



**SYNDICAT MIXTE D'ETUDES
POUR LA GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU
DU DEPARTEMENT DE LA GIRONDE (SMEGREG)**

**ANALYSE DES PERTES DANS LES RESEAUX
PUBLICS D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE**

RAPPORT FINAL

Décembre 2004

| | |
|--|-----------|
| I. PREAMBULE | 3 |
| A. Contexte..... | 3 |
| B. Les données et leur expression..... | 3 |
| 1. Les données..... | 3 |
| 2. Expression des données..... | 4 |
| II. ETUDE DE CAS | 5 |
| A. SIAEP de la Vallée de l'Isle..... | 5 |
| 1. Caractéristiques du syndicat..... | 5 |
| 2. Description de la sectorisation | 5 |
| 3. Traitement et analyse des données issues de la sectorisation..... | 7 |
| 4. Exploitation des données..... | 9 |
| 5. Premiers enseignements | 13 |
| B. SIEA du canton de Guîtres..... | 14 |
| 1. Caractéristiques du syndicat..... | 14 |
| 2. Description de la sectorisation | 15 |
| 3. Analyse des données issues de la sectorisation | 19 |
| 4. Exploitation des données..... | 24 |
| 5. Premiers enseignements | 27 |
| III. PRECONISATIONS | 28 |
| A. Conception et mise en œuvre de la sectorisation..... | 28 |
| 1. Débit minimal du compteur..... | 29 |
| 2. Incertitude de la mesure | 31 |
| 3. Incertitude sur le calcul du PseudoIPL..... | 36 |
| 4. Exemples de calculs d'incertitude..... | 38 |
| B. Recueil des données..... | 41 |
| 1. Données relatives au système et à son fonctionnement. | 41 |
| 2. Données relatives aux mesures | 43 |
| C. Implication des acteurs | 47 |
| 1. Concepteurs et constructeurs..... | 47 |
| 2. Maîtres d'ouvrages et exploitants | 47 |
| 3. Acteurs de la mise en oeuvre du SAGE | 48 |

I. PREAMBULE

A. Contexte

Dans le cadre de la convention de partenariat passée avec le SMEGREG, le Cemagref analyse les données mises à sa disposition par les syndicats d'alimentation en eau potable du canton de Guîtres et de la Vallée de l'Isle. L'objectif est de mettre en perspective les niveaux de fuites et les caractéristiques des réseaux.

Le présent rapport a pour objectif de faire le point sur les résultats obtenus à partir des données collectées et sur les premiers enseignements qui peuvent en être tirés.

B. Les données et leur expression

1. Les données

Les informations utilisées dans le cadre de l'étude comprennent :

- Les informations structurelles décrivant le réseau et les installations
- Le descriptif technique et fonctionnel de la sectorisation
- Les données issues de la sectorisation
- Les informations relatives à l'exploitation

a) Informations structurelles

Les informations recherchées au niveau de chaque secteur sont :

- Caractéristiques des conduites :
 - Diamètre
 - Date de pose
 - Matériaux
 - Longueur de chacun des sous-ensembles
- Nombre de branchements
- Nombre d'appareils de fontainerie
- Pression de service moyenne du secteur
- Informations sur les abonnés :
 - Nombre d'abonnés
 - Gros consommateurs
 - Consommateurs nocturnes

b) Descriptif technique et fonctionnel de la sectorisation

- Zonage de la sectorisation
- Positionnement et informations techniques sur les comptages
- Formule de calcul des débits des secteurs

c) Données issues de la sectorisation

Les informations ont été recueillies au pas de temps horaire. A cet effet, le Cemagref a fait procéder à ses frais aux adaptations nécessaires des appareils d'acquisition et de traitement installés par les syndicats.

Les débits sont calculés au niveau de chaque secteur, il convient toutefois de disposer des informations pour chaque comptage.

- Débit horaire
- Volume journalier
- Volume nocturne
- Débit horaire minimum

d) Informations relatives à l'exploitation

- Historique des interventions sur réseau
- Chronique des consommations atypiques (utilisation poteaux incendie, purges, ...)
- Aléas perturbant la mesure (pannes, by-pass, ...)

2. Expression des données

Pour permettre la permanence de la méthode et autoriser des comparaisons, l'expression des données collectées et les ratios utilisés ont été fixés.

a) Données collectées

Elles ont été exprimées au pas de temps horaire.

- Débit moyen horaire journalier Q_{moyen} : volume horaire moyen sur la période de 0 h à 24 h
- Débit moyen horaire nocturne Q_{nuit} : volume horaire moyen sur la période de 0 h à 5 h
- Débit horaire minimum Q_{mini} : Débit minimum sur la période de 0 h à 5 h

b) Ratios utilisés

- **PseudoIPL** : Il s'agit d'un ratio s'apparentant à l'indice linéaire de perte mais qui de plus intègre les consommations nocturnes des usagers. Selon les données disponibles et leur fiabilité, il peut être calculé à partir du débit moyen nocturne ou du débit minimum.

$$\text{PseudoIPL} = Q_{\text{nuit}} \times 24 / L_{\text{réseau}} \text{ en m}^3/\text{km.j}$$

- **Pseudo rendement** : De la même façon ce ratio qui s'apparente au rendement primaire, assimile les consommations nocturnes des usagers à des pertes.

$$\text{Pseudo rendement} = Q_{\text{moyen}} - Q_{\text{nuit}} / Q_{\text{moyen}}$$

- **Densité linéaire d'abonnés** = $N_{\text{abonnés}} / L_{\text{réseau}}$ en u/km

- **Taux linéaire d'intervention** = $N_{\text{interventions annuel}} / L_{\text{réseau}}$ en u/km.an

II. ETUDE DE CAS

A. SIAEP de la Vallée de l'Isle

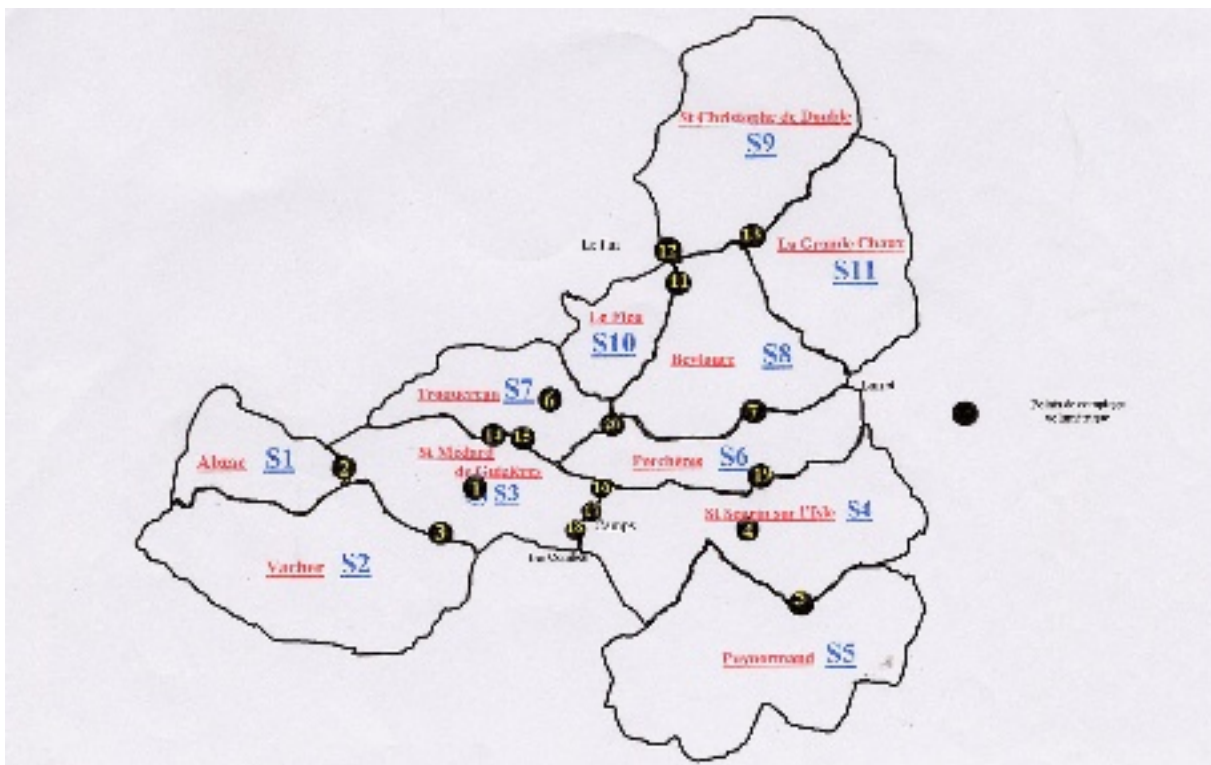
1. Caractéristiques du syndicat

- 3 forages de 120 m³/h captant l'éocène
- 5 500 abonnés
- 810 000 m³ produits
- 590 000 m³ consommés
- 300 km de réseau
- Rendement primaire : 73 %
- Indice linéaire de pertes hors branchements : 2 m³/j.km

2. Description de la sectorisation

Le syndicat a été scindé en 11 secteurs à partir de 24 appareils de mesures :

- 7 compteurs (stations de pompage)
- 10 débitmètres (réseau)
- 7 sondes de niveau (réservoirs)



a) Caractéristiques des secteurs

| Désignation du secteur | Nombre d'abonnés | Longueur réseau (km) | Nombre de comptages |
|------------------------|------------------|----------------------|---------------------|
| 1 Abzac | 592 | 12 | 1 |
| 2 Vacher | 121 | 8 | 1 |
| 3 St Medard | 1 160 | 43 | 10 |
| 4 St Seurin | 1 602 | 54 | 8 |
| 5 Puynormand | 411 | 41 | 2 |
| 6 Porcheres | 573 | 31 | 5 |
| 7 Troquereau | 448 | 27 | 4 |
| 8 Beytour | 164 | 21 | 4 |
| 9 St Christophe | 164 | 31 | 2 |
| 10 Fieu | 197 | 22 | 1 |
| 11 La Grande Chaux | 29 | 8 | 1 |

Les données relatives aux caractéristiques des conduites et à l'historique des interventions ne sont pas disponibles à l'échelle du secteur.

b) Formules de comptage

| Comptages | SECTEURS | | | | | | | | | | |
|----------------|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 | S10 | S11 |
| V 1 | | | 1 | | | | | | | | |
| V 2 | 1 | | -1 | | | | | | | | |
| V 3 | | 1 | -1 | | | | | | | | |
| V 4 | | | | 1 | | | | | | | |
| V 5 | | | | -1 | 1 | | | | | | |
| V 6 | | | | | | | 1 | | | | |
| V 7 | | | | | | -1 | | 1 | | | |
| V 11 | | | | | | | | -1 | | 1 | |
| V 12 | | | | | | | | -1 | 1 | | |
| V 13 | | | | | | | | | -1 | | 1 |
| V 14 | | | -1 | | | | | 1 | | | |
| V 15 | | | -1 | | | | | 1 | | | |
| V 16 | | | -1 | 1 | | | | | | | |
| V 17 | | | -1 | 1 | | | | | | | |
| V 18 | | | -1 | 1 | | | | | | | |
| V 19 | | | | -1 | | 1 | | | | | |
| V 20 | | | | | | 1 | -1 | | | | |
| R 1 (400 m 3) | | | -1 | | | | | | | | |
| R 2 (250 m 3) | | | -1 | | | | | | | | |
| R 3 (1000 m 3) | | | | -1 | | | | | | | |
| R 4 (450 m 3) | | | | -1 | | | | | | | |
| R 5 (400 m 3) | | | | | -1 | | | | | | |
| R 6 (700 m 3) | | | | | | -1 | | | | | |
| R 7 (550 m 3) | | | | | | | | -1 | | | |

3. Traitement et analyse des données issues de la sectorisation

Les données collectées dans les bureaux du SIAEP sont de deux natures :

- Des données brutes obtenues par copier/coller des tables de l'historique,
- des données calculées par le logiciel sous forme de bilans journaliers.

a) Traitement des données brutes

(1) Stations de pompages

Les fichiers appelés « Compteur » collectés pour les stations de pompage ne permettent pas de calculer les volumes horaires issus de celles ci. Sont concernés les volumes V1, V4, V5, V6.

A titre d'exemple pour la station principale de LAVEAU (V1) :

- Le fichier « compteur » est un index cumulé qui ne correspond pas à V1,
- Les fichiers « jour » et « nuit » comporte des données journalières calculées respectivement sur 24h et 5h,
- Les volumes sont donnés avec une précision de 10 m³.

(2) Surpresseurs

Pour les surpresseurs, V2 et V3 peuvent être calculés à partir d'un index horaire cumulé.

On doit cependant noter :

- Des interruptions de mesure avec remise à 0 de l'index,
- Des décalages dans l'heure de mesure qui n'est pas toujours l'heure pile,
- Une précision des valeurs au m³ ce qui induit la valeur 0 pour les faibles débits.

(3) Compteurs réseau

Les données relatives aux compteurs réseau (V11, V12, V13) sont sous forme de mesures horaires avec une précision de 0,1 m³. Les valeurs se cumulent par période de 24 heures avec réinitialisation à 0h.

(4) Débitmètres

Les volumes relatifs aux débitmètres (V14 à V20), sont décrits par deux séries de données correspondant aux sens positif et négatif. Elles se présentent sous la même forme que les données relatives aux compteurs réseau.

(5) Réservoirs

Ils sont au nombre de 7. Le fichier comporte l'indication du volume stocké avec une mesure toutes les 15 minutes. La donnée est délivrée avec une précision (illusoire ?) de $0,01 \text{ m}^3$.

Il est à noter que le nombre de valeurs stockées par le logiciel est limité à 10 000 et qu'en conséquence, l'historique pour les réservoirs est limité à environ 100 jours.

En conclusion de cette analyse des données brutes il apparaît que :

- Les volumes des stations n'ont pas pu être calculés
- La précision des mesures ou de leur expression est très variable (10 m^3 , 1 m^3 , $0,1 \text{ m}^3$, $0,01 \text{ m}^3$)
- Les pas de temps et les modes de stockage de l'information sont variables
- Les périodes de mesure sont discontinues (interruptions de mesures)

Ces problèmes et disparités rendent l'exploitation des données brutes longue et fastidieuse et ne permettent qu'un résultat modeste.

Seuls 5 des 11 secteurs ont pu être exploités et ce sur des périodes différentes du fait des interruptions de mesures.

b) Bilans journaliers

Les bilans journaliers sont sous forme d'un fichier Excel comportant une feuille par jour.

Pour chaque secteur le volume journalier et le volume nocturne (période 0 à 5 heures) sont rapatriés.

Par ailleurs, des calculs sont effectués à partir notamment du linéaire de réseau et du nombre d'abonnés.

En premier lieu il convient de noter que le calcul de l'indice linéaire de perte est erroné. L'erreur provient semble t-il d'un calcul correspondant à une plage nocturne de 7 heures (prévue à l'origine) alors que celle ci est de 5 heures.

Les données recueillies concernent la période du 31/05/2004 au 22/06/2004, aucune extraction n'ayant été effectuée depuis lors.

