semaine  $s$  par la formule :

$$Q_{\text{ nuit } s} = \frac{\sum_{j=1}^7 Q_{\text{ nuit } j} \times \varepsilon_s(j)}{\sum_{j=1}^7 \varepsilon_s(j)}$$

où  $Q_{\text{ nuit } j}$  est le débit nocturne moyen du jour  $j$  de la semaine  $s$ .

La Figure 16 présente les débits nocturnes hebdomadaires moyens ainsi calculés sur un secteur exemple.

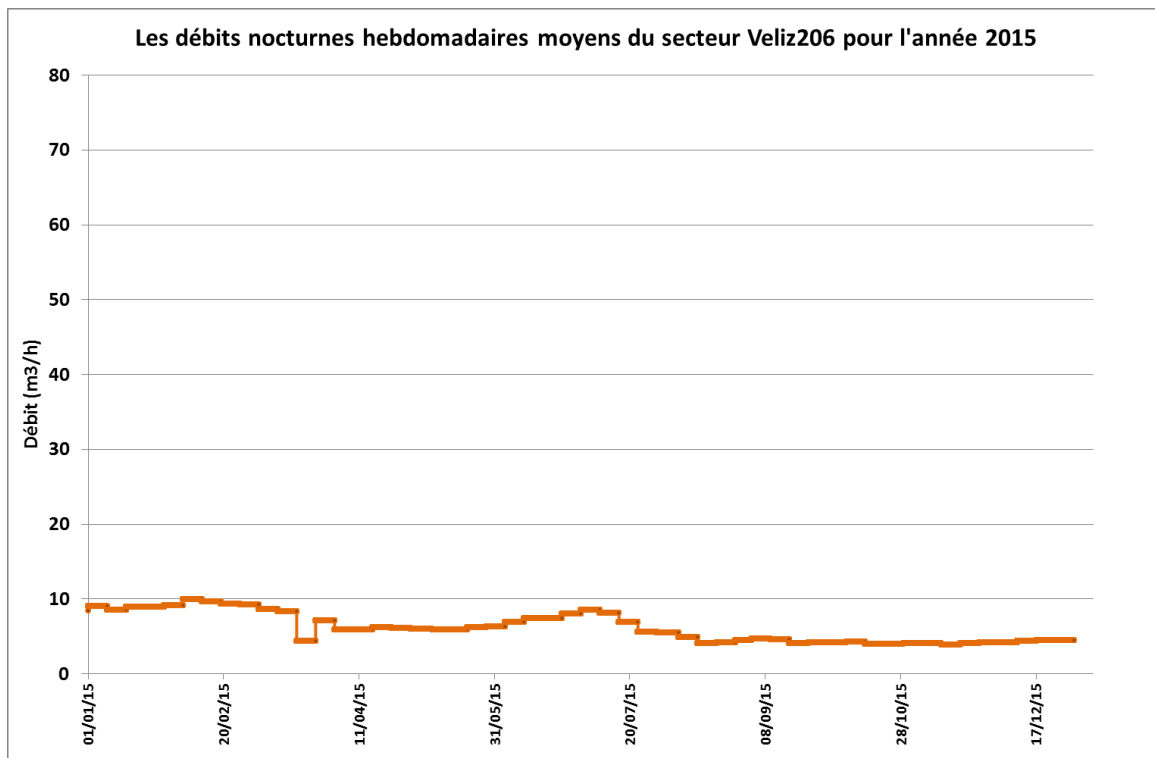


Figure 16 : Les débits nocturnes hebdomadaires d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015

### III.1.1.6 Débits annuels

Le débit journalier annuel moyen de l'année  $a$   $Q_a$  est calculé à partir des débits journaliers moyens des jours  $j$  contenus dans  $a$  (cf. partie III.1.1.1).

Soit  $d$  valant 365 ou 366 jours en fonction de  $a$ , et  $\delta_a$  égal à 1 si la donnée est présente le jour  $j$  de l'année  $a$  et 0 sinon, on calcule le débit annuel moyen de l'année  $a$  par l'expression :

$$Q_a = \frac{\sum_{j=1}^d Q_j \times \delta_a(j)}{\sum_{j=1}^d \delta_a(j)}$$

où  $Q_j$  est le débit moyen du jour  $j$  de l'année  $a$ .

Le **débit nocturne annuel moyen**  $Q_{\text{nuit } a}$  est calculé sur le même modèle que le débit journalier annuel moyen.

Soit  $d$  valant 365 ou 366 jours en fonction de  $a$ , et  $\varepsilon_a(j)$  égal à 1 si la donnée est présente le jour  $j$  de l'année  $a$  et 0 sinon, on calcule le débit nocturne annuel moyen de l'année  $a$  par l'expression :

$$Q_{\text{nuit } a} = \frac{\sum_{j=1}^d Q_{\text{nuit } j} \times \varepsilon_a(j)}{\sum_{j=1}^d \varepsilon_a(j)}$$

où  $Q_j$  est le débit moyen du jour  $j$  de l'année  $a$ .

Enfin, la dernière étape de calcul des débits caractéristiques à partir des données de sectorisation consiste à calculer le **débit annuel de référence**  $Q_{\text{ref } a}$  correspondant au débit minimum des débits nocturnes hebdomadaires moyens de l'année  $a$  (cf. partie III.1.1.5):

$$Q_{\text{ref } a} = \text{Min}(Q_{\text{nuit } s}, s \in a)$$

où  $Q_{\text{nuit } s}$  est le débit nocturne moyen de la semaine  $s$  de l'année  $a$ .

La Figure 17 présente les débits annuels ainsi calculés sur un secteur exemple.

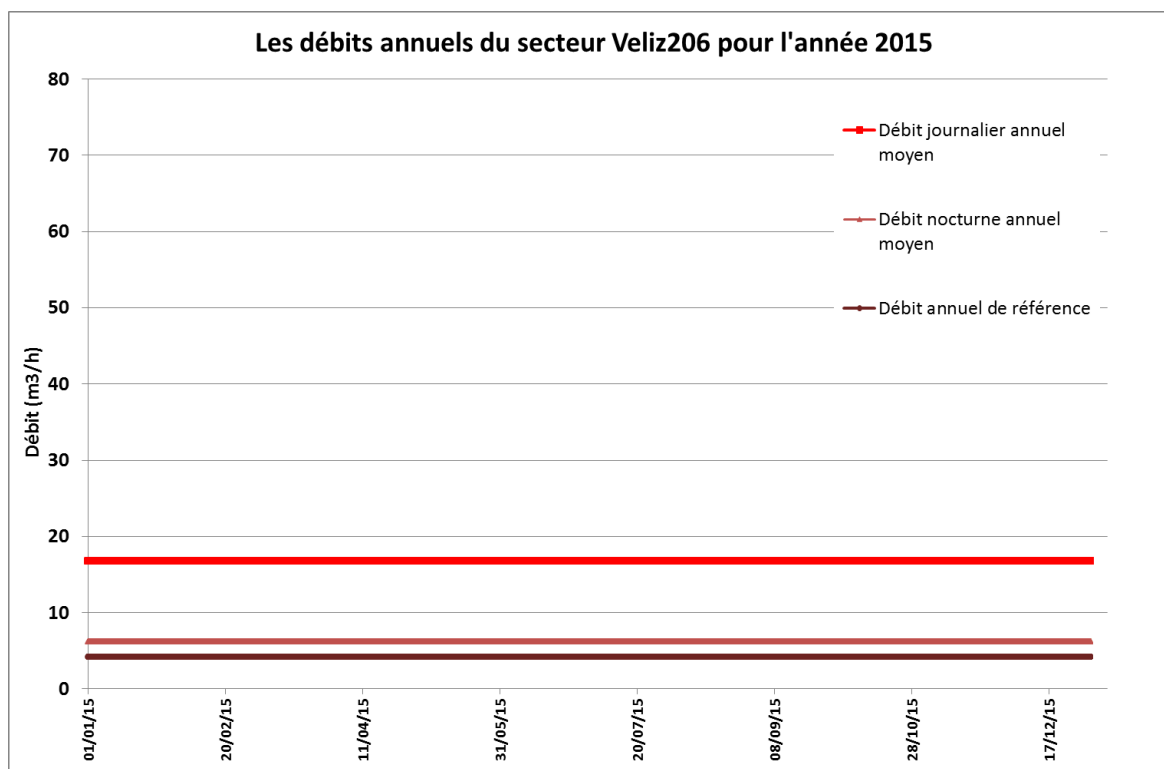


Figure 17 : Les différents débits annuels d'un secteur exemple (Veliz206 du SEDIF) pendant l'année 2015

### III.1.2 Modélisation des consommations et des pertes par la méthode « à consommation nocturne proportionnelle »

Notons,

- $\alpha_0$  le coefficient de consommations nocturne du secteur d'étude;
- $\beta_0$  le coefficient de pertes nocturne du secteur d'étude;
- $QC_{\text{nuit } j}$  le débit de consommations nocturne moyen du secteur le jour  $j$ ;
- $QC_j$  le débit de consommations journalier moyen du secteur le jour  $j$ ;
- $QP_{\text{nuit } j}$  le débit de pertes nocturne moyen du secteur le jour  $j$ ;
- $QP_j$  le débit de pertes journalier moyen du secteur le jour  $j$ ;
- $Q_{\text{nuit } j}$  le débit nocturne moyen du secteur le jour  $j$ ;
- $Q_j$  le débit journalier moyen du secteur le jour  $j$ ;
- $L_0, L_1$  les débits de pertes de l'équation des pressions préconisée par l'IWA;
- $P_0, P_1$  les débits de pertes de l'équation des pressions préconisée par l'IWA;
- $P_{\text{nuit } j}$  la pression moyenne nocturne du secteur le jour  $j$ ;
- $P_j$  la pression moyenne journalière du secteur le jour  $j$ ;
- $QC_a$  le débit de consommation annuel moyen;
- $VC_a$  le volume annuel consommé sur le secteur;
- $Q_{\text{nuit } a}$  le débit de consommation annuel nocturne moyen;
- $Q_a$  le débit moyen annuel;
- $\sigma$  l'écart-type des débits nocturnes moyens journaliers de pertes;
- $E, F$  et  $G$  différentes expressions fonctions de  $Q_{\text{nuit } j}$  et  $Q_j$ ;
- $NRRT$  la dérive du débit des pertes lors des périodes sans intervention calculée à l'échelle annuelle;
- $k$  le nombre annuel d'interventions sur le secteur;
- $I_n$  les interventions annuelles sur le secteur, avec  $n \in [1, k]$ ;
- $A$  l'âge moyen des canalisations du secteur en années;
- $L$  le linéaire de réseau du secteur en km;
- $P$  la pression moyenne de nuit du secteur en mCE;
- $N$  le nombre d'abonnés du secteur;
- $a, b$  deux constantes utilisées dans le calcul du  $NRRT$  par la méthode de Lee;
- $QC_{\text{nuiti } j}$  la valeur d' $i$ -ème itération du débit de consommation nocturne journalier moyen du jour  $j$ , calculée par la méthode du calage conjoint de  $\alpha_0$  et  $NRRT$ ;
- $QC_{ij}$  la valeur d' $i$ -ème itération du débit de consommation journalier moyen du jour  $j$ , calculée par la méthode du calage conjoint de  $\alpha_0$  et  $NRRT$ ;
- $Q_{Bi } j$  la valeur d' $i$ -ème itération du débit nocturne journalier moyen de pertes dues à la dérive tendancielle du jour  $j$ , calculée par la méthode du calage conjoint de  $\alpha_0$  et  $NRRT$ ;
- $Q_{Ai } j$  la valeur d' $i$ -ème itération du débit nocturne journalier moyen de pertes dues à d'autres phénomènes que la dérive tendancielle du jour  $j$ , calculée par la méthode du calage conjoint de  $\alpha_0$  et  $NRRT$ ;
- $T$  la période sans intervention utilisée pour le calage conjoint de  $\alpha_0$  et  $NRRT$ .

#### III.1.2.1 Hypothèses, grandeurs et équations

Contrairement à la méthode à « consommation nocturne constante » développée par l'IWA dans les années 1990, faisant intervenir une estimation unitaire constante par type d'abonné pour calculer le

débit nocturne consommé, **la méthode de modélisation des débits nocturnes consommés proposée par IRSTEA (Renaud,2012) et utilisée dans le cadre de cette étude, repose sur l'hypothèse fondamentale que la consommation nocturne est variable et proportionnelle à la consommation moyenne journalière.** Cette hypothèse est traduite par la création d'un **coefficient constant  $\alpha_0$** , dit « **coefficient de consommation nocturne du secteur** » et formulé ainsi :

$$\alpha_0 = \frac{QC_{nuit\ j}}{QC_j}$$

où  $QC_{nuit\ j}$  et  $QC_j$  représentent respectivement, le **débit nocturne journalier moyen** et le **débit journalier moyen consommés le jour j** sur le secteur.

Parallèlement à cela est également introduit un **coefficient constant de pertes nocturnes du secteur  $\beta_0$** , défini comme suit :

$$\beta_0 = \frac{QP_{nuit\ j}}{QP_j}$$

où  $QP_{nuit\ j}$  et  $QP_j$  représentent respectivement, le **débit de pertes nocturne journalier moyen** et le **débit journalier moyen perdu le jour j** sur le secteur.

**La somme des débits consommés et perdus donne le débit du secteur.** On peut ainsi écrire les deux équations suivantes, vérifiées pour le jour j :

$$\begin{cases} Q_{nuit\ j} = QC_{nuit\ j} + QP_{nuit\ j} \\ Q_j = QC_j + QP_j \end{cases}$$

L'énoncé des quatre expressions précédemment évoquées aboutit au **système de quatre équations à quatre inconnues permettant in fine d'exprimer les débits de consommation journalier et nocturne du jour j en fonction des coefficients de proportionnalité  $\alpha_0$  et  $\beta_0$  et des débits de sectorisation** (cf. partie III.1.1).

$$\begin{cases} Q_{nuit\ j} = QC_{nuit\ j} + QP_{nuit\ j} \\ Q_j = QC_j + QP_j \\ \alpha_0 = \frac{QC_{nuit\ j}}{QC_j} \\ \beta_0 = \frac{QP_{nuit\ j}}{QP_j} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} QC_j = \frac{\beta_0 \times Q_j - Q_{nuit\ j}}{\beta_0 - \alpha_0} \\ QC_{nuit\ j} = \frac{\alpha_0 \times (\beta_0 \times Q_j - Q_{nuit\ j})}{\beta_0 - \alpha_0} \end{cases}$$

**Les deux parties suivantes exposent les démarches d'évaluation des coefficients  $\beta_0$  et  $\alpha_0$ .**

### III.1.2.2 Evaluation du coefficient de pertes nocturnes $\beta_0$

L'IWA préconise l'utilisation d'une simple **loi de puissance**, jugée physiquement robuste, pour exprimer la **relation entre pression du secteur P et débit de fuite L** (THORNTON, 2004). Ainsi, entre deux états respectifs de haute et basse pression 0 et 1,

$$\frac{L_1}{L_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N_1}$$

avec  $N_1$  l'exposant, usuellement compris entre 0,5 et 1,5 (mais pouvant atteindre très occasionnellement la valeur maximale de 2,5). Sa valeur peut généralement être approximée par le chiffre 1 sur les grands secteurs ou en l'absence de données pertinentes sur les fuites présentes et leurs ampleurs au moment du calcul (THORNTON, 2004).

Conformément aux notations précédemment utilisées, cette égalité équivaut à :

$$\frac{QP_{\text{nuit } j}}{QP_j} = \frac{P_{\text{nuit } j}}{P_j} = \beta_0$$

où  $P_{\text{nuit } j}$  et  $P_j$  sont les pressions journalières et nocturnes moyennes du jour j.

Dans le cas de secteurs en distribution pure biens dimensionnés,  $\beta_0$  est très proche de 1 (RENAUD, 2012). **Dans la présente étude, la valeur de  $\beta_0$  a été systématiquement fixée à 1 en première approximation.**

### III.1.2.3 Evaluation du coefficient de consommation nocturne $\alpha_0$

Trois approches d'évaluation du coefficient  $\alpha_0$  ont été envisagées et sont décrites ci-après.

#### Approche 1 : Méthode sectorielle basée sur les données annuelles

**L'approche 1 exploite les données de consommation annuelle du secteur étudié**, fournies par l'exploitant VEDIF ou Veolia Environnement (cf. introduction\_rubrique « moyens »).

En s'appuyant sur les relations précédemment mentionnées (cf. partie III.1.2.1), on peut exprimer  $\alpha_0$  en fonction du débit journalier moyen des consommations, des débits nocturnes et journaliers moyens et de  $\beta_0$ , pour le jour j :

$$\begin{aligned} QC_{\text{nuit } j} &= Q_{\text{nuit } j} - QP_{\text{nuit } j} \\ &= Q_{\text{nuit } j} - \beta_0 \times QP_j \\ &= Q_{\text{nuit } j} - \beta_0 \times (Q_j - QC_j) \end{aligned}$$

Ainsi,

$$\alpha_0 = \frac{Q_{\text{nuit } j} - \beta_0 \times (Q_j - QC_j)}{QC_j}$$



Si l'on considère  $\alpha_0$  et  $\beta_0$  constants sur une année, cette égalité peut être ramenée au pas de temps annuel :

$$\alpha_0 = \frac{Q_{nuit\ a} - \beta_0 \times (Q_a - QC_a)}{QC_a}$$

où  $QC_a$  est le débit de consommation annuel moyen du secteur et s'exprime de la manière suivante :

$$QC_a = \frac{VC_a}{24 \times 365}$$

où  $VC_a$  est le volume annuel consommé sur le secteur.

## Approche 2 : Méthode analytique (Pillot, 2014)

**L'approche 2 exploite uniquement les données de sectorisation** (cf. parties II.1 et III.1.1). Elle est adaptée aux secteurs connaissant d'importantes variations de débit saisonnières.

La méthode analytique repose sur le **postulat** selon lequel, **entre deux événements ponctuels impliquant de brusques variations de débit sur le secteur** (type casses, débordements de réservoirs, mauvaises fermetures de vannes...), **le débit est stable et n'évolue que progressivement, en raison de l'augmentation des fuites.**

Sur la période de calcul, la valeur du coefficient de consommation nocturne  $\alpha_0$  est donc choisie telle qu'elle minimise l'écart-type  $\sigma$  des débits de pertes nocturnes dont l'expression est donnée ci-dessous.

Soit  $n$  le nombre de jours des chroniques de débits de sectorisation du secteur,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (QP_{nuit\ j} - \overline{QP_{nuit\ j}})^2}{n}}$$

La résolution du système à quatre équations de la partie III.1.2.1 aboutit également à l'expression du débit de pertes nocturnes  $QP_{nuit\ j}$  en fonction des débits de sectorisation  $Q_{nuit\ j}$  et  $Q_j$  et des coefficients  $\alpha_0$  et  $\beta_0$ .

$$QP_{nuit\ j} = \frac{Q_{nuit\ j} - \alpha_0 \times Q_j}{\beta_0 - \alpha_0}$$

On peut donc exprimer  $\sigma$  en fonction des données de sectorisation  $Q_{nuit\ j}$  et  $Q_j$  et des coefficients  $\alpha_0$  et  $\beta_0$ .

$$\sigma = \frac{\sqrt{E + F \times \alpha_0 + G \times \alpha_0^2}}{n \times \left(1 - \frac{\alpha_0}{\beta_0}\right)}$$

où,

$$\begin{cases} E = n \times \sum_{j=1}^n Q_{nuit\ j}^2 - \left(\sum_{j=1}^n Q_{nuit\ j}\right)^2 \\ F = -2 \times n \times \sum_{j=1}^n (Q_{nuit\ j} \times Q_j) + 2 \times \sum_{j=1}^n Q_{nuit\ j} \times \sum_{j=1}^n Q_j \\ G = n \times \sum_{j=1}^n Q_j^2 - \left(\sum_{j=1}^n Q_j\right)^2 \end{cases}$$

La valeur de  $\alpha_0$  minimisant l'écart-type  $\sigma$  est la solution de l'équation suivante (avec, pour rappel  $\beta_0$  égal à 1) :

$$\frac{d\sigma}{d\alpha_0} = \frac{F + 2 \times \frac{E}{\beta_0} + \alpha_0 \times \left( 2 \times G + \frac{F}{\beta_0} \right)}{2 \times n \times \sqrt{E + F \times \alpha_0 + \alpha_0^2} \times \left( 1 - \frac{\alpha_0}{\beta_0} \right)^2} = 0$$

On trouve ainsi,

$$\alpha_0 = \frac{-\left( F + \frac{2 \times E}{\beta_0} \right)}{2 \times G + \frac{F}{\beta_0}}$$

Où E, F, et G sont fonctions des données de sectorisation  $Q_{\text{nuit } j}$  et  $Q_j$  (cf. partie III.1.1).

### Approche 3 : Méthode itérative par calage conjoint de NRRt et $\alpha_0$

On appelle **NRRt** (Natural Rate of Rise in leakage) la **dérive du débit de pertes lors des périodes sans intervention**, c'est-à-dire une période durant laquelle les casses et événements majeurs sont réparés, mais en l'absence de toute activité de contrôle des fuites sur le secteur (*KIRBY, 2006*).