Un premier examen révèle de nombreuses valeurs négatives ou nulles significatives de disfonctionnements. 6 secteurs sont principalement concernés, le secteur 4 qui est le plus important étant en disfonctionnement sur toute la période.

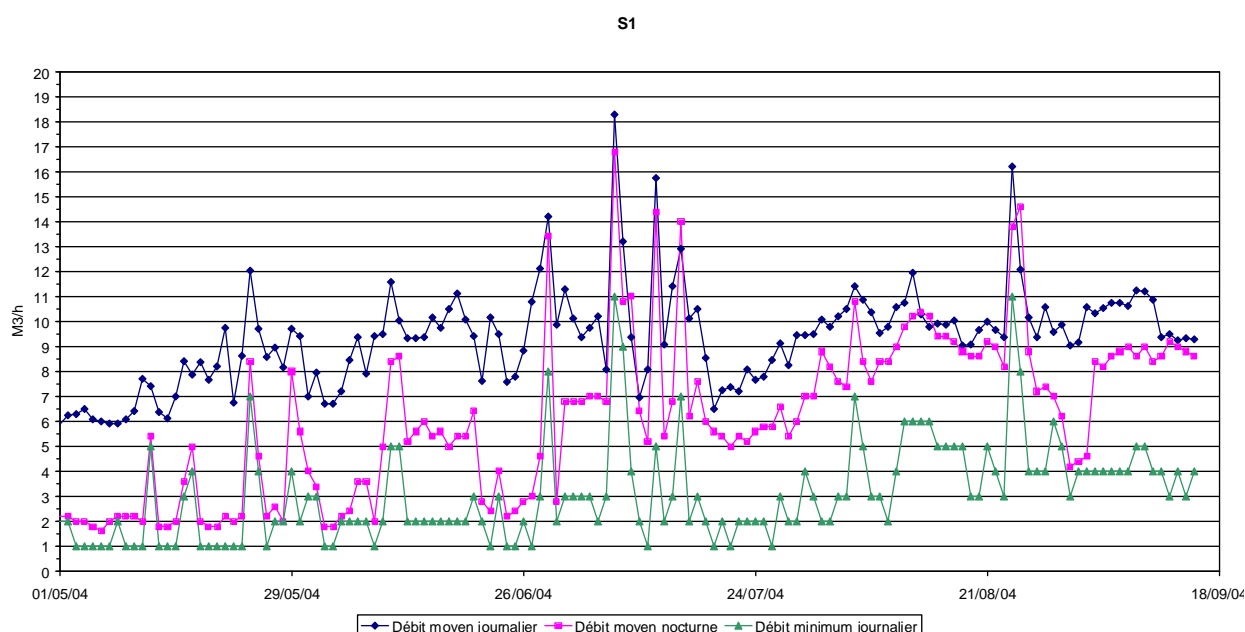
4. Exploitation des données

Des graphiques ont été extraits des données exploitables, ils représentent l'évolution journalière :

- du débit moyen horaire
- du débit moyen nocturne sur 5 heures (de 0h à 5h)
- du débit horaire minimum

a) Secteur S1

Le volume du secteur S1 est directement donné par le comptage V2 : $S1=V2$



Les premiers constats sont :

- Des pics de consommation brefs et de forte amplitude,
- Une augmentation sensible sur la période du débit moyen nocturne et du débit minimum journalier,
- Des journées présentant un débit moyen horaire nocturne supérieur au débit moyen horaire journalier.

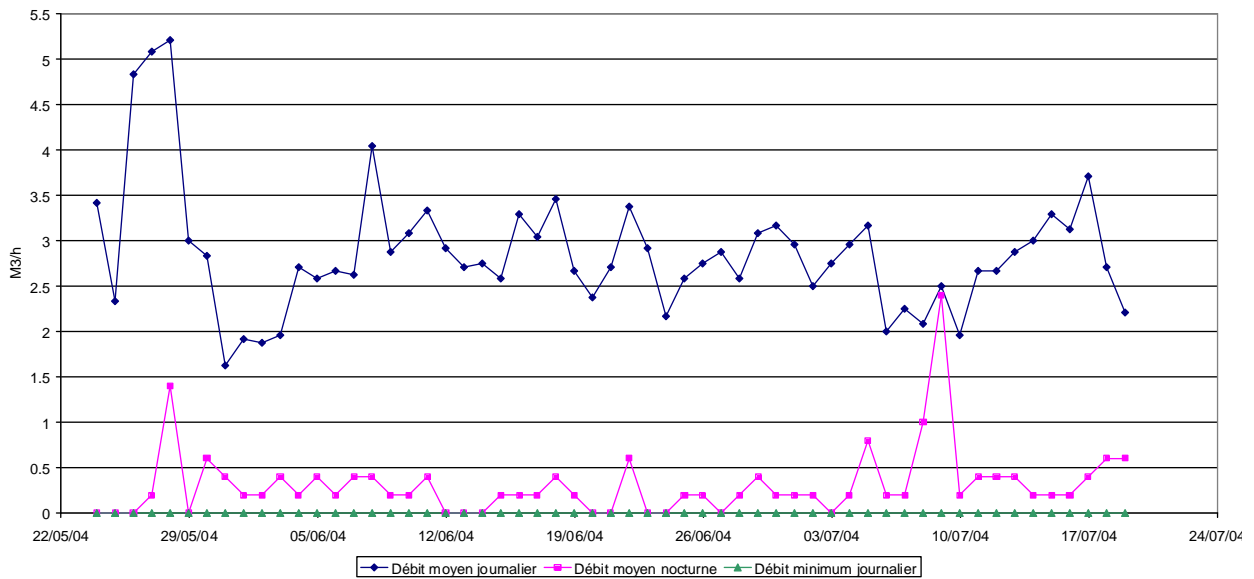
Pour aller plus loin dans l'interprétation de ces constats, il faudrait disposer de la chronique des réparations de fuites et le cas échéant des consommations atypiques.

b) Secteur S2

Volume donné par un comptage : $S2= V3$

La période exploitable est restreinte (moins de 2mois)

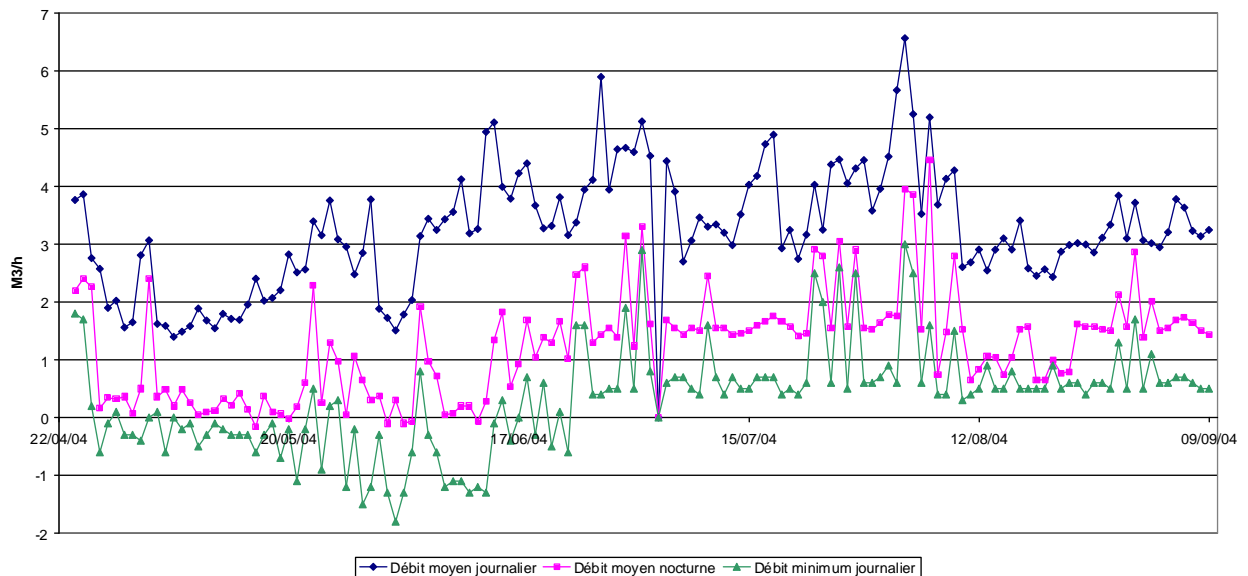
S2



La sensibilité de la mesure (1 m^3) ne permet pas de mesurer le débit minimum ni même parfois le débit moyen nocturne.

c) Secteur S9

S9



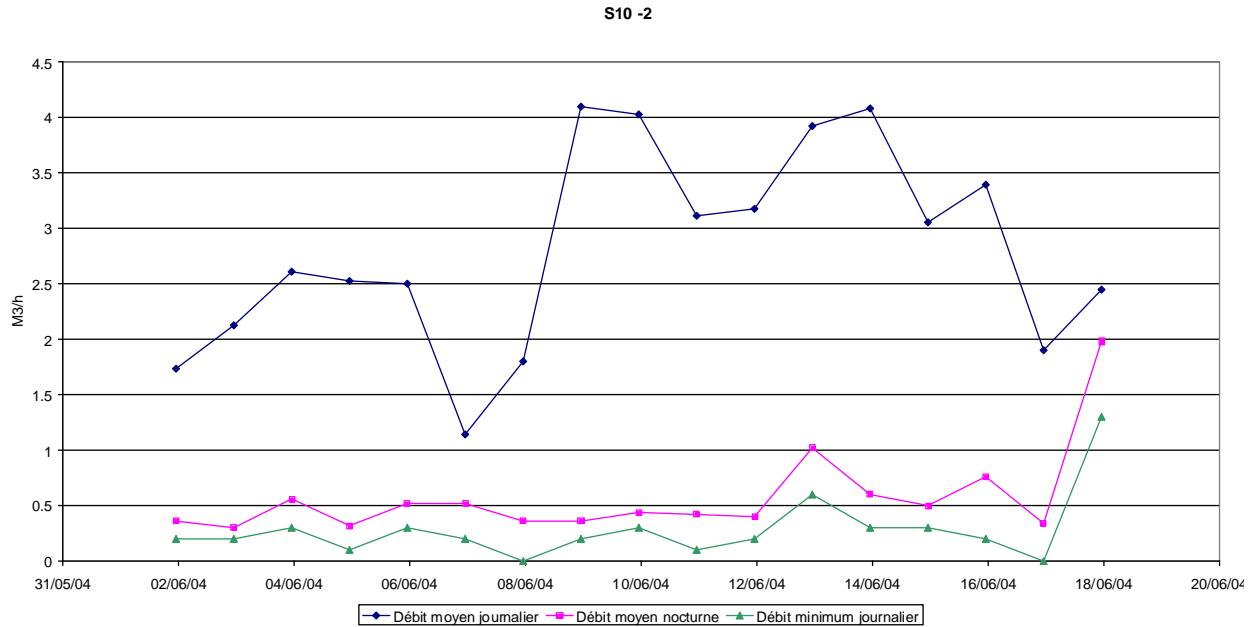
Volume issu de la différence entre 2 comptages : $S9=V12-V13$

En début de période, des débits minimum négatifs indiquent une anomalie, on peut penser à une erreur de comptage ou à une canalisation non répertoriée communiquant avec un secteur voisin.

Il est à noter que le seul suivi des débits moyens nocturnes à l'exclusion du débit minimum peut masquer de telles anomalies.

d) Secteur S10

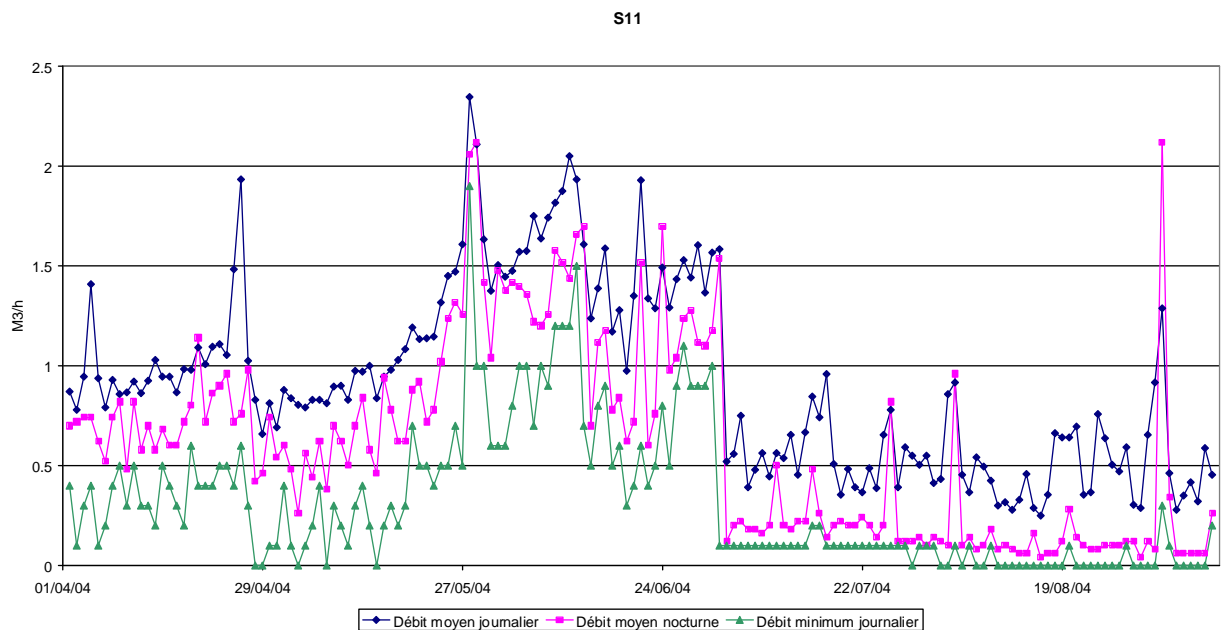
Volume donné par un comptage : S10=V11



Des nombreuses interruptions de mesures. Le peu de corrélation entre le débit moyen journalier et les débits nocturnes indique que ces derniers sont bien représentatifs de volumes de fuites.

e) Secteur S11

Volume donné par un comptage : S11=V13



Tout petit secteur (29 abonnés) pour lequel la sensibilité de la mesure (0,1 m³) ne permet pas la mesure du débit minimum.

Deux périodes se distinguent (avant et après le 3 juillet) avec une forte baisse des débits en deuxième période. Seule la chronologie des réparations de fuites permettrait de trancher sur la cause de cette évolution.

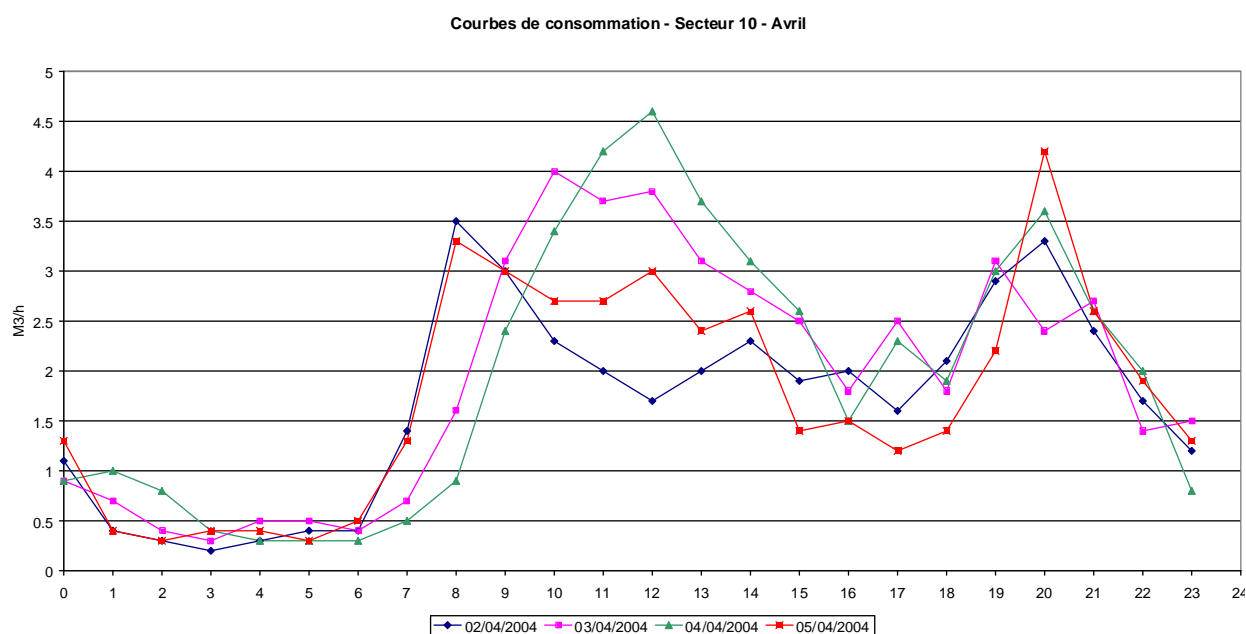
f) Quel débit de nuit ?

Quelle période est affectée à quelle heure ?

La logique invite, et c'est probablement ce qui est fait, à affecter à l'heure H, la période de consommation de l'heure précédant H (La mesure affectée à 15h est la consommation de 14 à 15h).

Il résulte de cela qu'une confusion peut intervenir au moment du changement de journée. Par exemple la consommation correspondant à 01/06/2004 00:00, bien qu'apparaissant à la date du 01/06/2004 concerne la consommation de 23h à 24h du 31/05/2004.

Cette précision peut paraître futile, toutefois l'examen des courbes de consommation des différents secteurs invite à être rigoureux. En effet la consommation entre 23h et 24h correspond souvent à plus du double de la consommation de l'heure suivante.



La plage nocturne a été fixée entre 0 heure et 5 heures, en conséquence, l'impact d'une erreur d'attribution de période ne sera pas négligeable.

Enfin l'examen des courbes de consommation montre qu'une période plus significative et plus homogène serait obtenue avec les 4 heures de la période allant de 1h à 5h (Valeurs affectées à 2h, 3h, 4h et 5h).

5. Premiers enseignements

a) Amélioration des données recueillies

- L'extraction et le traitement des données brutes doivent être facilités,
- Les interruptions de mesures mériteraient d'être mieux maîtrisées par une meilleure adaptation du matériel ou par une exploitation plus suivie,
- une bonne interprétation des évolutions nécessite la connaissance des réparations de fuites et le cas échéant des consommations atypiques,
- le débit minimum journalier pourrait être rapatrié afin de mieux approcher le débit de fuite et de mieux détecter les erreurs éventuelles de calcul ou de comptage,
- la plage de rapatriement du débit nocturne pourrait être fixée à la période de 4 heures allant de 1h à 5h.

b) Précision des mesures et des données calculées

Les problèmes rencontrés dans les données recueillies montrent que l'adaptation de la précision des résultats aux caractéristiques des secteurs est primordiale pour rendre possible leur interprétation.

La fiabilité du résultat dépend essentiellement :

- De la précision du système de comptage,
- de l'adéquation du débit de démarrage au débit minimum observé,
- de la précision de l'expression de la mesure restituée et stockée
- du nombre de comptages intervenant dans le calcul du débit.

c) Adéquation entre la taille du secteur et la précision de la mesure

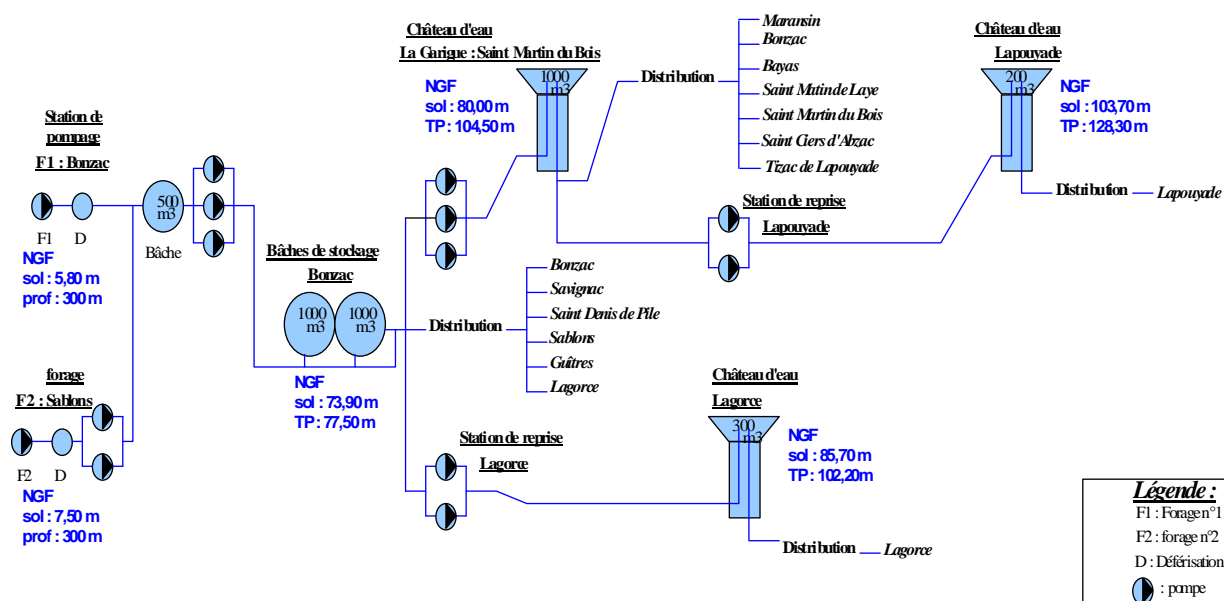
Dans l'optique d'observer des pertes en eau, l'indicateur qui permet de synthétiser celles-ci est le PseudoIPL défini précédemment. Pour une précision de mesure donnée, la valeur de cet indicateur sera d'autant plus précise que la longueur de réseau sera importante.

En conséquence, en tenant compte des contraintes de matériel et du nombre de points de comptage, la taille des secteurs peut être optimisée pour obtenir une précision souhaitée.

B. SIEA du canton de Guîtres

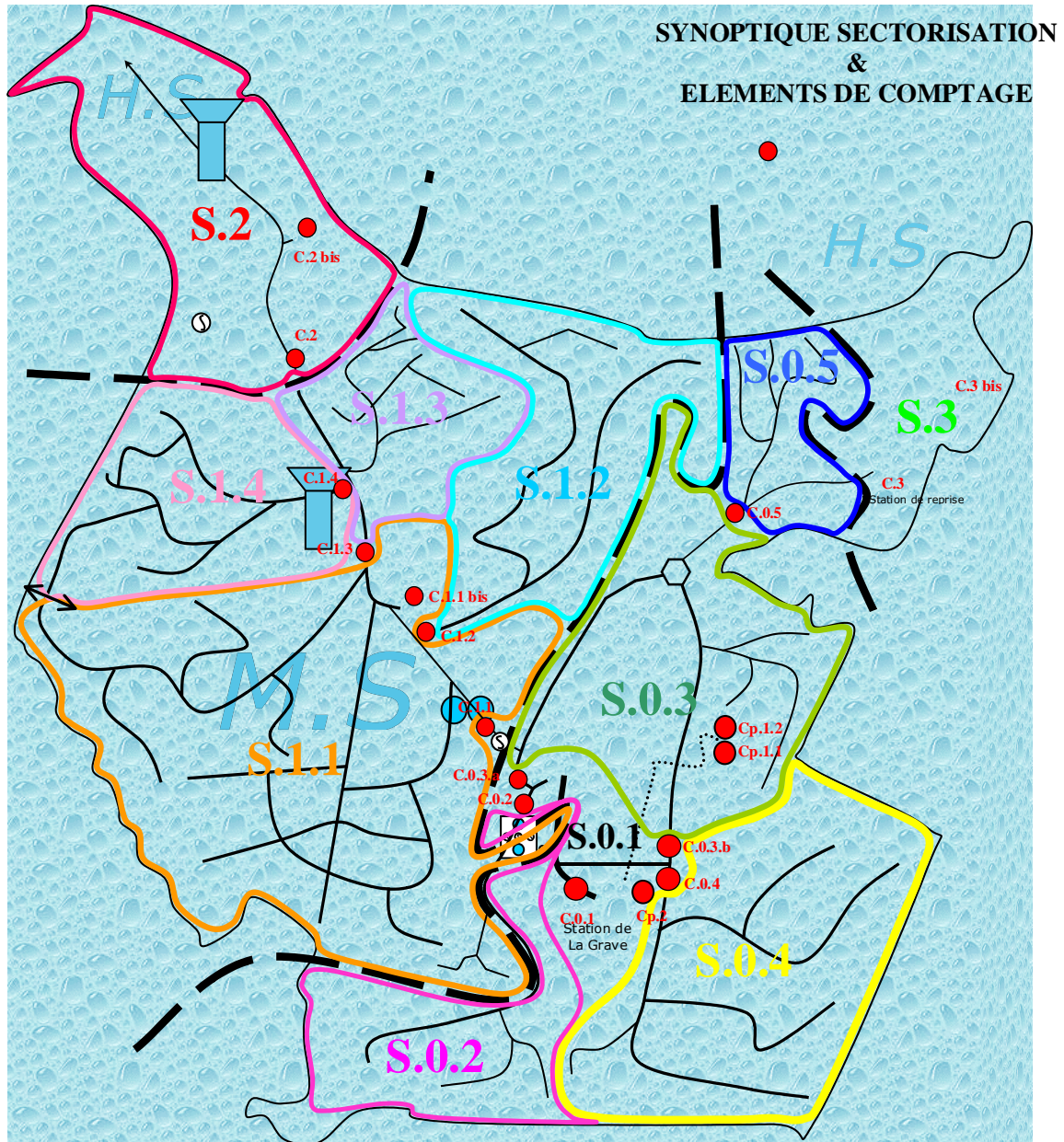
1. Caractéristiques du syndicat

- 2 forages de 110 et 120 m³/h captant l'écène
- 6 110 abonnés
- 1040 000 m³ produits
- 760 000 m³ consommés
- 350 km de réseau
- Rendement primaire : 73 %
- Indice linéaire de pertes hors branchements : 2.2 m³/j.km



2. Description de la sectorisation

Le syndicat a été scindé en 11 secteurs.



a) Caractéristiques des secteurs

SECTEURS

| | S01 | S02 | S03 | S04 | S05 | S11 | S12 | S13 | S14 | S2 | S3 | Ensemble |
|-----------------------------|-----|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|--------------|
| Désignation | | | | | | | | | | | | |
| Nombre d'abonnés | 68 | 227 | 1 473 | 1 549 | 240 | 1 107 | 418 | 259 | 299 | 226 | 215 | 6 081 |
| Gros consommateurs | | | | | | | | | | | | |
| Consommateurs nocturnes | | | | | | | | | | | | |
| Longueur réseau | 5.0 | 10.5 | 67.7 | 73.6 | 15.1 | 74.0 | 51.9 | 28.3 | 31.4 | 26.9 | 20.6 | 404.9 |
| Diamètre moyen | 193 | 81 | 105 | 91 | 84 | 83 | 78 | 88 | 73 | 86 | 80 | 89 |
| % classe d'âge 1 | | | | | | | | | | | | |
| % classe d'âge 2 | | | | | | | | | | | | |
| % classe d'âge 3 | | | | | | | | | | | | |
| % classe d'âge 4 | | | | | | | | | | | | |
| % PVC et PE | 42% | 74% | 75% | 92% | 68% | 86% | 100% | 89% | 100% | 90% | 100% | 88% |
| % Fonte | 0% | 0% | 0% | 2% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % Acier | 58% | 0% | 22% | 1% | 0% | 7% | 0% | 9% | 0% | 0% | 0% | 6% |
| % Amiante ciment | 0% | 26% | 3% | 5% | 32% | 7% | 0% | 2% | 0% | 10% | 0% | 5% |
| Nombre de branchements | | | | | | | | | | | | |
| Pression de service moyenne | | | | | | | | | | | | |

Des plans sous forme informatique fournis par le syndicat ont permis, après traitement, de répartir par secteur les conduites avec l'information du diamètre et du matériau. Il est à noter que les longueurs calculées par la cartographie informatique sont supérieures à celles annoncées.

Concernant l'âge des canalisations, un relevé manuel a été effectué par le Cemagref sur la base de plans projets existant dans les archives du syndicat. La valorisation de ces données qui demeurent partielles nécessite un traitement manuel lourd.

L'historique des interventions sur réseau et sur branchement a été fournie par l'exploitant sur la période du 07/04/2004 au 10/09/2004 sous forme d'un tableau avec distinction branchement ou réseau, date et localisation mais sans autre information sur la nature. A quelques rares exceptions (localisations énigmatiques), ces interventions ont pu être affectées par secteurs.

| SECTEUR | INTERVENTIONS DU 07/04/2004 AU 10/09/2004 | | |
|----------|---|--------|--------|
| | BRANCHEMENT | RESEAU | GLOBAL |
| S01 | 2 | 0 | 2 |
| S02 | 0 | 1 | 1 |
| S03 | 7 | 11 | 18 |
| S04 | 5 | 6 | 11 |
| S05 | 1 | 0 | 1 |
| S11 | 8 | 4 | 12 |
| S12 | 1 | 0 | 1 |
| S13 | 1 | 2 | 3 |
| S14 | 1 | 2 | 3 |
| S2 | 1 | 2 | 3 |
| S3 | 1 | 0 | 1 |
| Syndicat | 28 | 28 | 56 |

b) Formules de comptage

| | S01 | S02 | S03 | S04 | S05 | S11 | S12 | S13 | S14 | S2 | S3 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| C01 | 1 | | | | | | | | | | |
| C02 | -1 | 1 | | | | | | | | | |
| C03a | -1 | | 1 | | | | | | | | |
| C03b | -1 | | 1 | | | | | | | | |
| C04 | -1 | | | 1 | | | | | | | |
| C05 | | | -1 | | 1 | | | | | | |
| C11 | | | -1 | | | 1 | | | | | |
| C11 bis | | | | | | -1 | | | | | |
| C12 | | | | | | -1 | 1 | | | | |
| C13 | | | | | | -1 | | 1 | | | |
| C14 | | | | | | | | -1 | 1 | | |
| C2 | | | | | | | | -1 | | 1 | |
| C2bis | | | | | | | | | | -1 | |
| C3 | | | | | -1 | | | | | | 1 |
| C3bis | | | | | | | | | | | -1 |

c) Caractéristiques des comptages

| Ref | Désignation | Type | Marque | Alimentation | Liaison | Diamètre |
|----------------|-------------------------|------------|---------|--------------|---------|----------|
| C01 | Pompage Bonzac | Débitmètre | DANFOSS | Secteur | RTC | 200 |
| C02 | Savignac | Débitmètre | DANFOSS | Secteur | RTC | 65 |
| C03a | Bas service rive droite | Débitmètre | DANFOSS | Secteur | RTC | 125 |
| C03b | Bas service rive gauche | Débitmètre | ABB | Pile | GSM | 80 |
| C04 | Secteur VII | Débitmètre | ABB | Pile | GSM | 65 |
| C05 | Laguirande | Débitmètre | ABB | Pile | GSM | 65 |
| C11 | Reprise Bernardon | Débitmètre | DANFOSS | Secteur | RTC | 150 |
| C11 bis | Réservoir Lagarrigue | Débitmètre | DANFOSS | Secteur | RTC | 100 |
| C12 | Cornuelle | Débitmètre | ABB | Pile | GSM | 65 |
| C13 | La Dominique | Débitmètre | ABB | Pile | GSM | 80 |
| C14 | Tizac Lapoyade | Débitmètre | ABB | Pile | GSM | 65 |
| C2 | Reprise Lapoyade | Débitmètre | DANFOSS | Secteur | RTC | 65 |
| C2bis | Réservoir Lapoyade | Débitmètre | DANFOSS | Secteur | RTC | 65 |
| C3 | Reprise Lagorce | Débitmètre | DANFOSS | Secteur | RTC | 65 |
| C3bis | Réservoir Lagorce | Débitmètre | DANFOSS | Secteur | RTC | 65 |

Les 15 comptages sont des débitmètres y compris pour les 3 réservoirs.