Il s'agit d'une **augmentation progressive du débit de fuites dans le temps dont la valeur varie en fonction de différents paramètres** tels que l'âge moyen, les matériaux et le linéaire de canalisations du secteur, la pression de service ou encore le nombre de branchements par exemple. Trois méthodes de calcul indépendantes de la valeur de  $\alpha_0$  sont usuellement utilisées :

- la méthode de calcul du NRRt de l'UKWIR (*KIRBY, 2006*)

L'UKWIR préconise de calculer le NRRt sur un an en multipliant la moyenne pondérée des coefficients directeurs des pentes du débit de nuit journalier entre deux interventions (distantes d'au moins 7 jours) par 365. Les coefficients directeurs associés à chaque sous-série de débits sont pondérés par la durée de la sous-série. La Figure 18 illustre le principe de fonctionnement de cette méthode, avec  $k$  le nombre d'interventions effectuées au cours de l'année considérée et  $In$  les interventions,  $n \in [1, k]$ .

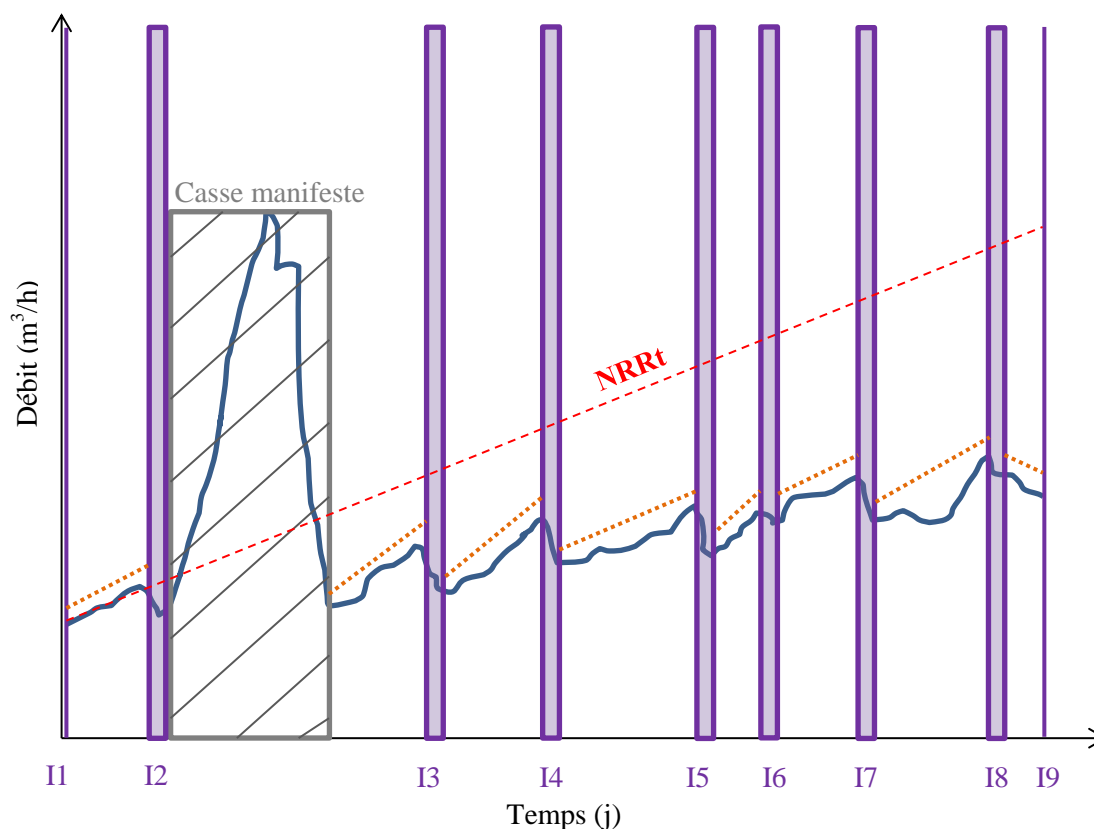


Figure 18 : Principe de calcul du NRRt par la méthode de l'UKWIR

➤ la méthode de calcul du NRRt « filtré » Veolia

Cette méthode reprend celle de l'UKWIR, présentée au point précédent, en ajoutant toutefois un filtrage statistique des sous-séries de débits douteuses et l'élimination de leurs coefficients directeurs dans le calcul du NRRt final. Sur chaque période inter-interventions de l'année, un débit fictif est calculé pour chaque jour de la période par multiplication du débit initial de la sous-série par le coefficient directeur calculé sur la période. La différence entre ce débit fictif et le débit mesuré du même jour ne doit pas excéder deux fois l'écart-type de la sous-série considérée sur plus de 9% des jours de la période. Si le cas survient, la sous-série est écartée et n'intervient pas dans le calcul du NRRt.

➤ la méthode des caractéristiques sectorielles (LEE, 2009)

Cette approche empirique s'appuie sur les caractéristiques du réseau.

Soient  $a$  et  $b$ , deux constantes dépendant du types de matériaux constituant le réseau ; soit  $A$  l'âge moyen du réseau en années ; soit  $L$  le linéaire du réseau en km, soit  $P$  la pression moyenne de nuit en mCE et soit  $N$  le nombre d'abonnés du secteur.

NRRt est calculé par la formule suivante :

$$NRRt = a \times L^{1,2} \times A^{0,8} \times b \times (N \times P)^{0,6}$$

**L'approche de calage conjoint du NRRt et de  $\alpha_0$  vise à mettre en place un calcul itératif permettant de s'affranchir des fuites tendanciellées représentées par le NRRt pour évaluer  $\alpha_0$ .**

Le calcul de  $\alpha_0$  est réalisé sur une période sans intervention T supérieure à 20 jours.

On considère une valeur initiale de  $NRRt$ , appelée  $NRRt_0$  et fixée à 0. Le débit nocturne journalier moyen du jour j  $Q_{nuit\ j}$  est ensuite décomposé en trois termes de la manière suivante :

$$Q_{nuit\ j} = QC_{nuit0\ j} + QP_{B0\ j} + QP_{A0\ j}$$

où,

$QC_{nuit0\ j}$  est la valeur initiale du débit nocturne journalier moyen des consommations du jour j ;

$QP_{B0\ j}$  la valeur initiale du débit nocturne journalier moyen des pertes dues à la dérive du débit de fuites  $NRRt$  le jour j définit tel que :

$$QP_{B0\ 1} = 0 \text{ le premier jour de la période de calcul (j=1)}$$

$$QP_{B0\ j} = (j - 1) \times NRRt_0 \text{ le j-ième jour de la période de calcul } (\forall j \in T \setminus \{1\})$$

$QP_{A0\ j}$  la valeur initiale du débit nocturne journalier moyen des pertes dues à d'autres phénomènes que la dérive du débit de fuites  $NRRt$ .

Deux autres débits intermédiaires de calcul  $Q_{nuit0\ j}$  et  $Q_{0\ j}$  sont alors introduits et exprimés en fonction des débits définis précédemment :

$$Q_{nuit0\ j} = Q_{nuit\ j} - QP_{B0\ j} = QC_{nuit0\ j} + QP_{A0\ j}$$

la valeur initiale du débit nocturne journalier moyen du jour j ;

$$Q_{0\ j} = Q_j - QP_{B0\ j} = QC_{0\ j} + QP_{A0\ j}$$

la valeur initiale du débit journalier moyen du jour j.

Connaissant  $QP_{B0\ j}$ ,  $Q_{nuit\ j}$  et  $Q_j$ , respectivement égaux à 0 et issus des calculs de sectorisation (cf. parties II.1 et III.1.1), on peut déduire des expressions précédentes  $Q_{nuit0\ j}$  et  $Q_{0\ j}$ . Ces deux débits permettent ensuite de calculer une valeur initiale de  $\alpha_0$ ,  $\alpha_{0(0)}$ , selon la méthode analytique (cf. partie III.1.2\_rubrique « Approche 2 : Méthode analytique »). La connaissance de  $\alpha_{0(0)}$  permet enfin de calculer  $QC_{nuit0\ j}$  et  $QC_{0\ j}$  selon les expressions formulées dans la partie III.1.2.1 :

$$QC_{0\ j} = \frac{\beta_0 \times Q_{0j} - Q_{nuit\ j}}{\beta_0 - \alpha_0}$$

$$QC_{nuit0\ j} = \frac{\alpha_0 \times (\beta_0 \times Q_{0j} - Q_{nuit\ j})}{\beta_0 - \alpha_0}$$

On obtient alors  $QP_{A0\ j}$  pour chaque jour j par soustraction :

$$QP_{A0\ j} = Q_{nuit0\ j} - QC_{nuit0\ j}$$

Ce calcul clôture la première itération ou phase initiale.

Pour débiter la deuxième itération, on pose pour le jour j :

$NRRt_1$  la dérivée dans le temps du débit  $QP_{A0\ j}$  ;

$QP_{B1\ j} = (j - 1) \times (NRRt_0 + NRRt_1)$  la valeur de deuxième itération du débit nocturne journalier moyen des pertes dues à la dérive de nuit.

Cette valeur de  $QP_{B1\ j}$  permet de calculer alors les deux débits intermédiaires  $Q_{nuit1\ j}$  et  $Q_{1\ j}$  :

$$Q_{nuit1j} = Q_{nuitj} - QP_{B1j}$$

la valeur de deuxième itération du débit nocturne journalier moyen du jour j ;

$$Q_{1j} = Q_j - QP_{B1j}$$

la valeur de deuxième itération du débit journalier moyen du jour j.

Connaissant  $QP_{B1j}$ ,  $Q_{nuitj}$  et  $Q_j$ , respectivement égaux à 0 et issus des calculs de sectorisation (cf. parties II.1 et III.1.1), on peut déduire des expressions précédentes  $Q_{nuit1j}$  et  $Q_{1j}$ . Ces deux débits permettent ensuite de calculer une valeur de deuxième itération de  $\alpha_0$ ,  $\alpha_{0(1)}$ , selon la méthode analytique (cf. partie III.1.2\_rubrique « Approche 2 : Méthode analytique »). La connaissance de  $\alpha_{0(1)}$  permet enfin de calculer  $QC_{nuit1j}$  et  $QC_{1j}$  selon les expressions formulées dans la partie III.1.2.1 :

$$QC_{1j} = \frac{\beta_0 \times Q_{1j} - Q_{nuitj}}{\alpha_0 - \beta_0}$$

$$QC_{nuit1j} = \frac{\alpha_0 \times (\beta_0 \times Q_{1j} - Q_{nuitj})}{\beta_0 - \alpha_0}$$

On obtient alors  $QP_{A1j}$  pour chaque jour j par soustraction :

$$QP_{A1j} = Q_{nuit1j} - QC_{nuit1j}$$

Ce calcul clôture la deuxième itération.