3. Analyse des données issues de la sectorisation

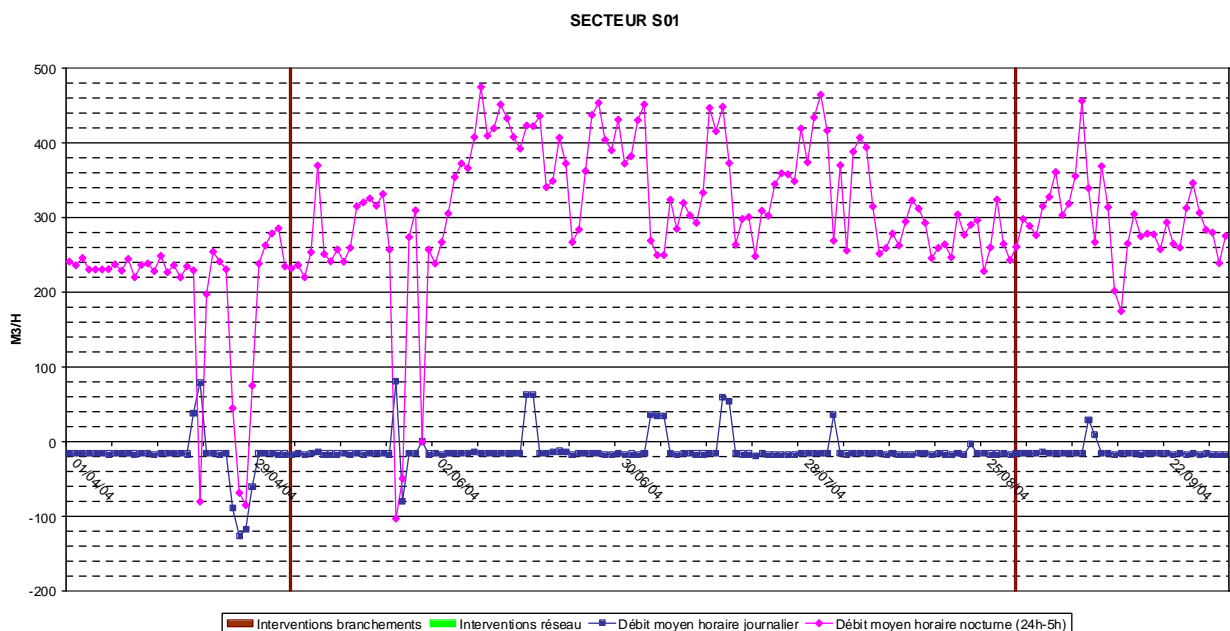
Les données collectées dans les bureaux du SIAEP sont sous 2 formes :

- Des bilans journaliers. Ceux ci comportent pour chaque secteur, le volume journalier (0h à 24 h), le volume nocturne (0h à 5h), le volume horaire minimum nocturne ainsi que quelques calculs. Sont accessibles (en feuilles cachées) les chroniques horaires de chacun des comptages.
- Des bilans mensuels. Ils comportent pour chaque jour du mois et pour chaque secteur les 3 volumes décrits ci-avant.

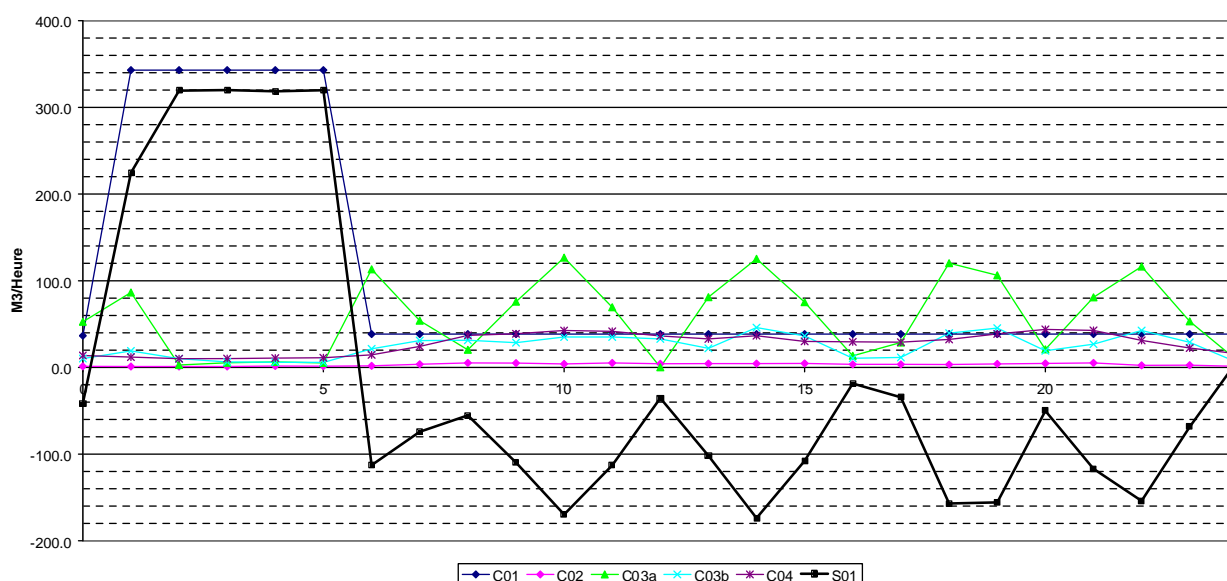
Les bilans mensuels ont été compilés sur la période du 01/04/2004 au 30/09/2004. L'analyse des données a révélé certaines anomalies.

a) Deux secteurs inexploitable

Le premier secteur concerné est le secteur S01 qui présente un débit moyen horaire journalier inférieur au débit moyen horaire nocturne.



Pour trouver l'origine de cette anomalie, il convient d'examiner les comptages entrant dans le calcul des débits.



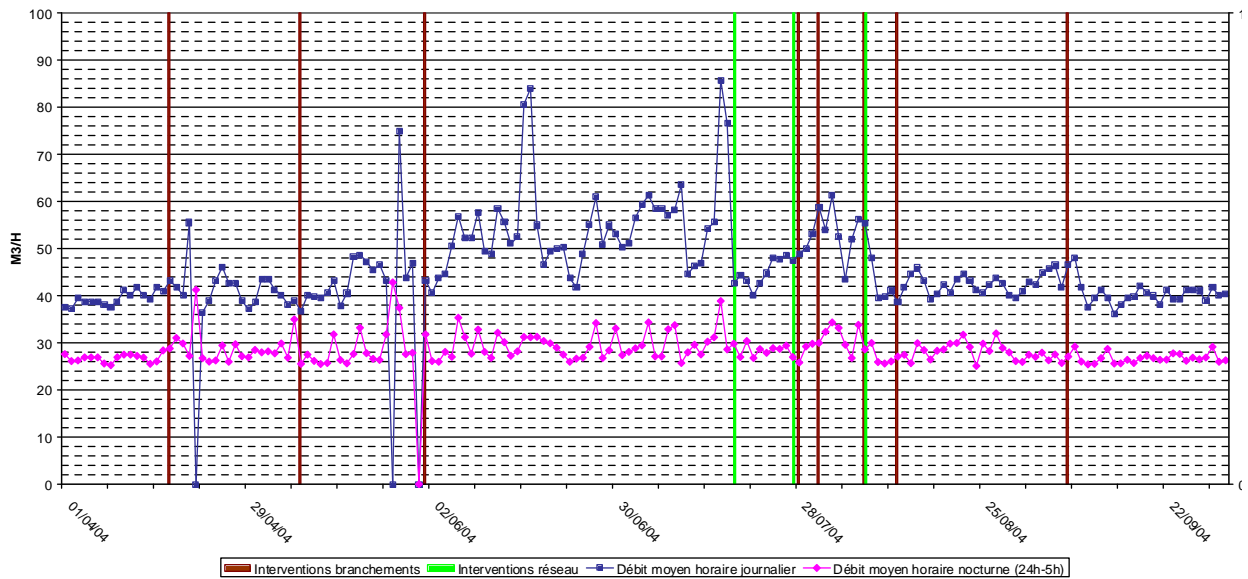
Il apparaît que le compteur C01 (pompage Bonzac) présente un débit nocturne prépondérant.

Renseignements pris, il apparaît que le système de comptage est équipé d'un satellite de télégestion insuffisant qui n'autorise le rapatriement que de 3 valeurs quotidiennes à partir desquelles les débits horaires sont extrapolés. Par ailleurs, l'exploitant du service a, pour ses besoins propres, reparamétré le système de telle sorte que les volumes rapatriés ne correspondent pas aux besoins de la sectorisation.

En conséquence, le secteur S01 est inexploitable.

Indépendamment des problèmes de pas de temps du rapatriement des données, le secteur S01 présente un débit journalier négatif ce qui est significatif d'une communication non comptabilisée avec un secteur adjacent. L'examen de ces derniers montre que c'est le secteur S11 qui est concerné.

SECTEUR S11

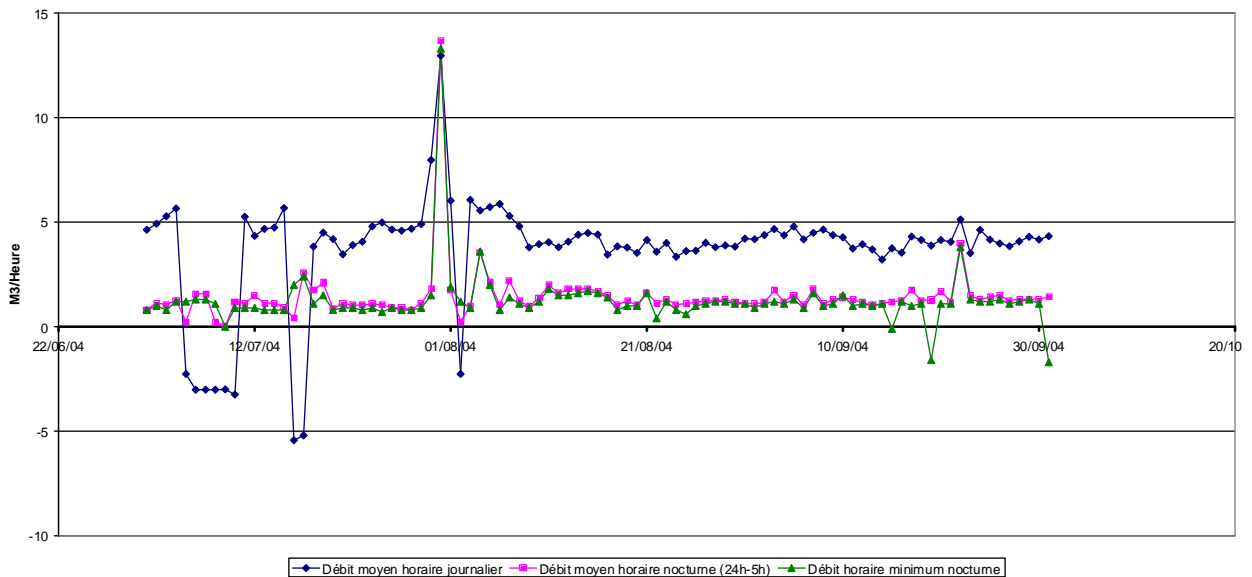


Ce secteur présente en effet un débit nocturne très important au regard du débit journalier. Le syndicat souhaite avec l'appui de son exploitant faire des recherches pour trouver une canalisation non répertoriée mettant en communication les deux secteurs.

b) Difficultés de valorisation du débit minimum nocturne

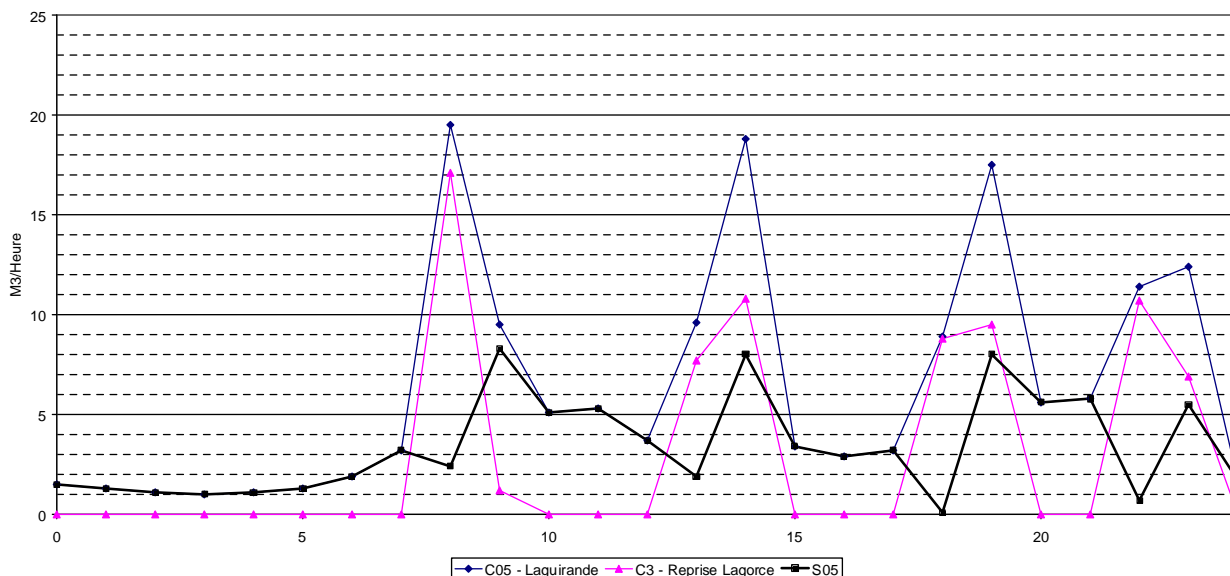
Pour plusieurs secteurs, l'examen du débit minimum nocturne révèle des valeurs suspectes ou aberrantes. A titre d'exemple, le secteur S05

S05



Le débit minimum, le plus souvent très voisin du débit moyen nocturne, présente parfois des valeurs négatives.