Cette démarche est réitérée jusqu'à ce que la valeur de  $\alpha_0$  converge. On considère qu' $\alpha_0$  converge à la i-ème itération si la condition suivante est vérifiée :

$$\alpha_{0(i)} - \alpha_{0(i-1)} < 1 \times 10^{-4}$$

Le Tableau 1 donne les résultats des 9 premières itérations sur un secteur exemple. On estime ici qu' $\alpha_0$  converge à la 7-ème itération. La valeur  $\alpha_{0(7)}$  est donc conservée comme valeur de  $\alpha_0$  finale.

Itération i	$\alpha_0$	NRRT <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> /h/j)	$\Sigma$ NRRT <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> /h/j)
<b>Initiale ou 0</b>	0,217	0,0000	0,0000
<b>1</b>	0,098	0,037398261	0,0374
<b>2</b>	0,054	0,011574828	0,0490
<b>3</b>	0,040	0,00358243	0,0526
<b>4</b>	0,035	0,001108768	0,0537
<b>5</b>	0,034	0,000343166	0,0540
<b>6</b>	0,033	0,00010621	0,0541
<b>7</b>	0,033	3,28723E-05	0,0541
<b>8</b>	0,033	1,0174E-05	0,0542
<b>9</b>	0,033	3,14888E-06	0,0542

**Tableau 1 : Résultats du calage conjoint de  $\alpha_0$  et du NRRT sur un secteur exemple (Auvers100 du SEDIF, période T du 27/03 au 08/07/2015) (GOURLAOUEN, 2016)**

**L'obtention d'une valeur de  $\alpha_0$  par l'une de ces trois approches** (méthode sectorielle basée sur les données annuelles, méthode analytique ou méthode itérative par calage conjoint de NRRT et  $\alpha_0$ ) **permet de calculer les débits de consommations  $QC_j$  et  $QC_{nuitj}$  au pas de temps journalier** par les formules évoquées dans la partie III.1.2.1 **et ainsi de déduire le débit de pertes journalier modélisé**

pour le jour  $j$  ( $QP_j$  et  $QP_{\text{nuit } j}$  sont égaux ici, car  $\beta_0$  est fixé à 1 (cf. partie III.1.2.2)). Quelques résultats de cette phase de modélisation des débits nocturnes sont présentés dans la partie III.2.1, avec notamment une comparaison des débits de consommations modélisés avec les données de consommations télérelevées, disponibles sur certains secteurs.

### III.1.3 Estimation de l'impact des interventions sur les débits de pertes

Notons,

- $NRR_t$  la dérive du débit des pertes lors des périodes sans intervention calculée à l'échelle annuelle;
- $k$  le nombre annuel d'interventions sur le secteur;
- $I_n$  les interventions annuelles sur le secteur, avec  $n \in [1, k]$ ;
- $Q_{eb \text{ hebdo}}$  le débit économisé brut calculé par la méthode hebdomadaire;
- $Q_{e \text{ hebdo}}$  le débit économisé final calculé par la méthode hebdomadaire;
- $Q_{e \text{ journ}}$  le débit économisé calculé par la méthode journalière;
- $QP_j$  le débit de pertes journalier moyen du jour  $j$ ;
- $QP_j'$  le débit de pertes journalier moyen du jour  $j$  affranchi du  $NRR_t$ ;
- $QP_s$  le débit de pertes hebdomadaire moyen de la semaine  $s$ ;
- $Q_{\text{impact}}$  le débit évaluant l'impact de l'intervention  $I_n$ ;
- $D$  la période de calcul de l'impact des interventions sur les volumes perdus;
- $V_{\text{pertes}}$  le volume des pertes total sur la période  $D$ ;
- $V_{\text{ref}}$  le volume des fuites non-réparées (diffuses, non-détectées et/ou non-signalées) sur la période  $D$ ;
- $V_{FS}$  le volume des Fuites Subites sur la période  $D$ ;
- $V_{FNS}$  le volume des Fuites Non-Subites sur la période  $D$ ;
- $D_{FNS}$  la durée moyenne d'écoulement des Fuites Non-Subites sur la période  $D$ .

#### III.1.3.1 Rappel sur les grandes familles de fuites

Il existe trois grandes familles de fuites :

- Les **fuites diffuses**, aux débits particulièrement faibles et qui sont de ce fait indétectables par les méthodes de recherche usuelles;
- Les **fuites détectables**, aux débits suffisant pour permettre leur identification par les méthodes de recherche usuelles, mais non pour être visibles en surface;
- Les **fuites visibles**, aux débits suffisant pour occasionner des manifestations en surface, de type écoulements sur la chaussée ou déformations du terrain environnant la canalisation.

Au-delà de ces grandes familles existent différentes sous-catégories de fuites, dont les impacts sur les débits du secteur sont divers. **Les fuites diffuses**, étant par définition indétectables et non-localisables, **sont d'emblée écartées du protocole d'évaluation des interventions** et **les phénomènes décrits par la suite se rapportent uniquement aux deux autres grandes familles de fuites**, à savoir les **fuites détectables et visibles**.

La Figure 19, la Figure 20 et la Figure 21 présentent quelques-uns des signaux de fuites rencontrés sur les secteurs d'étude, à travers trois événements modélisés sur un secteur exemple.

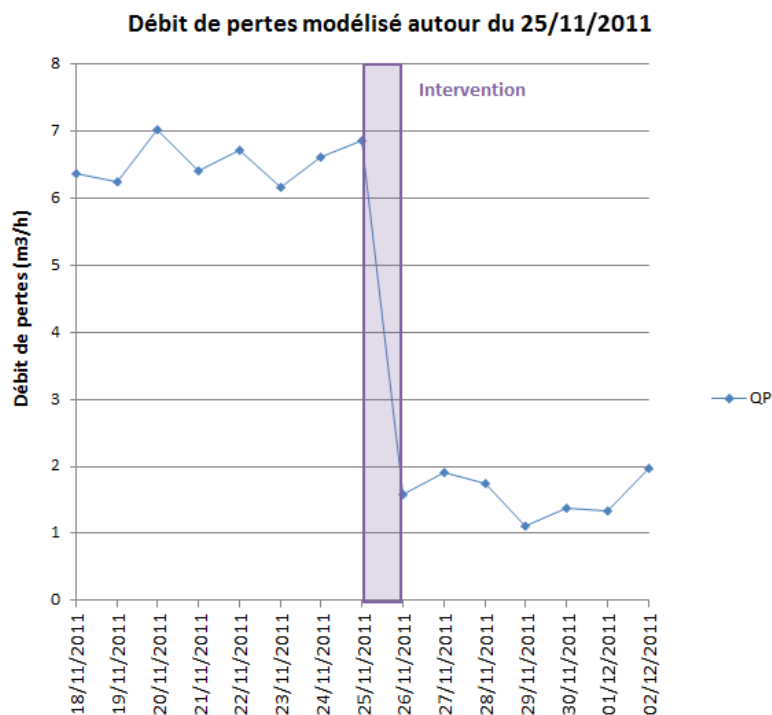


Figure 19 : Signal de fuite de type 1 et intervention du 25/11/2011 (secteur 72, SMAEP EDL)

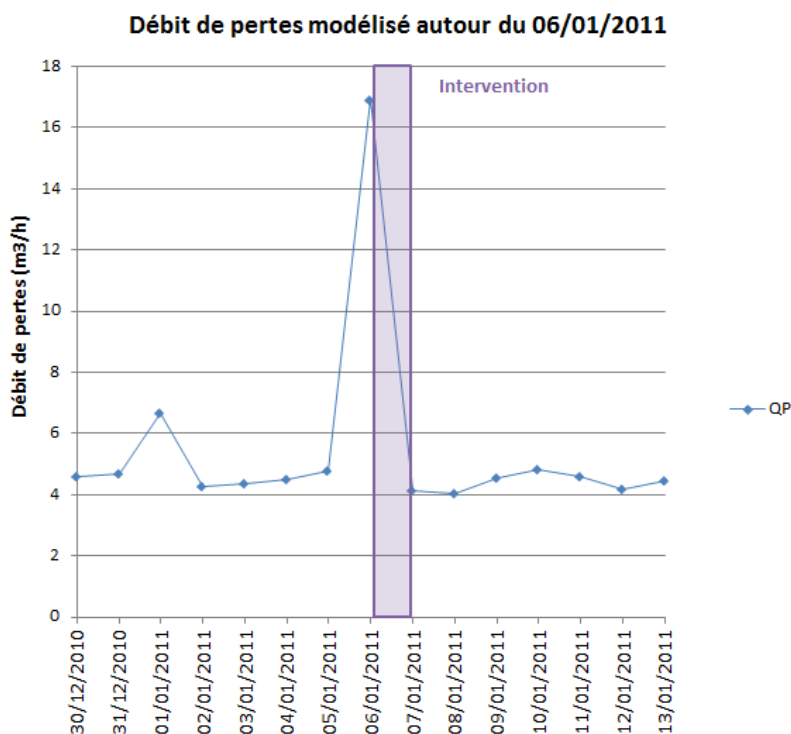


Figure 20 : Signal de fuite de type 2 et intervention du 06/01/2011 (secteur 72, SMAEP EDL)

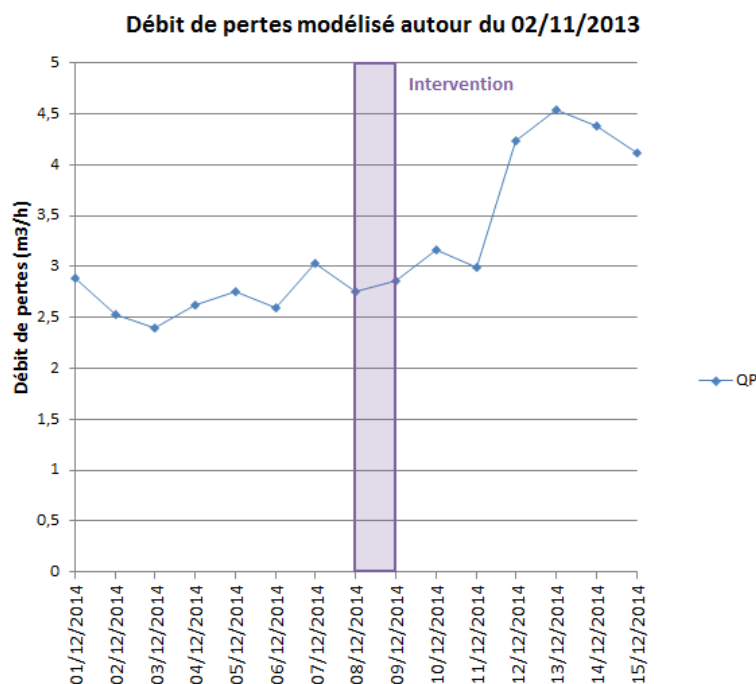


Figure 21 : Signal de fuite de type 3 et intervention du 02/11/2011 (secteur 72, SMAEP EDL)

Il apparaît clairement que, de par leur forme, ces trois types de fuites et l'évaluation des interventions qui ont suivi leurs signalisations ou détections respectives ne peuvent être appréhendés de la même manière. C'est pourquoi **deux méthodes de calcul des débits d'impacts des interventions ont été envisagées et sont détaillées dans les parties suivantes.**

### III.1.3.2 Mesure des impacts des interventions par un calcul hebdomadaire de débit économisé

Pour évaluer l'impact de l'intervention, on compare les valeurs des débits de pertes ante et post-intervention. Pour s'affranchir des fluctuations journalières parfois importantes du débit de pertes, ce calcul est effectué à l'échelle hebdomadaire, c'est-à-dire que la comparaison est réalisée entre la moyenne des sept jours précédant l'intervention et celle des sept jours suivant l'intervention. On obtient alors pour l'intervention  $I_n$ , placée conventionnellement au jour 7, un premier débit économisé brut  $Q_{eb\ hebd0}$  tel que :

$$Q_{eb\ hebd0} = \frac{(\sum_{j=0}^6 QP_j - \sum_{j=8}^{14} QP_j)}{7}$$

où  $QP_j$  représente le débit de pertes journalier moyen du jour  $j$ .

Pour chaque jour  $j$  sans intervention,  $QP_j$  peut être scindé en deux parties, l'une issue du NRRt, c'est-à-dire de la dérive naturelle du débit de pertes liée à la dégradation progressive du réseau, l'autre issue d'autres phénomènes plus ponctuels. **Il est nécessaire d'écarter cette part des pertes issues du NRRt**, afin de donner du sens à la valeur de débit économisé, dû au seul mécanisme de l'intervention. La prise en compte du NRRt dans la valeur des pertes induirait en effet une sous-estimation du débit de fuite avant l'intervention et sa surestimation après l'action.



On calcule alors  $QP_j'$  le débit de pertes journalier moyen affranchi du NRRt exprimé ainsi :  
 $\forall j \in [0,7[ \cup ]7,14]$ ,

$$QP_j' = QP_j - \frac{NRRt}{365} \times j$$

Le débit économisé final  $Q_{e \text{ hebdo}}$  est alors égal à la différence des moyennes hebdomadaires des  $QP_j'$  avant et après l'intervention :

$$Q_{e \text{ hebdo}} = \frac{(\sum_{j=0}^6 QP_j' - \sum_{j=8}^{14} QP_j')}{7}$$

$$Q_{e \text{ hebdo}} = \frac{(\sum_{j=0}^6 QP_j - \frac{21}{365} NRRt) - (\sum_{j=8}^{14} QP_j - \frac{77}{365} NRRt)}{7}$$

$$Q_{e \text{ hebdo}} = \frac{(\sum_{j=0}^6 QP_j - \sum_{j=8}^{14} QP_j + \frac{56}{365} NRRt)}{7}$$

La Figure 22 illustre le principe de la méthode hebdomadaire de calcul du débit économisé sur une intervention exemple.

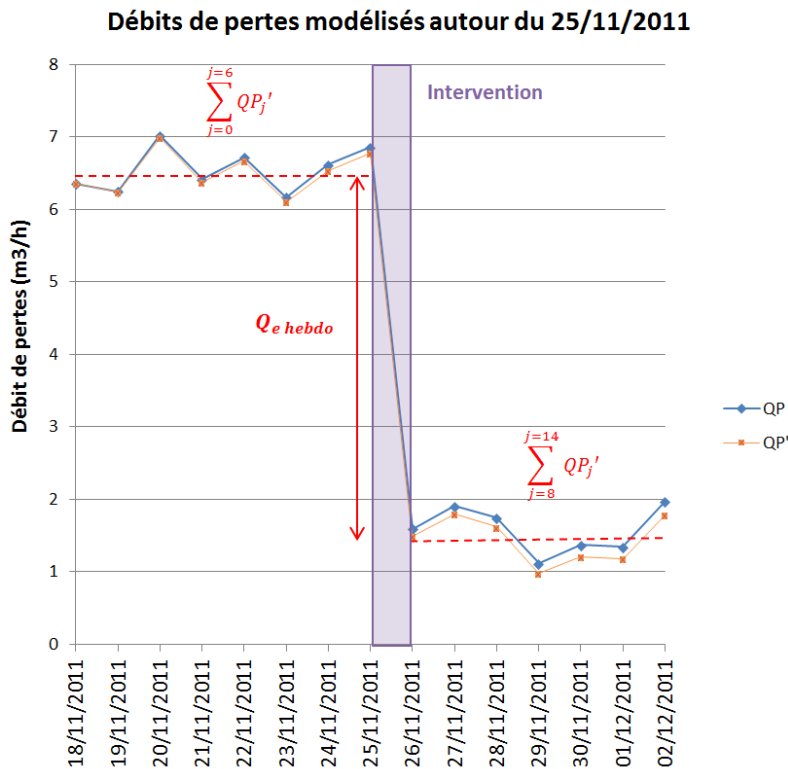


Figure 22 : Calcul du débit économisé par la méthode hebdomadaire sur une intervention exemple (intervention du 25/11/2011 sur le secteur 72 du SMAEP EDL)

### III.1.3.3 Mesure des impacts des interventions par un calcul journalier de débit économisé

Pour évaluer l'impact de l'intervention, on compare là encore les valeurs des débits de pertes ante et post-intervention. Le calcul est cette fois effectué à l'échelle journalière, c'est-à-dire que la comparaison est réalisée entre la valeur du débit de pertes du jour de l'intervention et celle du jour suivant l'intervention. On obtient alors pour l'intervention  $I_n$  ayant eu lieu le jour  $j$ , un débit économisé  $Q_{e \text{ jour } n}$  tel que :

$$Q_{e \text{ jour } n} = QP_j - QP_{j+1}$$

où  $QP_j$  représente le débit de pertes journalier moyen du jour  $j$ , jour de l'intervention, et  $QP_{j+1}$  représente le débit de pertes journalier moyen du jour  $j+1$ .

La Figure 23 illustre le principe de la méthode journalière de calcul du débit économisé sur une intervention exemple.

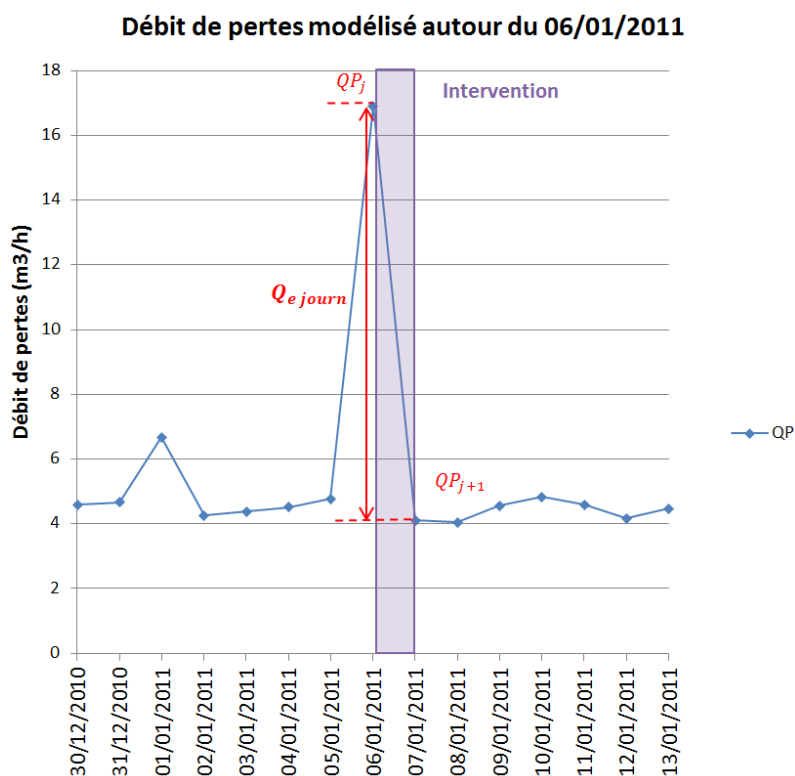


Figure 23 : Calcul du débit économisé par la méthode journalière sur une intervention exemple (intervention du 06/01/2011 sur le secteur 72 du SMAEP EDL)

### III.1.3.4 Classification des scénarii de fuites et interventions

Les deux méthodes de calcul abordées précédemment (cf. partie III.1.3.2 et III.1.3.3) permettent d'envisager une **classification des couples formés par les fuites détectables et visibles et leurs interventions**. Cette classification repose principalement sur la forme de l'évolution des débits de pertes modélisés autour du jour de l'intervention considérée, forme traduite notamment par les **valeurs de débits économisés** calculées par les deux approches. La Figure 24 présente le diagramme de classification résultant de l'analyse des chroniques de débits de pertes modélisés menée sur quelques secteurs d'études. Les figures associées aux catégories d'interventions sont des exemples fictifs de signaux et ne représentent pas de manière exhaustive tous les cas pouvant être rencontrés.

La classification propose quatre grandes catégories de relations fuite-intervention censées contenir tous les types de signaux liés à une intervention rencontrés dans les chroniques étudiées.

On distingue les cas suivants :

- **Les Interventions Manifestement Sans Effet (IMSE).** Les débits économisés obtenus par la méthode hebdomadaire et la méthode journalière sont tous les deux négatifs. On estime donc que **l'intervention n'a visiblement pas corrigé la fuite** responsable du pic de débit de pertes observé. **L'impact de l'intervention est considéré comme nul et n'est pas pris en compte.**
- **Les Interventions Effectives sur Fuites Subites (IEFS).** Le signal qui leur est associé est du type de celui présenté sur la Figure 23. Les Fuites Subites sont caractérisées par une **hausse soudaine et brutale du débit de pertes et l'intervention qui suit le phénomène est prompte** et permet en général de revenir rapidement dans la gamme des débits de pertes moyens observés sur les jours précédant la fuite. Pour traduire la géométrie d'un tel signal, plusieurs conditions empiriques doivent être remplies. On considère que l'événement est une IEFS si et seulement si il ne s'agit pas d'une IMSE et que :
  - Le débit économisé calculé par la méthode journalière ( $Q_{e \text{ journ}}$ ) est positif;
  - le débit économisé calculé par la méthode journalière ( $Q_{e \text{ journ}}$ ) est supérieur au débit économisé calculé par la méthode hebdomadaire ( $Q_{e \text{ hebdo}}$ );
  - le ratio du débit de perte le jour  $j$  de l'intervention ( $QP_j$ ) sur le débit de pertes hebdomadaire de la semaine précédant cette intervention ( $QP_{s-1}$ ) est supérieur à 1,1, l'idée étant de considérer comme subite une fuite qui génère une augmentation du débit de pertes de plus de 10% en un jour.**L'impact de l'intervention est considéré comme égal au débit économisé calculé par la méthode journalière ( $Q_{e \text{ journ}}$ ).**
- **Les Interventions Effectives sur Fuites Non-Subites (IEFNS).** Le signal qui leur est associé est du type de celui présenté sur la Figure 22. L'intervention occasionne une **baisse significative et relativement durable du débit de pertes par rapport aux débits moyens de pertes des jours précédant l'intervention**. Pour traduire la géométrie d'un tel signal, plusieurs conditions empiriques doivent être remplies. On considère que l'événement est une IEFNS si et seulement si il ne s'agit ni d'une IMSE, ni d'une IEFS et que :
  - Le débit économisé calculé par la méthode hebdomadaire ( $Q_{e \text{ hebdo}}$ ) est supérieur ou égal à 0;

- Le débit économisé calculé par la méthode journalière ( $Q_{e \text{ journ}}$ ) est supérieur ou égal à 0.