S05 - Bilan journalier du 16/09/2004



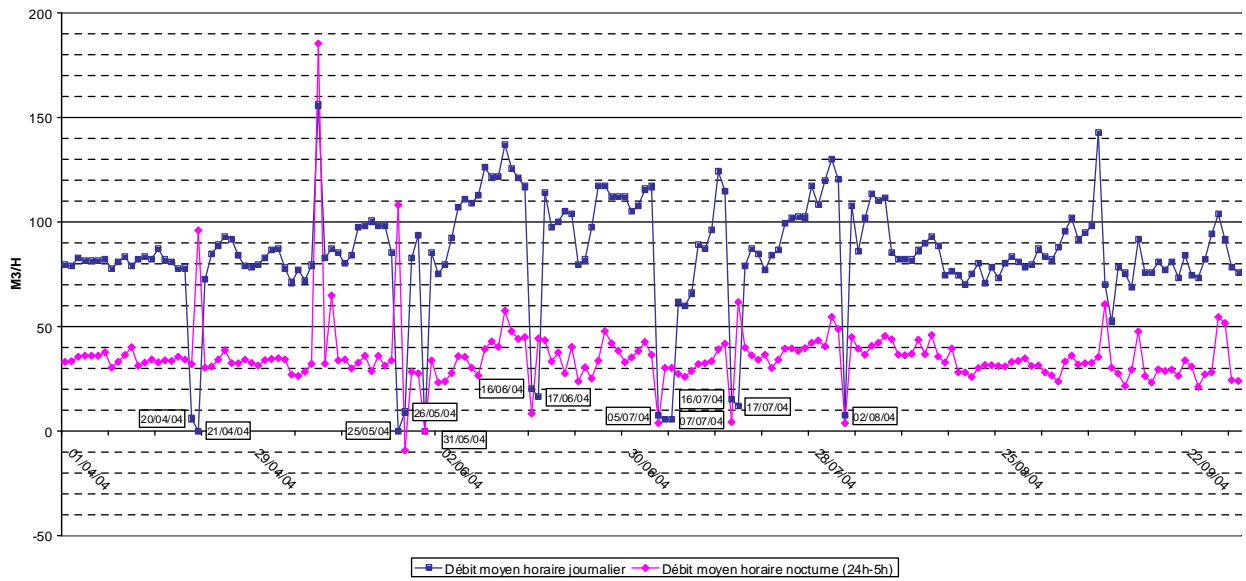
Les débits du secteur sont calculés à partir de 2 compteurs dont notamment le compteur C3 correspondant à la reprise de Lagorce. On remarque que chaque démarrage de la reprise correspond à un minima du débit horaire suivi d'un maxima ce qui est révélateur d'une inertie du système. Il en résulte que le débit instantané n'est pas représentatif de la consommation du secteur (dans l'exemple, 0 m³/h à 18h).

Ce constat invite à préférer le débit moyen nocturne au débit minimum pour l'exploitation des données.

c) Interruptions de mesures

Durant la période (01/04/2004 - 30/09/2004) des interruptions de mesures sont intervenues.

Syndicat hors S01 et S11



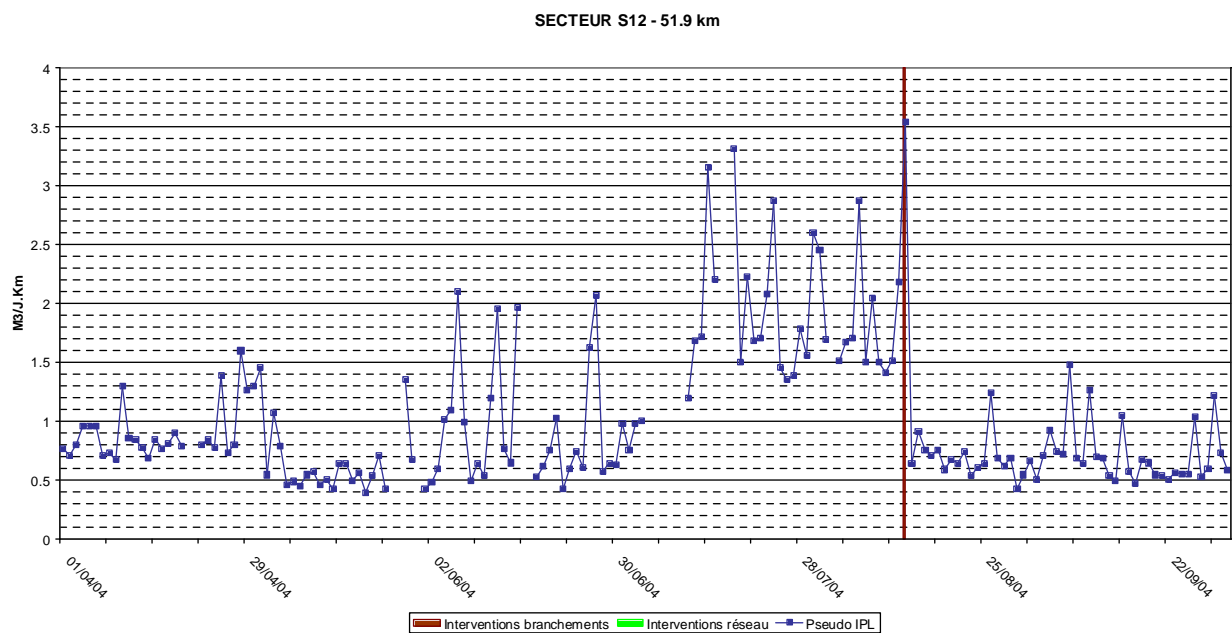
Les journées manifestement touchées par un problème de mesure seront donc exclues pour l'exploitation des données.

4. Exploitation des données

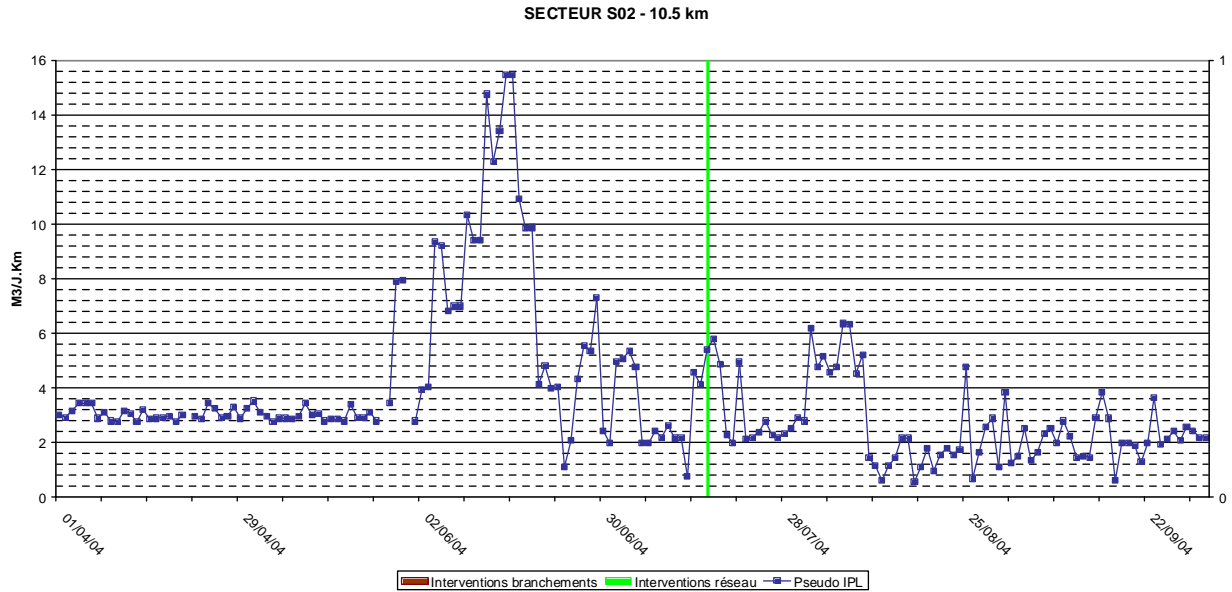
L'exploitation des données a été effectuée sur la base des évolutions des PseudoIPL et de la chronique des interventions.

a) Evolutions du PseudoIPL

Il apparaît que si l'information sur les interventions explique certaines variations elle n'en demeure pas moins souvent insuffisante comme l'illustre les exemples ci-après.



Dans le cas du secteur S12 il apparaît clairement que l'augmentation du PseudoIPL trouve son terme après une intervention sur branchement.



Dans le cas du secteur S02, l'intervention sur réseau ne génère pas une variation évidente, en revanche un épisode de forts débits nocturnes reste inexpliqué en juin.

Une meilleure interprétation des évolutions nécessite donc une information plus détaillée sur les interventions complétée par une chronique des évènements pouvant générer des débits nocturnes atypiques.

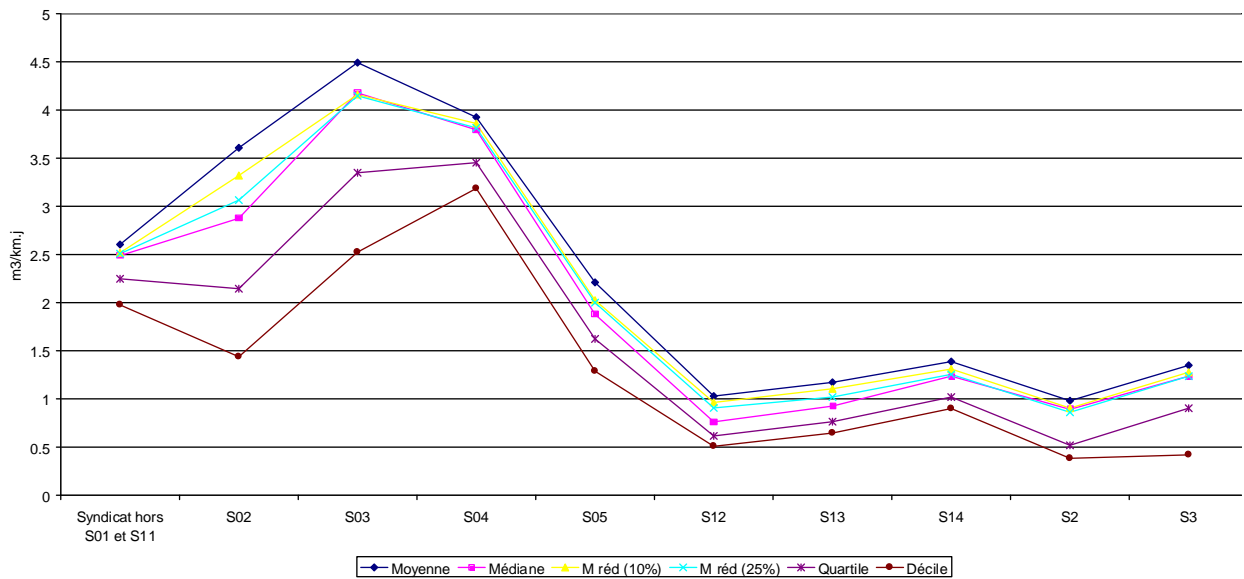
b) Comparaison des Secteurs

De fortes disparités étant constatées entre les secteurs il convient de mettre au point une méthode pour les comparer.

Les évolutions de la moyenne mensuelle du PseudoIPL ne donnant rien d'interprétable a priori il est choisi de les comparer sur la base d'un chiffre représentant le PseudoIPL sur l'ensemble de la période d'observation.

Différentes valeurs représentatives ont été calculées, moyenne, médiane, moyennes réduites, quartile, décile.

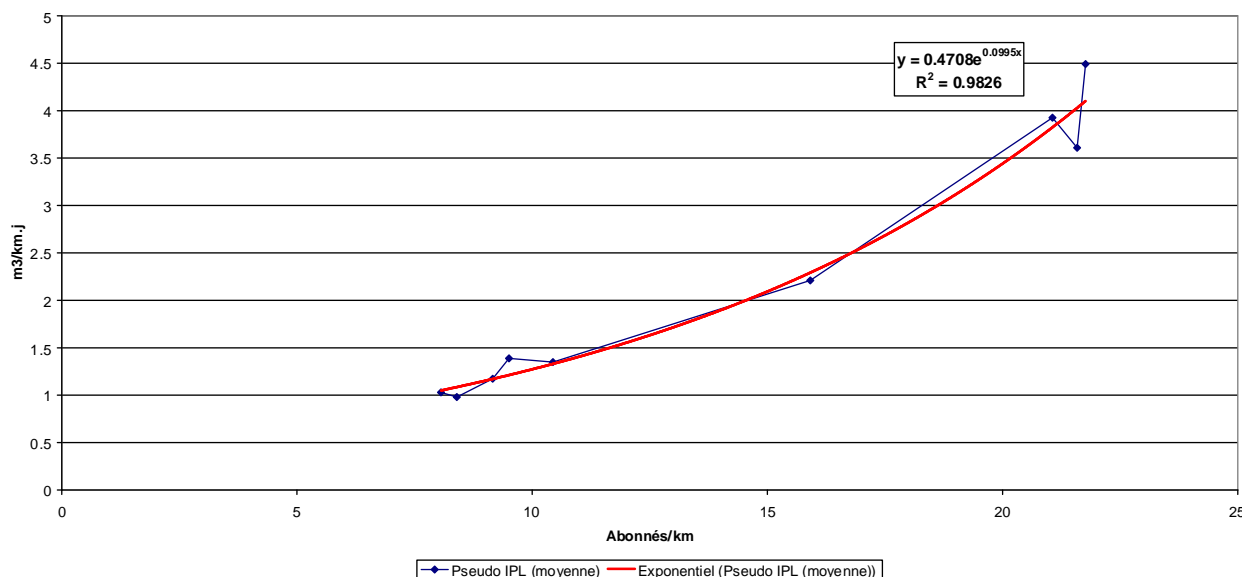
Valeurs calculées relative au Pseudo IPL sur l'ensemble de la période d'observation



C'est grandeurs varies sensiblement de la même façon. L'examen de la corrélation de celles ci avec les autres informations connues sur les secteurs a montré que c'est la moyenne qui donne les meilleurs résultats. C'est donc cette grandeur qui a été choisie pour caractériser le PseudoIPL de chacun des secteurs.

Après différentes recherches, il apparaît que la densité linéaire d'abonnés est une caractéristique qui est importante dans la variation du PseudoIPL entre les secteurs

Pseudo IPL (Moyenne) selon densité abonnés



Le PseudoIPL est donc bien corrélé avec une fonction exponentielle de la densité linéaire d'abonnés.