**L'impact de l'intervention est considéré comme égal au débit économisé calculé par la méthode hebdomadaire ( $Q_{e \text{ hebdo}}$ ).**

- **Les Interventions Probablement Sans Effet (IPSE).** Elles constituent la dernière catégorie d'interventions en regroupant tous les autres signaux restants. Comme pour l'IMSE, aucune baisse significative du débit de pertes n'est visible le jour de l'intervention. On considère que l'événement est une IPSE si et seulement si il ne s'agit ni d'une IMSE, ni d'une IEFNS, ni d'une IEFNS et que :

- Le débit économisé calculé par la méthode hebdomadaire est ( $Q_{e \text{ hebdo}}$ ) est inférieur ou égal à 0.

**L'impact de l'intervention est considéré comme nul et n'est pas pris en compte.**

Cette classification des couples fuites et interventions rencontrés en contexte opérationnel rend possible l'évaluation des impacts de chaque intervention répertoriée sur les secteurs d'étude et permet également d'envisager une estimation des volumes perdus par type de fuite.

## Classification opérationnelle des couples fuites interventions

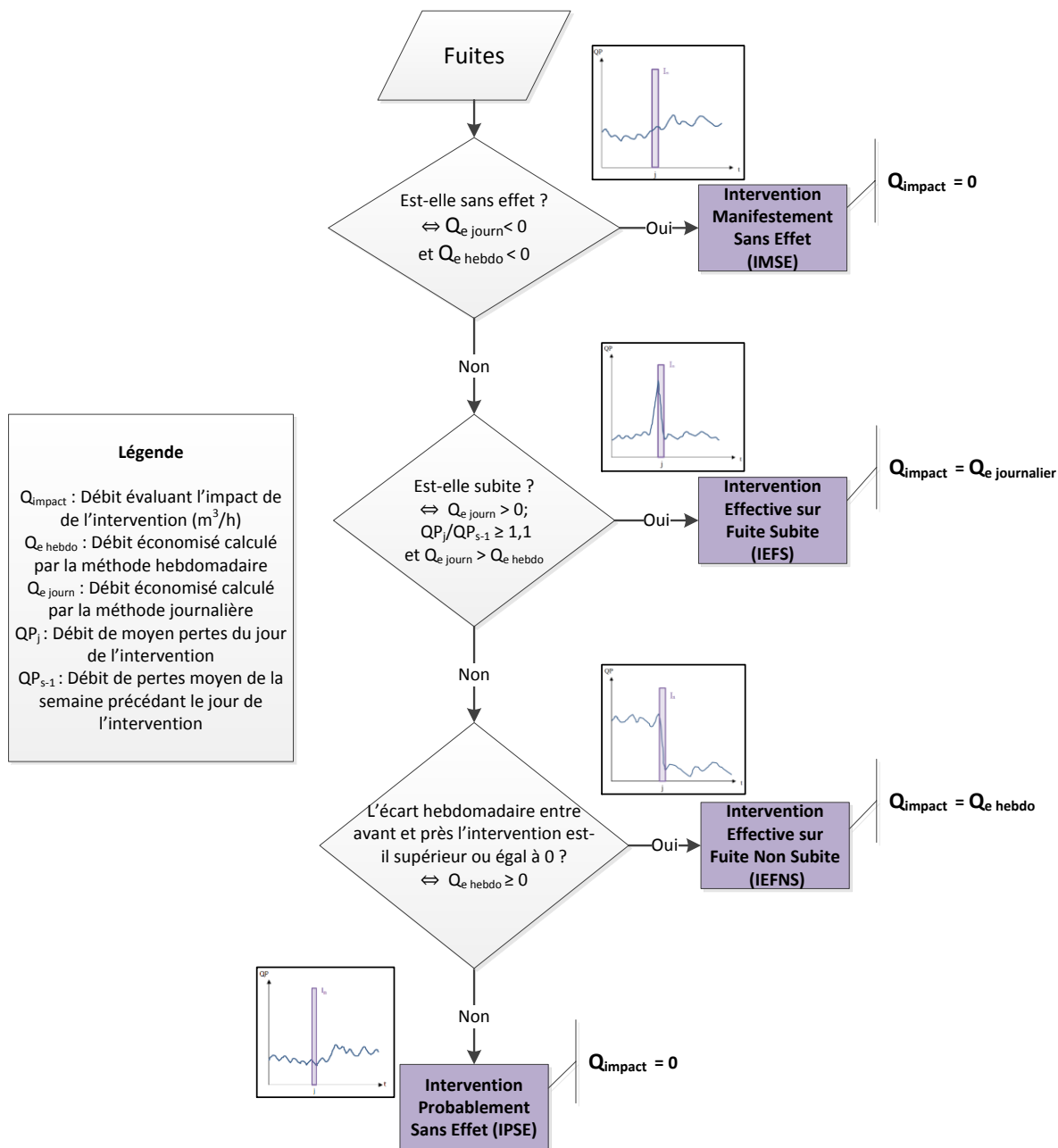


Figure 24 : Classification des couples fuites et interventions

### III.1.3.5 Evaluation des volumes perdus par type de fuites

Quatre types de volumes perdus ont été calculés sur les secteurs d'étude et sont présentés dans les points suivants :

- **Le volume des pertes total**,  $V_{pertes}$ , qui correspond aux volumes perdus par le secteur sur toute la période d'étude D. Il est calculé de la manière suivante :

$$V_{pertes} = \overline{QP_j} \times D$$

où  $\overline{QP_j}$  est la moyenne des débits de pertes journaliers sur la période D de calcul.

- **Le volume des pertes attribuables aux fuites considérées comme non-réparées**,  $V_{ref}$  qui correspond aux pertes dues aux fuites diffuses et à celles qui n'ont pas été détectées ou signalées sur la période D. Son calcul s'appuie sur une estimation du débit de pertes hebdomadaire ( $QP_s$ ). La formulation de  $V_{ref}$  est la suivante :

$$V_{ref} = Min(QP_s) \times T$$

- **Le volume des Fuites Subites**  $V_{FS}$ , qui correspond aux volumes perdus attribuables aux Fuites Subites. Ce volume est calculé en considérant qu'une Fuite Subite est réparée sous 24h. On calcule au préalable le débit moyen des Fuites Subites par secteur  $Q_{FS}$ . Le Volume  $V_{FS}$  est alors obtenu par :

$$V_{FS} = Q_{FS} \times N_{FS}$$

où  $N_{FS}$  représente le nombre de Fuites Subites répertoriées sur la période D

- **Le Volume des Fuites Non-Subites**  $V_{FNS}$ , qui correspond aux pertes non attribuables aux fuites non-réparées et aux Fuites Subites. On calcule donc un volume des fuites non-subites  $V_{FNS}$  comme suit :

$$V_{FNS} = V_{pertes} - V_{ref} - V_{FS}$$

La Figure 25 fournit une illustration de ces volumes sur une chronique reconstituée à partir de différents morceaux de la chronique des débits de pertes modélisés établie sur un secteur réel.

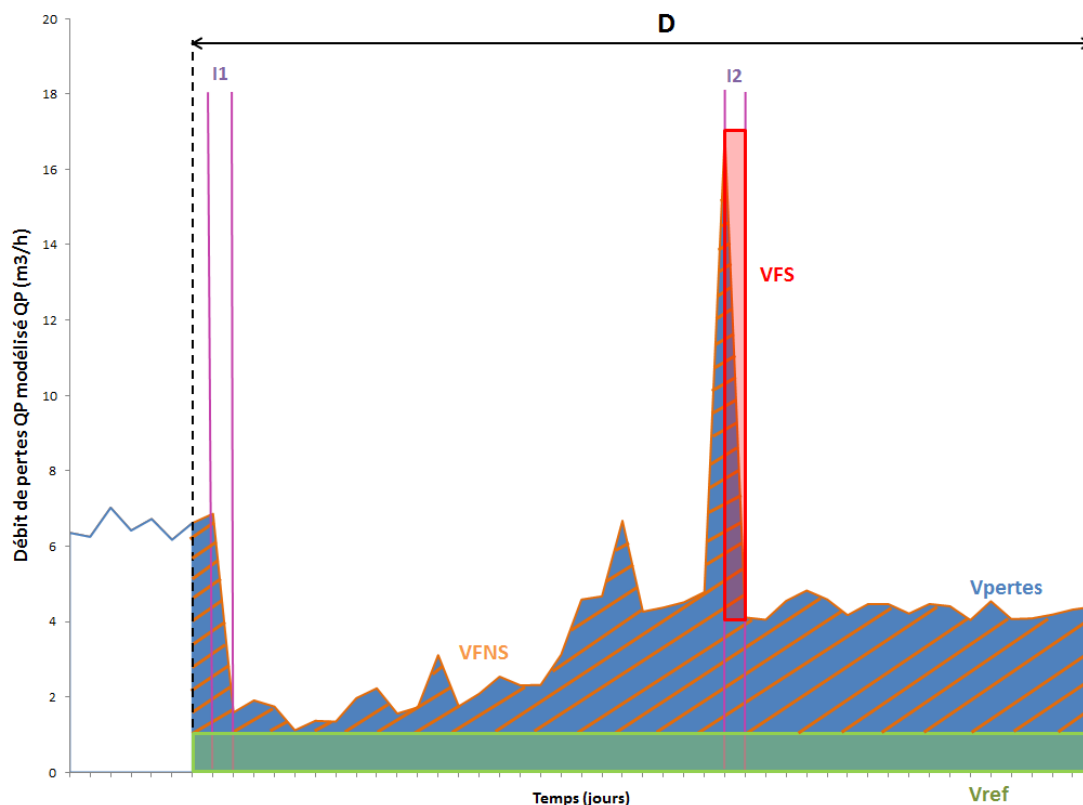


Figure 25 : Les différents volumes perdus calculés par type de fuite représentés sur une chronique reconstituée à partir de débits de pertes modélisés sur un secteur réel (secteur 72, SMAEP EDL)

Posséder une estimation du volume des Fuites Non-Subites  $V_{FNS}$  permet d'évaluer la durée moyenne d'écoulement des Fuites Non-Subites  $d_{FNS}$ . Ce paramètre peut alors servir à comparer les secteurs en termes de rapidité de détection et de réparation de cette classe de fuites. On calcule  $d_{FNS}$  de la manière suivante :

$$d_{FNS} = \frac{V_{FNS}}{Q_{FNS} \times N_{FNS}}$$

où  $Q_{FNS}$  est le débit moyen des Fuites Non-Subites et  $N_{FNS}$  est le nombre de Fuites Non-Subites répertoriées sur le secteur durant la période D.

## III.2 Résultats

L'ensemble des méthodes et protocoles décrits précédemment (cf. partie II.1 à partie III.1) ont été appliqués sur les données de quelques secteurs d'étude sélectionnés selon des critères de qualité et de disponibilité des données. Il s'agit des secteurs suivants :

- Secteurs AUVERS100, VILJU150, VELIZ206 et PALAI190 pour le réseau du SEDIF
- Secteurs 25, 41, 43, 72, 73, 75 et 77 pour les réseaux du SMAEP EDL

### III.2.1 Confrontation des données de consommations issues de la télérelève et des débits de sectorisation sur quelques secteurs

En théorie, la différence entre les débits transitant dans le réseau représentés par les données de sectorisation (cf. partie II.1 et partie III.1.1) et les consommations exprimées par les données de télérelève (cf. partie II.2) devrait donner les pertes sur le secteur étudié. Bien qu'en pratique cette comparaison puisse s'effectuer au pas de temps horaire, la comparaison est ici réalisée au pas de temps journalier, d'abord car il s'agit de l'échelle de travail privilégiée pour l'analyse de l'impact des interventions, mais également dans le but de limiter les imprécisions dues aux décalages temporels possibles entre les deux types de données.

La Figure 26 et la Figure 27 présentent parallèlement les débits de consommations télérelevés ( $QC_{\text{nuit télérelève}}$  et  $QC_{\text{jour télérelève}}$ ) et les débits de sectorisation de jour et de nuit ( $Q_{\text{nuit j}}$  et  $Q_{\text{jour j}}$ ) sur deux secteurs exemples.

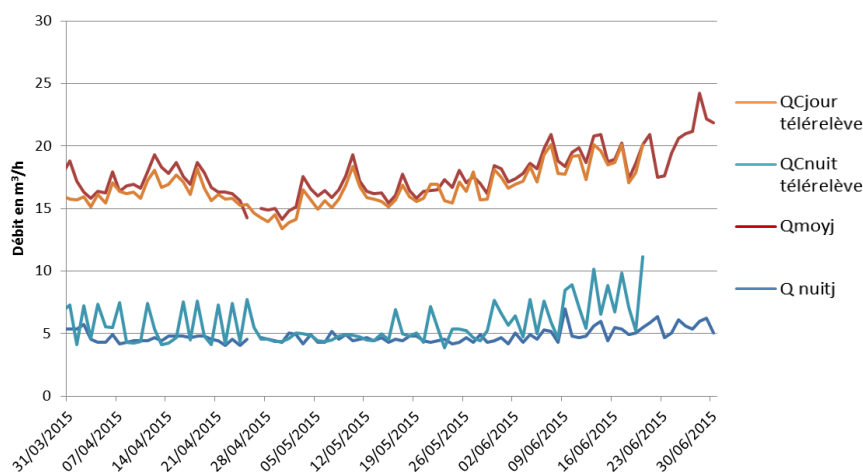
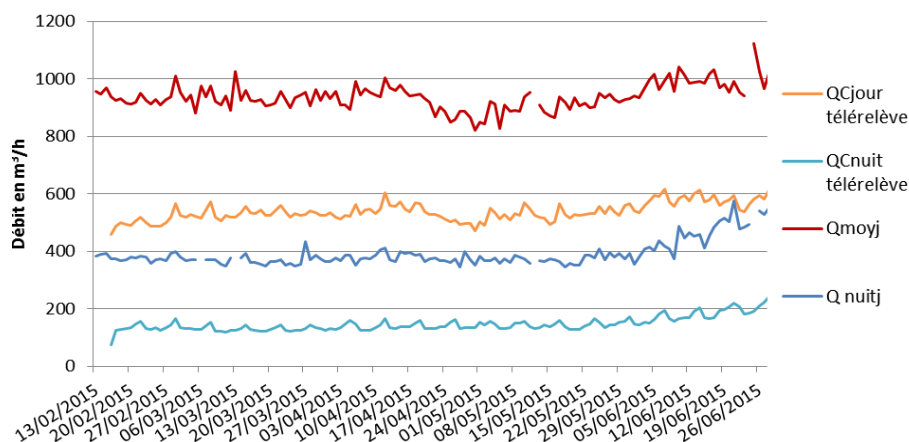


Figure 26 : Débits de sectorisation et consommations télérelevées d'avril à Juin 2015 (Véliz206, SEDIF) (GOURLAOUEN, 2016)





**Figure 27 : Débits de sectorisation et consommations télérelevées de février à Juin 2015 (Vilju150, SEDIF) (GOURLAOUEN, 2016)**

Sur ces deux secteurs, les résultats obtenus ne sont pas comparables. Alors que sur l'un les consommations et les débits de sectorisation sont quasiment confondus, avec même, en particulier pour les débits nocturnes, des consommations quasiment toujours supérieures aux débits du secteur (ce qui est rigoureusement impossible en réalité), sur l'autre on observe des écarts très élevés entre les deux catégories de débits journaliers et de débits nocturnes, indicatifs de pertes surréalistes (environ la moitié du débit journalier moyen du secteur serait perdue).

Compte tenu de tels résultats, **il paraît difficile de s'appuyer directement sur les données de télérelève issues des seuls pré-traitements** décrits dans la partie II.2 **pour réaliser les calculs de pertes**, bien qu'on ne puisse pas conclure de manière certaine que le manque de cohérence vienne de ces données et non pas des débits de sectorisation. **Des travaux exploratoires supplémentaires sur le traitement des informations de télérelève ont été menés** et sont abordés dans la partie III.2.3.1.

Toutefois, sans prendre en compte l'ordre de grandeur même des données télérelevées, les fluctuations journalières de ces dernières sont tout de même intervenues dans la validation des modèles de consommation réalisée dans la partie III.2.2.

### **III.2.2 Modélisation des consommations et des pertes par la méthode « à consommation nocturne proportionnelle »**

#### **III.2.2.1 Les méthodes de calcul du coefficient $\alpha_0$**

Trois approches de calcul du coefficient de consommations  $\alpha_0$  ont été abordées dans la partie III.1.2.2 (méthode des consommations annuelles, méthode analytique et méthode itérative de calage conjoint du NRRt et de  $\alpha_0$ ). **L'analyse des écarts entre les consommations issues des différentes modélisations et celles provenant des données de télérelève sur 10 des 11 secteurs étudiés a montré que les modèles s'appuyant sur le calcul de  $\alpha_0$  par la méthode des consommations annuelles donnent les résultats les plus satisfaisants.** Malgré des résultats encourageants sur quelques secteurs (notamment soumis à de fortes variabilités saisonnières des consommations), **la méthode de calcul analytique du coefficient  $\alpha_0$  est très sensible à la période de calcul choisie et aux variations de comportements des usagers.** Cette approche manque donc de robustesse pour être validée comme

approche de calcul reproductible et stable pour construire les modèles de consommations. Enfin, **l'approche itérative converge rarement vers des valeurs vraisemblables pour  $\alpha_0$ . Elle n'est donc pas encore opérationnelle et ne peut être utilisée dans la modélisation des consommations à l'heure actuelle.**

### *III.2.2.2 Mise en doute de l'hypothèse de croissance annuelle uniforme du NRRt*

Sur les quatre méthodes d'évaluation du NRRt évoquées dans la partie III.1.2.3, trois proposent de calculer une valeur annuelle de ce paramètre, censé augmenter de manière constante tout au long de l'année. L'approche de calage conjoint de NRRt et de  $\alpha_0$  est la seule méthode à envisager un pas de temps plus fin pour le calcul, à savoir une période de plus de 20 jours entre deux interventions. Si cette dernière approche n'est pas encore opérationnelle aujourd'hui, son principe résulte tout de même d'**interrogations sur la fiabilité d'une estimation annuelle et constante** de ce paramètre. En effet, on constate assez fréquemment des valeurs aberrantes du NRRt calculé par ces méthodes annuelles, ce qui laisse à penser que **l'échelle temporelle envisagée n'est peut-être pas la plus représentative de la réalité du phénomène physique.**

### *III.2.2.3 Hypothèse de proportionnalité entre consommations nocturnes et journalières : effet « week-end » et cas des grands secteurs*

**L'hypothèse de proportionnalité entre les consommations nocturnes et journalières d'un secteur utilisée jusqu'à présent dans les travaux menés est une hypothèse forte. Cette hypothèse a cependant déjà été mise en doute à plusieurs niveaux :**

- **« Effet week-end » :** on remarque souvent dans les données de consommations nocturnes télérelevées des pics assez réguliers au niveau des fins de semaine. Or, aucune augmentation des consommations nocturnes la veille des jours non-travaillés n'est pour l'instant prise en compte dans le calcul du  $\alpha_0$  et ne permet pas d'inclure ce phénomène dans les modèles. Il s'agit d'une piste de réflexion pour la suite de ce travail.
- **Grands secteurs et multiplicité d'usagers :** ce cas a notamment été rencontré sur le secteur Vilju150 comportant plus de 210 km de canalisation et 14 139 branchements. Les grands secteurs regroupant un nombre élevé de consommateurs non-standards (hôpitaux, industriels, commerces...) ne constituent pas des terrains d'application très adaptés à l'utilisation de la méthode de calcul « à consommation nocturne proportionnelle ». Ces usagers atypiques n'ont en effet pas le même mode de consommation que les ménages et le lien entre leurs utilisations nocturnes et journalières de la ressource n'est pas semblable à celui des abonnés standards. La Figure 28 présente les parts respectives délivrées à différentes catégories d'abonnés sur le secteur Vilju150.