Cela s'explique par au moins deux influences du nombre d'abonnés sur le débit de nuit :

- La première est la consommation nocturne des abonnés ;
- la seconde est que le nombre d'abonnés est, en zone rurale, sensiblement équivalent au nombre des branchements et qui sont des sources potentielles de fuites.

Les données disponibles se sont révélées insuffisantes pour mettre en évidence de façon probante un lien entre la PseudolPL et les autres caractéristiques des secteurs. Toutefois, ces premiers résultats nous confortent dans l'idée de rechercher une fonction qui pourrait avoir la forme suivante :

$$\text{Ln (PseudolPL)} = a_0 + a_1 \times (\text{Densité Linéaire abonnés}) + a_2 \times (\text{Taux de PVC}) + a_3 \times (\text{Age}) + \dots$$

5. Premiers enseignements

a) Acquisition des données

La possibilité de disposer de plans informatisés est un apport important. Il s'agit de plans établis avec un logiciel de dessin et non d'un SIG. Ceci a conduit à un important travail de mise en forme. Il est à noter que la possibilité et le degré de complexité d'une telle mise en forme sont très largement conditionnés par les méthodes utilisées dans la mise en œuvre des plans informatisés initiaux.

Les informations concernant les dates de pose des canalisations sont incomplètes et sous une forme difficile à valoriser, il est à craindre qu'il en soit de même dans la plupart des collectivités.

L'obtention de la chronique des interventions est un apport intéressant qui pour être pleinement valorisé devrait être mieux explicité et complété par la chronique des événements influençant la consommation nocturne. Cela suppose l'implication de l'exploitant du service.

Les problèmes de comptage rencontrés sur le secteur S01 mettent en évidence la nécessité d'une bonne homogénéité de la qualité des acquisitions de données. Celle-ci passe parfois par le renoncement à l'utilisation du matériel déjà en place.

b) Résultats obtenus

La très bonne corrélation entre l'indicateur choisi pour représenter les pertes linéaires des secteurs (PseudolPL) et la densité linéaire d'abonnés selon une loi exponentielle est un premier résultat intéressant. Il reste à valider sur d'autres jeux de données.

III. PRECONISATIONS

A. Conception et mise en œuvre de la sectorisation

Les problèmes rencontrés en matière d'acquisition de données mettent en évidence l'importance de la conception et de la mise en œuvre de la sectorisation. En regard des contraintes liées à la configuration hydraulique du réseau (Découpage des unités de distribution, zone de desserte des réservoirs, étages de pression, maillages, ...) le concepteur doit, au stade de la définition du zonage, intégrer la problématique du niveau d'incertitude admissible sur l'expression des calculs effectués à partir des débits mesurés. Les paramètres à maîtriser sont :

- La précision de la mesure (en liaison avec les débits mesurés)
- Le nombre de comptages intervenant sur le secteur
- La taille du secteur (nombre d'utilisateurs, longueur)

La précision de la mesure est conditionnée par les caractéristiques métrologiques du compteur. Le décret n°76-130 du 29 janvier 1976 réglementant les compteurs d'eau froide précise les débits caractéristiques d'un compteur et l'erreur maximum admissible en fonction du débit mesuré :

Débit maximal (Q_{max}) : Débit le plus élevé auquel le compteur doit pouvoir fonctionner sans détérioration pendant des durées limitées en respectant une erreur de mesure inférieure à 2 %.

Débit nominal (Q_n) : Il est égal à la moitié du débit maximal. Au débit nominal le compteur doit fonctionner en régime permanent ou intermittent en respectant une erreur de mesure inférieure à 2 %.

Débit minimal (Q_{min}) : Débit à partir duquel le compteur doit respecter une erreur de mesure inférieure à 5 %.

Débit de transition (Q_t) : Débit intermédiaire entre le débit minimal et le débit nominal à compter duquel le compteur respecte une erreur de mesure inférieure à 2 %.

En résumé, la plage de fonctionnement d'un compteur s'étend de Q_{min} à Q_{max} , pour les débits compris entre Q_{min} et Q_t , l'erreur de mesure est inférieure à 5 % et pour les débits compris entre Q_t et Q_{max} , l'erreur de mesure est inférieure à 2 %.

Le rapport entre le débit nominal et les débits minimal et transitoire conditionne la classe métrologique du compteur (A, B ou C), la classe C étant la plus contraignante.

Il est à noter que la directive européenne 2004/22/CE va conduire à une modification de la réglementation actuelle (application au 30 octobre 2006), elle prévoit notamment le remplacement des débits « nominal » et « maximal » par respectivement les débits « permanent » et « de surcharge ». Les rapports entre les différents débits sont modifiés. En revanche les seuils de précision de 5 % et 2 % sont conservés.

1. Débit minimal du compteur

La première condition à remplir pour disposer de mesures exploitables est que le débit minimal de chaque compteur soit compatible avec les débits les plus faibles qu'il doit mesurer. Ce débit (de même que le débit de pointe) ne dépend pas directement du ou des secteurs dans lesquels intervient le comptage mais de l'ensemble de la zone de distribution à l'aval du compteur.

Le calibre minimum du compteur est imposé par le débit maximum (ou débit de pointe) susceptible d'être appelé par la zone de distribution à l'aval du compteur. Celui-ci doit donc en premier lieu être évalué par le concepteur en fonction des caractéristiques des consommations de la zone de distribution et le cas échéant des contraintes liées à la défense incendie. Dans certains cas de figure, la perte de charge maximum admissible peut être une contrainte supplémentaire dans le choix du comptage.

Sur la base des études de cas réalisées, une première approche d'estimation du débit minimum requis peut être proposée. Il a été montré qu'en zone rurale, le pseudopl est lié à la densité linéaire d'abonnés. En conséquence, le débit nocturne d'une zone est lié à la densité linéaire d'abonnés et à la longueur de réseau.

Les ordres de grandeurs suivants découlent des données étudiées :

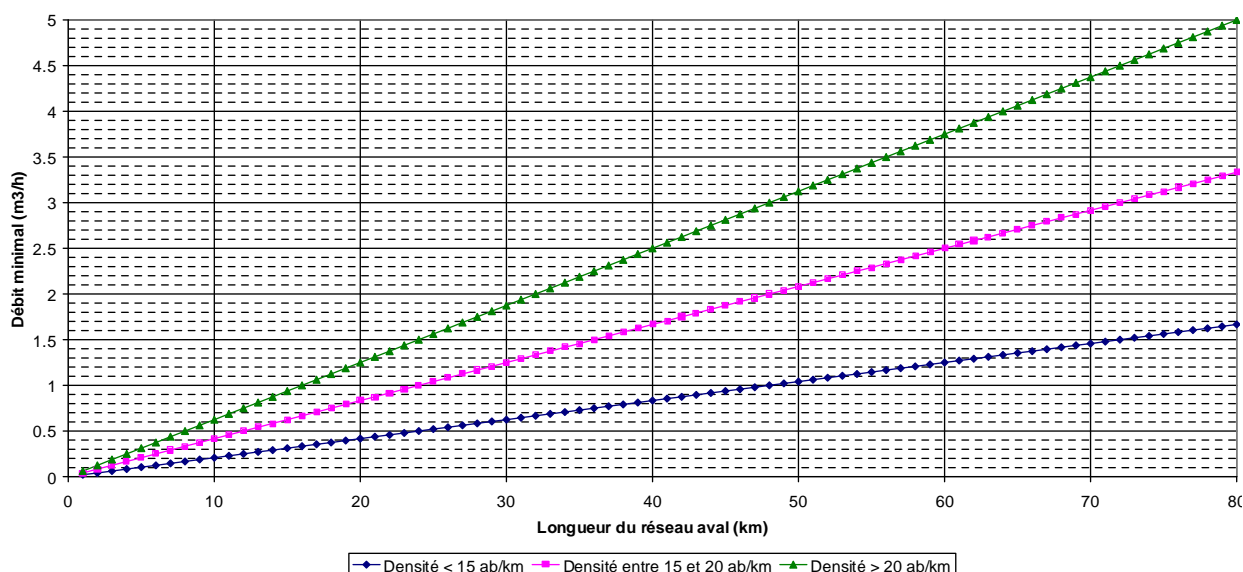
| Densité linéaire d'abonnés | Borne inférieure du Pseudo IPL | Valeur proposée |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Inférieure à 15 ab/km | 1 m ³ /km.j | 0.5 m ³ /km.j |
| Entre 15 et 20 ab/km | 2 m ³ /km.j | 1 m ³ /km.j |
| Supérieure à 20 ab/km | 3 m ³ /km.j | 1.5 m ³ /km.j |

Afin de conserver une marge de sécurité quant à la représentativité des cas étudiés, la valeur proposée pour les calculs correspond à 50 % des bornes inférieures des valeurs constatées.

A partir de ces hypothèses, le graphique ci après propose la limite supérieure admissible du débit minimal du compteur en fonction de la longueur du réseau et de la densité linéaire d'abonnés de la zone de distribution avale du compteur.

$$Q_{\min} = \frac{L_{\text{réseau}} \times \text{PseudoIPL}_{\min}}{24}$$

Limite supérieure du débit minimal selon la longueur du réseau et la densité linéaire d'abonnés



Le diamètre minimum du compteur étant imposé par le débit maximum susceptible d'être mesuré ainsi qu'éventuellement par les pertes de charge induites, l'adaptation du comptage aux contraintes de débit minimal dépendra des caractéristiques métrologiques du compteur. Celles-ci varient selon les technologies et les fabricants. Le tableau ci-après donne selon les technologies des exemples de débits minimaux annoncés par les constructeurs.

Débit minimal des compteurs (m3/h) - Exemples

| Diamètre (mm) | Débitmètre électromagnétique X (vitesse d'écoulement de 0.05 m/s) | Débitmètre électromagnétique Y | Compteur woltman (classe B) | Compteur vitesse à jet unique (classe C) | Compteur combiné |
|---------------|---|--------------------------------|-----------------------------|--|------------------|
| 50 | 0.353 | 0.090 | 0.150 | 0.055 | 0.025 |
| 65 | 0.597 | 0.150 | 0.200 | 0.075 | |
| 80 | 0.905 | 0.240 | 0.200 | 0.085 | 0.025 |
| 100 | 1.414 | 0.360 | 0.300 | 0.200 | 0.070 |
| 150 | 3.181 | 0.900 | 0.800 | | |

Nota : Concernant les débitmètres électromagnétiques, certains constructeurs n'indiquent pas de débit minimal (exemple X). Il semble toutefois, selon les indications fournies, qu'une précision de 5 % soit atteinte pour des vitesses d'écoulement de l'ordre de 0.05 m/s.

Pour certains comptages, le débit minimal ne peut pas être évalué (comptages fonctionnant dans les 2 sens, comptages dont la zone aval ne peut être déterminée). Il convient alors d'optimiser le débit de démarrage du comptage celui ci déterminant l'incertitude de la mesure.

2. Incertitude de la mesure

Le débit d'un secteur est calculé par somme et différence des débits mesurés par les comptages intéressant le secteur. L'incertitude absolue de la valeur calculée est égale à la somme des incertitudes absolues des différents comptages.

L'information disponible pour les comptages est une incertitude relative (exprimée en %). A l'exception de cas simples, il convient donc d'estimer l'incertitude absolue des comptages en période nocturne celle-ci étant dépendante du débit.

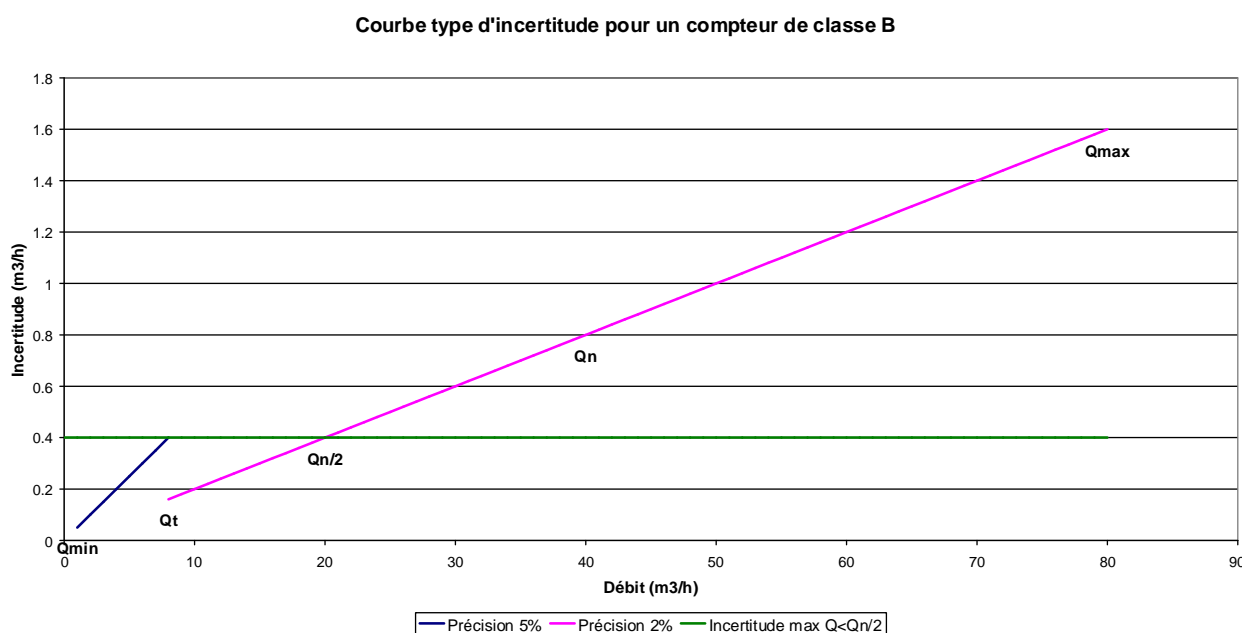
a) Incertitude absolue des comptages

L'expression de l'incertitude relative de la mesure du débit varie selon le type de comptage.

(1) Cas des compteurs

L'incertitude relative est de :

- 5 % entre Q_{min} et Q_t
- 2 % entre Q_t et Q_{max}



Les critères de la classe B dans le cas des compteurs ayant un débit nominal supérieur à 15 m³/h (satisfaits par la très grande majorité des compteurs) imposent $Q_t = 0.2 Q_n$

L'incertitude absolue maximum en phase transitoire est 0.05 Q_t

Au-delà de Q_t , cette valeur est atteinte pour le débit Q tel que

$0.02 Q = 0.05 Q_t$ soit $Q = 2.5 Q_t$ donc dans le cas de la classe B, $Q = 0,5 Q_n$

Il en résulte que si le débit nocturne est inférieur à $Q_n/2$, l'incertitude absolue du comptage sera toujours inférieure à $0.02 Q_n/2$ soit 1 % de Q_n (Q_n débit nominal théorique du compteur selon les spécifications de la classe B).

(2) Cas des débitmètres

L'incertitude relative des débitmètres (I_r) est en général exprimée en fonction de la vitesse d'écoulement (V) sous la forme suivante :

- Si $V < 0.5 \text{ m/s}$, $I_r = \frac{E}{2 \times V}$
- Si $V \geq 0.5 \text{ m/s}$, $I_r = E$

E , précision du débit instantané au-delà de 0.5 m/s .