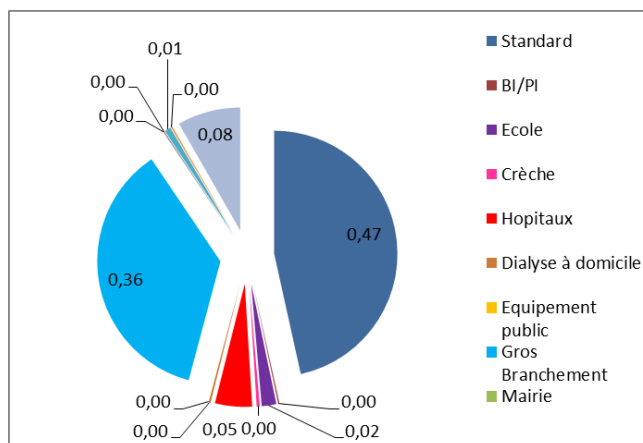


Figure 28 : Répartition des volumes consommés par catégorie d'abonnés en 2014 (Vilju150, SEDIF) (GOURLAOUEN, 2016)

### III.2.3 Travaux supplémentaires sur les données de télérelève

#### III.2.3.1 Analyse des consommations par classes de consommateurs

La dernière étape du traitement primaire des données de télérelève (cf. partie II.2.8) consiste en une **extrapolation des consommations enregistrées par les compteurs retenus** à l'issue des différents filtres (filtrage des compteurs a priori trop défectueux) **à l'ensemble réel des consommations du secteur**. La démarche retenue initialement pour cette phase exploitait un simple coefficient de proportionnalité entre un premier débit de consommations du secteur sous-estimant, issu des données de télérelève retenues et traitées, et un débit extrapolé du secteur, censé représenter la consommation réelle de tous les abonnés. Comme dans le cas de l'hypothèse de proportionnalité entre les consommations nocturnes et journalières, **cette manière de procéder est remise en cause dès lors que des consommateurs non-standards sont rattachés au secteur. On ne peut pas évaluer la consommation réelle d'un secteur sans connaître le nombre et les habitudes de consommation de chacun des abonnés atypiques du secteur, sous peine de parvenir in fine à un débit de consommations très loin de la réalité et qui impliquera le calcul d'un débit de pertes encore plus faux**. Le problème est d'autant plus important que ces abonnés non-standards sont en général de gros consommateurs et influencent donc d'autant plus les débits du secteur.

Pour pallier ce problème d'extrapolation, un **travail d'analyse des consommations par classe de consommateurs a été lancé, afin de constituer des groupes d'abonnés de même profil sur lesquels s'appuyer pour reconstruire un débit de consommations des secteurs plus représentatif de la réalité**.

Le Tableau 2 montre le classement des consommateurs en fonction du volume annuel envisagé pour l'instant.

	Volume annuel (m <sup>3</sup> )
<b>Classe 1</b>	≤ 150
<b>Classe 2</b>	Compris entre 150 et 400
<b>Classe 3</b>	Compris entre 400 et 800
<b>Classe 4</b>	> 800
<b>Classe 5</b>	Pas de donnée

Tableau 2 : les cinq classes d'abonnés envisagées pour la description des consommations du secteur

### III.2.3.2 Travaux exploratoires sur les liens entre consommations et paramètres météorologiques

Pour **affiner notre connaissance de l'évolution des consommations** et ainsi **perfectionner nos modèles**, des travaux exploratoires sont en cours pour essayer d'identifier des corrélations éventuelles entre les consommations des abonnés et les paramètres météorologiques, notamment la température et la pluviométrie.

Les résultats obtenus à ce jour tendent à mettre en évidence une **corrélation positive assez forte entre la température moyenne journalière et le débit de consommation journalier moyen**. Le lien est moins évident avec les débits nocturnes journaliers.

### III.2.4 Estimation de l'impact des interventions sur les débits de pertes

Le calcul des débits de pertes à partir des modèles de consommations et le classement des interventions (cf. respectivement parties III.1.2 et III.1.3) permet de tenter une hiérarchisation des secteurs étudiés, des matériaux utilisés, des diamètres rencontrés et des types de fuites en fonction du débit économisé.

Sur les quelques secteurs étudiés, nos premières analyses tendent à montrer que :

- la baisse des débits de pertes suite aux interventions effectuées est significativement plus importante sur les canalisations en fonte que sur celles en PVC.
- l'âge moyen du secteur ne semble pas être directement corrélé au débit économisé;
- les débits impliqués dans les fuites sur branchements sont globalement moins élevés que sur les canalisations;
- **il existe vraisemblablement une corrélation positive entre le taux d'interventions sans effet et la taille du linéaire du secteur**. Ce dernier point est abordé ci-après.

Le taux d'interventions sans effet  $TX_{SE}$  est défini comme suit :

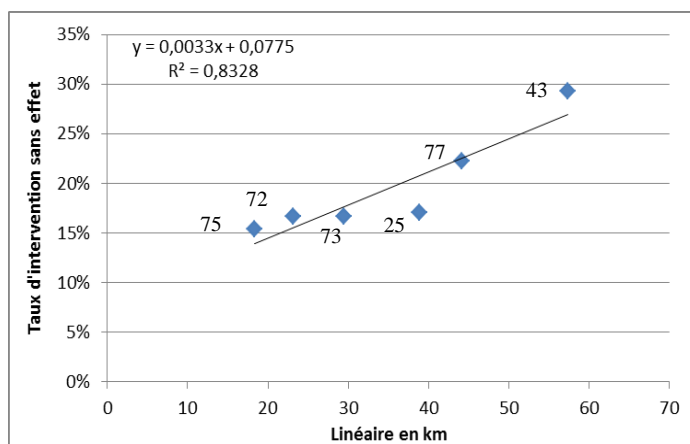
$$TX_{SE} = \frac{N_{IMSE} + N_{IPSE}}{N_{I\ tot}}$$

où  $N_{ISME}$  est le nombre d'Interventions Manifestement Sans Effet ayant eu lieu sur le secteur pendant la période choisie (cf. partie III.1.3);

$N_{IPSE}$  est le nombre d'Interventions Probablement sans Effet ayant eu lieu sur le secteur pendant la période choisie (cf. partie III.1.3);

$N_{I\ tot}$  est le nombre d'interventions totales ayant eu lieu sur le secteur pendant la période choisie.

La Figure 29 présente une régression linéaire effectuée entre les taux d'interventions sans effet et le linéaire de canalisations sur six secteurs du SMAEP EDL.



**Figure 29 : Régression linéaire entre le taux d'interventions sans effet et le linéaire du secteur lancée sur six secteurs du SMAEP EDL (GOURLAOUEN, 2016)**

## IV Bilan

### IV.1 Analyse critique des méthodes et des résultats

Les **conclusions partielles et les premiers résultats de l'étude présentés dans la partie précédente** (cf. partie III.2) **sont à considérer avec prudence**. Ils ont en effet été obtenus par un **examen concentré sur peu de secteurs d'étude et sur un nombre restreint de données**.

**L'un des principaux enjeux** concerne en particulier **la fiabilisation des données de télérelève**.

**Le premier obstacle à lever est celui de l'affectation des PDS** (points de livraison) **aux secteurs d'étude** et de la **fiabilité des liens module, branchement, PDS et secteur**. Ce point est incontournable dans le processus de valorisation des données de télérelève et des solutions sont à construire dans la suite du programme de travail.

Par ailleurs, la **confiance accordée jusqu'à présent à ces données a été limitée**, principalement en raison du **foisonnement de compteurs équipés douteux** qui ont dû être soit traités par des filtres spécifiques, soit écartés définitivement de la sélection des appareils informateurs. Le fait d'utiliser une population incomplète de compteurs télérelevés a aussi soulevé la question d'élaboration d'un processus d'extrapolation pour parvenir à estimer la consommation globale du secteur réel et pouvoir ainsi confronter ces données directement mesurées au pas de temps horaire avec les modélisations réalisées par des méthodes plus indirectes.

### IV.2 Programme de travail 2017

**En premier lieu, il conviendra de compléter et de fiabiliser les données recueillies puis, sur cette base, d'améliorer et valider les méthodes de traitement.**

A partir de là, il faudra **poursuivre la recherche sur les trois axes thématiques du renouvellement, de la sectorisation et des pressions des réseaux**.

Concernant **l'axe renouvellement**, il s'agira notamment d'**aller plus loin dans l'analyse statistique et spatiale des liens entre l'impact des interventions et les caractéristiques du patrimoine** en confortant ou en infirmant les premiers résultats évoqués dans la partie III.2.4. Sont également envisagées la **mise en œuvre d'une prévision des casses futures** et l'**évaluation, à différentes échelles temporelles, des volumes économisés résultant d'une stratégie de renouvellement**. Ces travaux seront notamment réalisés dans le cadre d'un stage de fin d'études d'élève ingénieur.

**L'élaboration et la validation d'une méthode reproductible de modélisation des consommations et des pertes d'un secteur** à partir des méthodes actuellement testées devrait permettre de **poursuivre les explorations sur la relation entre le niveau de sectorisation**, assimilable ici à la taille du secteur, **et l'efficacité des actions de lutte contre les pertes**.

**La recherche concernant l'axe des pressions est limitée par les données actuellement disponibles**. Sans données supplémentaires provenant d'expériences de terrain, le travail ne pourra vraisemblablement pas dépasser le calcul d'une pression moyenne pour les différents secteurs d'étude et une recherche de base des liens éventuels existant entre les pressions et les indicateurs de pertes.



## V Bibliographie

AUBRUN C. & al. **Efficacité des actions de réduction des pertes des réseaux d'AEP : Synthèse bibliographique.** *Irstea*, 2015. 42 p.

GOURLAOUEN C. « **Modélisation des débits de nuit des secteurs d'eau potable dans le but d'évaluer l'efficacité des actions de réduction des pertes** ». Mémoire de fin d'étude ENGEES en convention avec Irstea, 2016. 76 p.

KIRBY R. & al. **Natural Rate of Rise in Leakage.** *UK Water Industry Research Limited*, 2006. 53 p.

LEE V. & al. **Factors Affecting the Natural Rate of Rise in Leakage.** *UK Water Industry Research Limited*, 2009. 83 p.

PILLOT J. & al. **A method of analyzing night consumption in DMA's with high levels of seasonal variation.** *Irstea*, 2014. 11p.

RENAUD E. & al. **Réduction des fuites dans les réseaux d'alimentation en eau potable : Systèmes d'indicateurs et méthodologie pour la définition, la conduite et l'évaluation des politiques contre les fuites dans les réseaux d'eau potable.** *Irstea, ONEMA, UMR GESTE ENGEES*, 2012. 68 p.

THORNTON J. & LAMBERT A. **Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships.** In *Proceedings of IWA Special Conference Leakage*, 2004. p. 12-14