L'expression du débit en m^3/h en fonction du diamètre D du débitmètre en m et de la vitesse d'écoulement V en m/s est donnée par $Q = \frac{\pi \times D^2}{4} \times 3600 \times V$

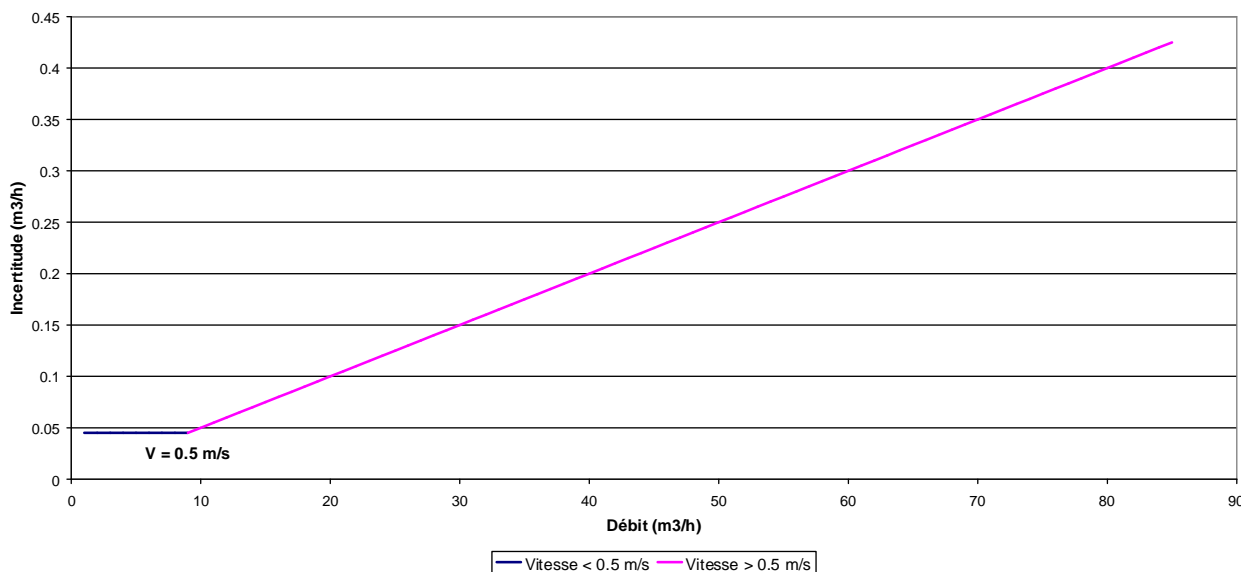
Pour $V < 0.5 \text{ m/s}$, l'incertitude absolue est :

$$\Delta Q = Q \times I_r = \frac{\pi \times D^2}{4} \times 3600 \times V \times \frac{E}{2 \times V} = 450 \times \pi \times D^2 \times E \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

soit, pour un débitmètre donné, une incertitude absolue constante sur cette plage de vitesses qui est la valeur minimale de l'incertitude absolue du débitmètre.

Pour $E = 0.5\%$ (cas le plus fréquent), $(\Delta Q)_{\min} = 2.25 \times \pi \times D^2$

Courbe type d'incertitude pour un débitmètre électromagnétique



L'équivalent de la moitié du débit nominal d'un compteur correspond, pour un débitmètre, à une vitesse de l'ordre de 1 m/s.

L'incertitude absolue est alors : $\Delta(Q_n / 2) = \frac{\pi \times D^2}{4} \times 3600 \times 1 \times E = 900 \times \pi \times D^2 \times E$

Pour $E = 0.5 \%$, $\Delta(Q_n / 2) = 4.5 \times \pi \times D^2$

Si le débit nocturne correspond à une vitesse d'écoulement inférieure à 1 m/s, L'incertitude absolue du comptage est inférieure à $4.5 \times \pi \times D^2$ en m^3/h , D étant le diamètre du compteur exprimé en m.

(3) Cas du suivi d'un stockage par mesure de niveau

Pour les stockages, le comptage des débits entrant et sortant peut être obtenu par différence de volumes au moyen d'une mesure de niveau effectuée le plus souvent par un capteur de pression.

L'incertitude du comptage est conditionnée par l'incertitude de la mesure de niveau et par l'incertitude portant sur la géométrie de l'ouvrage. En première approche, le cas de réservoirs de géométrie simple pour lesquels la surface du plan d'eau est constante peut être examiné (réservoirs cylindriques ou parallélépipédiques).

Pour un réservoir de volume total V_{tot} , de surface S et de profondeur totale H ($V_{tot} = H \times S$), le débit Q s'exprime comme suit :

$$Q = V_1 - V_2 = S \times (h_1 - h_2)$$

Compte tenu des incertitudes absolues Δ , la mesure du débit est :

$$Q \pm \Delta Q = (S \pm \Delta S) \times (h_1 \pm \Delta h - h_2 \pm \Delta h)$$

$$Q \pm \Delta Q = Q \pm (S \times 2\Delta h + (h_1 - h_2) \times \Delta S + \Delta S \times 2\Delta h)$$

Pour les capteurs de niveau, l'incertitude absolue est la plus souvent exprimée en pourcentage de la plage de mesure $\Delta h = \delta_h \times H$.

L'incertitude sur la mesure de la surface peut être exprimée de la même façon

$$\Delta S = \delta_S \times S$$

Par ailleurs, étant très petit, le terme $\Delta S \times 2\Delta h$ peut être négligé.

$$\Delta Q \approx 2\delta_h \times (S \times H) + \delta_S \times (S \times (h_1 - h_2))$$

$$\Delta Q \approx 2\delta_h \times V_{tot} + \delta_S \times Q$$

Si la surface est connue avec une précision acceptable (de l'ordre de quelques %), pour des débits faibles, le terme prépondérant de l'incertitude sur la mesure de débit est $2\delta_h \times V_{tot}$.

Sur le matériel courant, les capteurs ont une précision de l'ordre de 0.5 % de l'étendue de la mesure.

$$\Delta Q \approx 1\% \times V_{tot}$$

Pour les réservoirs à géométrie simple, l'incertitude absolue du comptage du débit par mesure de niveau est de l'ordre de 1 % du volume du réservoir. Pour les réservoirs à géométrie plus complexe cette incertitude est aggravée par celle liée à l'incertitude sur les dimensions de l'ouvrage.

Ce type de mesure est donc à réserver à des réservoirs de petit volume (moins de 100 m³) et à géométrie simple.

b) Incertitude sur le débit nocturne des secteurs

L'incertitude absolue sur le débit nocturne calculé pour chaque secteur est égale à la somme des incertitudes absolues de chacun des comptages concernant le secteur.

Pour les comptages existants, la valeur maximale de l'incertitude peut être calculée à partir des débits nocturnes enregistrés et des caractéristiques métrologiques du comptage.

Pour les comptages projetés, en l'absence d'information sur les débits nocturnes, l'estimation de la valeur maximale de l'incertitude absolue ne peut pas être effectuée avec précision. Une approche permettant de déterminer une limite supérieure de cette incertitude peut toutefois être proposée. Deux cas doivent être distingués.

(1) Cas des secteurs ne faisant pas intervenir de mesure de niveau et dépendant d'un seul comptage ou dont le débit résulte de la somme de plusieurs débits positifs.

Il s'agit du cas le plus simple. En effet, dans cette configuration, il n'est pas utile de calculer l'incertitude absolue, le débit résultant aura toujours une incertitude relative inférieure ou égale à la plus élevée des incertitudes relatives des comptages.

Si, $\sum Q_i = Q$, $\sum \Delta Q_i = \Delta Q$, $\forall i Q_i \geq 0$ et $\delta_{\max} = \text{MAX}(\frac{\Delta Q_i}{Q_i})$

Alors, $\forall i, \frac{\Delta Q_i}{Q_i} \leq \delta_{\max} \Rightarrow \frac{\Delta Q_i}{Q_i} \times Q_i \leq \delta_{\max} \times Q_i \Rightarrow \Delta Q_i \leq \delta_{\max} \times Q_i$

D'où, $\sum \Delta Q_i \leq \delta_{\max} \times \sum Q_i \Rightarrow \Delta Q \leq \delta_{\max} \times Q \Rightarrow \frac{\Delta Q}{Q} \leq \delta_{\max}$

Si les compteurs ont tous un débit minimal compatible avec les débits mesurés, l'incertitude relative du débit du secteur sera toujours inférieure ou égale à 5 %.

(2) Cas des secteurs faisant intervenir plusieurs comptages et pour lesquels certains débits sont soustraits ou négatifs

Dans cette configuration, seule l'incertitude absolue a un sens ce qui fait intervenir la plage de débits mesurés.

Pour les comptages indépendants des pompages, en l'absence d'usager atypique, les débits nocturnes mesurés, qui correspondent aux consommations nocturnes et aux pertes, sont a priori inférieurs à 50 % du débit nominal. **L'incertitude absolue est alors inférieure à 1 % de Q_n pour les compteurs et à $900 \times \pi \times D^2 \times E$ pour les débitmètres** (D diamètre en m, E précision au-delà de 0.5 m/s).

Pour les comptages liés à des pompages, le débit nocturne enregistré ne dépend pas directement des débits appelés, il est lié aux règles de fonctionnement des pompages :

- Si le pompage ne fonctionne jamais pendant la période nocturne, l'incertitude absolue à prendre en compte est nulle.
- Si le pompage fonctionne pendant la période nocturne, l'incertitude absolue est égale à $I_r \times Q_p$, avec Q_p débit de pompage et I_r incertitude relative du comptage.

Pour les mesures de niveau, l'incertitude absolue est de l'ordre de $2\delta_h \times V_{tot}$, δ_h étant la précision du capteur et V_{tot} le volume du réservoir.

L'incertitude absolue sur le débit nocturne du secteur est inférieure à la somme des incertitudes ainsi calculées.

En pratique, les secteurs faisant intervenir un pompage en refoulement distribution sont ceux pour lesquels des conditions acceptables d'incertitude sur la mesure sont les plus difficiles à obtenir.

3. Incertitude sur le calcul du PseudoIPL

$PseudoIPL = \frac{Q_{nuit} \times 24}{L}$ avec L longueur de réseau du secteur en km.

L'incertitude relative s'exprime comme suit :

$$\frac{\Delta PseudoIPL}{PseudoIPL} = \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta L}{L}$$

Remarque : L'incertitude relative concernant la longueur du réseau, n'intervient que lorsqu'il s'agit de comparer entre eux les PseudoIPL de secteurs différents. Si l'objectif est de mesurer les variations du PseudoIPL sur un secteur donné, L est une constante et l'incertitude de sa mesure est à considérer comme une erreur systématique.

Comme précédemment, 2 cas peuvent être envisagés.

a) Cas des secteurs ne faisant pas intervenir de mesure de niveau et dépendant d'un seul comptage ou dont le débit résulte de la somme de plusieurs débits positifs.

Dans les cas simples, il a été vu que $\frac{\Delta Q}{Q} \leq 5\%$, donc $\frac{\Delta PseudoIPL}{PseudoIPL} \leq 5\% + \frac{\Delta L}{L}$

En conséquence, dans cette configuration, si la longueur du réseau du secteur est connue avec une bonne précision (par exemple de l'ordre de 2%), l'incertitude relative sur le PseudoIPL reste modérée et autorise une exploitation des mesures, y compris pour des secteurs de faible longueur tant que le débit minimal du comptage est atteint.

b) Cas des secteurs faisant intervenir plusieurs comptages et pour lesquels certains débits sont soustraits ou négatifs

Dans ce contexte, l'incertitude relative sur le débit $\frac{\Delta Q}{Q}$ n'est pas encadrée et il convient donc de raisonner avec l'incertitude absolue ΔQ .

$$\frac{\Delta PseudoIPL}{PseudoIPL} = \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta L}{L} = \frac{24 \times \Delta Q}{L \times PseudoIPL} + \frac{\Delta L}{L}$$

donc, pour une incertitude relative sur la mesure de la longueur du réseau ($\frac{\Delta L}{L}$) et une incertitude absolue sur le débit (ΔQ) données, l'incertitude relative sur le pseudoIPL est d'autant plus faible que le réseau est long.

Pour obtenir une précision acceptable, après avoir optimisé la précision sur la mesure des débits et des longueurs, le concepteur pourra être amené à opter pour des secteurs plus importants (ce qui par ailleurs peut parfois limiter le nombre de comptages).

Au stade de la conception, les valeurs prises par PseudoIPL étant inconnues, il est proposé de se référer aux limites inférieures (PseudoIPL_{min}) en fonction de la densité linéaire d'abonnés, telles qu'observées sur les collectivités étudiées.

$$\frac{\Delta PseudoIPL}{PseudoIPL} \leq \frac{24 \times \Delta Q}{L \times PseudoIPL_{min}} + \frac{\Delta L}{L}$$

| Densité linéaire d'abonnés | PseudoIPL _{min} | Incertitude relative sur le PseudoIPL |
|----------------------------|--------------------------|---|
| Inférieure à 15 ab/km | 1 m ³ /km.j | $\frac{\Delta PseudoIPL}{PseudoIPL} \leq \frac{24 \times \Delta Q}{L} + \frac{\Delta L}{L}$ |
| Entre 15 et 20 ab/km | 2 m ³ /km.j | $\frac{\Delta PseudoIPL}{PseudoIPL} \leq \frac{12 \times \Delta Q}{L} + \frac{\Delta L}{L}$ |
| Supérieure à 20 ab/km | 3 m ³ /km.j | $\frac{\Delta PseudoIPL}{PseudoIPL} \leq \frac{8 \times \Delta Q}{L} + \frac{\Delta L}{L}$ |

4. Exemples de calculs d'incertitude

a) Exemple 1 : Secteur S10 du SIAEP de la Vallée de l'ISLE

(1) Caractéristiques du secteur

| Dénomination du secteur | Formule de calcul du débit | Longueur du réseau | Nombre d'abonnés | Densité linéaire abonnés |
|-------------------------|----------------------------|--------------------|------------------|--------------------------|
| S10 | $S10 = V11$ | 22 km | 197 | 9 Ab/km |

(2) Caractéristiques des comptages

Le secteur est concerné par un seul comptage.

| Dénomination | Type | Diamètre | Qmin | Qt | Qn | Qmax |
|--------------|----------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| V11 | Compteur | 80 mm | 0.5 m ³ /h | 0.8 m ³ /h | 120 m ³ /h | 200 m ³ /h |

(3) Vérification des débits minimaux requis

$$Q_{\min} \leq \frac{L \times PseudoIPL_{\min}}{24}$$

| Comptage | Réseau aval | Abonnés | Densité | PseudoIPLmin | Qmin requis | Qmin compteur |
|----------|-------------|---------|---------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| V11 | 22 km | 197 | 9 Ab/km | 0.5 m ³ /km.j | 0.46 m ³ /h | 0.5 m ³ /h |

Le débit minimum du compteur V11 est trop élevé pour mesurer avec une incertitude maîtrisée les débits nocturnes attendus.

(4) Incertitude sur le débit nocturne du secteur

S'agissant d'un comptage unique, l'incertitude relative de la mesure est inférieure à 5 % pour tous les débits mesurés supérieurs à $Q_{\min} = 0.5 \text{ m}^3/\text{h}$.

(5) Incertitude sur le PseudoIPL

$$\frac{\Delta PseudoIPL}{PseudoIPL} \leq 5\% + \frac{\Delta L}{L}$$

En l'absence d'informations plus précises sur l'incertitude de la mesure de la longueur du réseau, l'information étant fournie au km près, il peut être considéré

que $\Delta L = 0.5 \text{ km}$ soit $\frac{\Delta L}{L} = \frac{0.5}{24} = 2\%$

En conséquence $\frac{\Delta PseudoIPL}{PseudoIPL} \leq 7\%$

(6) Conclusion

Les données mesurées sur ce secteur ne posent pas de problème d'exploitation, il est toutefois probable que certains débits nocturnes soient inférieurs au débit minimum du compteur. Ce risque pourrait par exemple être réduit par la pose d'un compteur de même type et de diamètre 65. Les caractéristiques métrologiques seraient a priori suffisantes pour un secteur de cette taille.

| Type | Diamètre | Qmin | Qt | Qn | Qmax |
|----------|----------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Compteur | 65 mm | 0.4 m ³ /h | 0.8 m ³ /h | 70 m ³ /h | 120 m ³ /h |

b) Exemple 2 : Secteur S03 du SIA du canton de Guîtres

(1) Caractéristiques du secteur

| Dénomination du secteur | Formule de calcul du débit | Longueur du réseau | Nombre d'abonnés | Densité linéaire abonnés |
|-------------------------|---------------------------------|--------------------|------------------|--------------------------|
| S03 | $S03 = C03a + C03b - C05 - C11$ | 67.7 km | 1473 | 22 Ab/km |

(2) Caractéristiques des comptages

| Dénomination | Type | Marque | Diamètre mm | Qmin m ³ /h | Qn m ³ /h (V=2 m/s) | E |
|--------------|------------|---------|-------------|------------------------|--------------------------------|-------|
| C03a | Débitmètre | DANFOSS | 125 | 2.2 | 88 | 0.5 % |
| C03b | Débitmètre | ABB | 80 | 0.24 | 36 | 0.5 % |
| C05 | Débitmètre | ABB | 65 | 0.15 | 24 | 0.5 % |
| C11 | Débitmètre | DANFOSS | 150 | 3.2 | 127 | 0.5 % |

(3) Vérification des débits minimaux requis

$$Q_{\min} \leq \frac{L \times PseudoIPL_{\min}}{24}$$

| Comptage | Réseau aval | Abonnés | Densité | PseudoIPLmin | Qmin requis | Qmin compteur |
|----------|-------------|---------|----------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| C03a | ? | ? | ? | ? | ? | 2.2 m ³ /h |
| C03b | ? | ? | ? | ? | ? | 0.24 m ³ /h |
| C05 | 35.7 | 455 | 13 ab/km | 0.5 m ³ /km.j | 0.74 m ³ /h | 0.15 m ³ /h |
| C11 | 212.5 | 2309 | 11 ab/km | 0.5 m ³ /km.j | 4.43 m ³ /h | 3.2 m ³ /h |

Les débits minimaux des compteurs C05 et C11 sont compatibles avec les débits nocturnes attendus.

(4) Incertitude sur le débit nocturne du secteur

Pour les débitmètres, pour un débit nocturne correspondant à une vitesse d'écoulement inférieure à 1 m/s : $\Delta Q_{\text{nit}} \leq 900 \times \pi \times D^2 \times E$

| Dénomination | Diamètre mm | Qn/2 (V=1 m/s) m ³ /h | E | Incertitude (m ³ /h) |
|----------------------|-------------|--|-------|------------------------------------|
| C03a | 125 | 44 | 0.5 % | 0.22 |
| C03b | 80 | 18 | 0.5 % | 0.09 |
| C05 | 65 | 12 | 0.5 % | 0.06 |
| C11 | 150 | 64 | 0.5 % | 0.32 |
| Total secteur | | | | 0.69 |

$$\Delta Q_{\text{nit}} \leq 0.69 \text{ m}^3/\text{h}$$

(5) Incertitude sur le PseudoIPL

$$\frac{\Delta P_{\text{pseudoIPL}}}{P_{\text{pseudoIPL}}} \leq \frac{24 \times \Delta Q}{L \times P_{\text{pseudoIPL}_{\text{min}}}} + \frac{\Delta L}{L}$$

La densité linéaire d'abonnés étant supérieure à 20 : $P_{\text{pseudoIPL}_{\text{min}}} \geq 3 \text{ m}^3/\text{km.j}$

$$\frac{\Delta P_{\text{pseudoIPL}}}{P_{\text{pseudoIPL}}} \leq \frac{24 \times 0.69}{67.7 \times 3} + \frac{\Delta L}{L}$$

$$\frac{\Delta P_{\text{pseudoIPL}}}{P_{\text{pseudoIPL}}} \leq 8\% + \frac{\Delta L}{L}$$

Dans l'hypothèse $\frac{\Delta L}{L} \leq 2\%$, $\frac{\Delta P_{\text{pseudoIPL}}}{P_{\text{pseudoIPL}}} \leq 10\%$

(6) Conclusion

La conception du secteur permet une exploitation correcte des mesures et aboutie à une incertitude relative sur le PseudoIPL inférieure à 10 %.

Le débit minimal requis des comptages C03a et C03b n'a pas pu être évalué dans la mesure ou ces 2 compteurs alimentent la même zone. Toutefois, s'agissant de débitmètres, l'incertitude absolue pour les faibles débits est constante ($(\Delta Q)_{\text{min}} = 450 \times \pi \times D^2 \times E$) et correspond à la moitié de l'incertitude prise en compte dans les calculs. En conséquence, l'évaluation des incertitudes effectuées sera valide même si C03a et C03b travaillent dans des plages de débits faibles.

B. Recueil des données

1. Données relatives au système et à son fonctionnement.

L'expérience montre que les données relatives au système et à son exploitation ne sont pas toujours facilement accessibles et que leur forme n'est pas homogène. Il importe donc de les hiérarchiser et de préciser leur expression.

Toutes les informations détaillées ci-après doivent être fournies au niveau du secteur. Elles doivent faire l'objet d'une mise à jour au moins annuelle.

a) Informations incontournables

| Donnée | Unité | Commentaire |
|------------------|-------|--------------------------------------|
| Longueur réseau | km | Longueur de réseau hors branchements |
| Nombre d'abonnés | u | Source fichier facturation |

Ces données intervenant dans les calculs de ratios (PseudolPL et densité linéaire d'abonnés) il convient de les acquérir avec le maximum de précision.

b) Informations nécessaires à l'analyse des évolutions par secteur

(1) Réparation des fuites et casses

| Donnée | Commentaire |
|--------------------------------|---|
| Données de base | |
| Date réparation | Précision de l'heure souhaitable |
| Localisation réparation | Adresse complète avec précision de la canalisation concernée en cas de doute possible |
| Organe réparé | Réseau, branchement, autre, ... |
| Type réparation | Casse, perforation, joint, ... |
| Données complémentaires | |
| Cause intervention | Fuite signalée ou visible, perturbation distribution, recherche de fuite, ... |
| Débit de fuite | Appréciation pouvant être qualitative |

Nota : Il s'agit ici des informations utiles à la compréhension des débits. Le suivi des réparations dans l'optique de définir des stratégies de renouvellement nécessite une description beaucoup plus précise et détaillée des réparations.

(2) Evènements d'exploitation influençant les débits

| Donnée | Commentaire |
|------------------------|---|
| Date début évènement | Et heure si pertinent |
| Date fin évènement | Idem |
| Localisation évènement | Adresse complète avec précision de la canalisation concernée en cas de doute possible |
| Type évènement | Utilisation PI, purge, vidange réservoir, coupure, maillage, ... |
| Débit concerné | Estimé le cas échéant |

(3) Consommateurs nocturnes

| Donnée | Commentaire |
|-----------------------------------|--|
| Désignation consommateur | |
| Localisation consommateur | Adresse complète |
| Type de consommation | Abreuvement, eaux de process, lavage, ... |
| Débit nocturne | Eventuellement modulé selon les périodes |
| Périodes de consommation nocturne | Permanent, estival, sauf week-end, etc.... |

Si un consommateur nocturne est desservi par plusieurs branchements, il faut s'assurer que ceux-ci concernent le même secteur, à défaut de quoi il convient de le scinder.

Un consommateur nocturne très important ayant une consommation fluctuante devra être équipé pour un suivi en continu des volumes.

c) Informations nécessaires à la caractérisation et à la comparaison des secteurs

| Donnée | Unité | Commentaire |
|---|-------|---|
| Points de prélèvement | | |
| Nombre de branchements | u | Il s'agit des branchements physiques, en service ou non |
| Nombre de prises d'eau | u | PI, bouches de lavage, bornes fontaines, ... |
| Nombre de purges et vidanges | u | |
| Canalisations | km | Longueur de chacun des sous-ensembles |
| Matériaux | | Fonte, acier, PVC, PEHD, ... |
| Diamètre | mm | Diamètre nominal |
| Date de pose | an | Eventuellement par tranche |
| Autre | | |
| Pression de service | bars | Pression moyenne du secteur |
| Robinetterie et appareils de régulation | u | Vannes, ventouses, régulateurs de pression, ... |

2. Données relatives aux mesures

a) Données caractéristiques des comptages

| Donnée | Commentaire |
|---|------------------------------|
| Données générales | |
| Désignation du comptage | Code, lieu dit |
| Type de comptage | Compteur, débitmètre, niveau |
| Références | Marque, modèle |
| Alimentation électrique | Secteur, pile |
| Liaison téléphonique | RTC, GSM |
| Sens de comptage | Sens unique, double sens |
| Compteurs | |
| Diamètre | En mm |
| Débit minimal | En m ³ /h |
| Débit de transition | En m ³ /h |
| Débit nominal | En m ³ /h |
| Débit maximum | En m ³ /h |
| Classe métrologique | A, B ou C |
| Valeur d'impulsion | En m ³ /h |
| Débitmètres | |
| Diamètre | |
| Précision au-delà de 0.5 m/s | En % |
| Précision en dessous de 0.5 m/s | Formule |
| Niveaux | |
| Type de capteur | |
| Précision de la mesure de hauteur | |
| Volume utile du réservoir | |
| Surface du plan d'eau | |
| Hauteur de mesure | |
| Précision sur la géométrie de l'ouvrage | |

b) Formules de calcul des débits des secteurs

Les formules de calcul des débits des secteurs peuvent être représentées sous forme d'une matrice :

| | | SECTEURS | | | | | | TEST |
|-----------|----|----------|----|----|----|----|----|------|
| | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | |
| COMPTAGES | C1 | 1 | | | | | | 1 |
| | C2 | -1 | 1 | | | | | 0 |
| | C3 | -1 | | 1 | | | | 0 |
| | C4 | -1 | | 1 | | | | 0 |
| | C5 | -1 | | | 1 | | | 0 |
| | C6 | | | -1 | | 1 | | 0 |
| | C7 | | | -1 | | | 1 | 0 |
| | C8 | | | | | -1 | | -1 |
| | | | | | | | | 0 |

Les comptages étant positifs de l'amont vers l'aval, pour chaque secteur ils sont affectés de la valeur +1 pour les débits entrant et -1 pour les débits sortant.

Par convention, pour les stockages, le débit est positif pour le débit entrant dans le réservoir et négatif pour le débit sortant du réservoir.

Dans la colonne « TEST » qui est la somme des secteurs, les comptages correspondant à des productions doivent avoir la valeur +1, ceux correspondant à des stockages la valeur -1 et tout les autres une valeur nulle. Cette colonne correspond par ailleurs à la formulation du débit de l'ensemble du service.

c) Mesures de débit

Compte tenu de la faiblesse des débits à mesurer et des incertitudes grevant les mesures il semble judicieux de se limiter à un **pas de temps horaire**.

Pour permettre des exploitations fiables, il est important que les mesures soient **synchronisées**. Une mesure à l'heure pile sera plus simple à exploiter.

La valeur du débit affectée à une mesure à un instant donné est le volume comptabilisé dans l'heure précédant cet instant. Ainsi pour faciliter l'affectation à la journée concernée, le débit mesuré en fin de journée doit être considéré comme le débit du jour J à 24 heures plutôt que comme celui du jour J+1 à 0 heure.

Le nombre de chiffres significatifs avec lequel est restituée la mesure doit être cohérent avec la précision de la mesure. Compte tenu de la variabilité de cette précision en fonction des comptages, il est souhaitable quand le matériel l'autorise de disposer d'une valeur délivrée au centième de m^3/h ($0.01 \text{ m}^3/\text{h}$). En aucun cas, il ne faut excéder le dixième de m^3/h ($0.1 \text{ m}^3/\text{h}$).

Il convient de rapatrier l'ensemble des mesures et d'en assurer l'archivage et le stockage sous la forme suivante :

| |
|---------------------------|
| Donnée |
| Identifiant du comptage |
| Date heure minute |
| Débit horaire du comptage |

Ces données de base sont le socle de toutes les exploitations ultérieures. Leur format de stockage doit permettre une importation aisée vers un tableur ou une base de donnée.

L'obtention de ces données de base nécessite parfois un traitement simple des données brutes, notamment en cas de pas de temps infra-horaire, de données cumulées, de comptage dans les 2 sens.

d) Traitement des données

Le traitement des données doit répondre à plusieurs objectifs :

- Le suivi quotidien du réseau et la détection des fuites et anomalies.
- L'analyse des évolutions à moyen et long terme.
- La comparaison des secteurs entre eux.

Un premier traitement consiste à calculer les débits horaires des secteurs. Cette donnée doit suivre les mêmes règles de stockage et d'archivage que les débits des compteurs.

| |
|--------------------------|
| Donnée |
| Identifiant du secteur |
| Date heure minute |
| Débit horaire du secteur |

A partir de ce débit, sont calculés les indicateurs journaliers.

| Donnée | Commentaire |
|--|--|
| Identifiant du secteur | |
| Date | |
| Débit moyen horaire journalier Q_{moyen} | Moyenne des 24 débits horaires mesurés de 1 heure à 24 heures (plage 0h - 24h) |
| Débit moyen horaire nocturne Q_{nuit} | Moyenne des 4 débits horaires mesurés de 2 heures à 5 heures (plage 1h - 5h) |
| Débit horaire minimum nocturne Q_{mini} | Minimum des 4 débits horaires mesurés de 2 heures à 5 heures (plage 1h - 5h) |
| Pseudo indice linéaire de pertes PseudolPL | $\text{PseudolPL} = Q_{\text{nuit}} \times 24 / L_{\text{réseau}}$ en $\text{m}^3/\text{km.j}$ |

Le choix de la plage 1 heure - 5 heures pour définir le débit de nuit résulte des études de cas. Il en est de même pour le choix d'un calcul du PseudolPL à partir du débit moyen nocturne plutôt qu'en fonction du débit minimum nocturne.

Ces indicateurs doivent également faire l'objet d'un stockage et d'un archivage exhaustif compatible avec une exploitation aisée sur tableur ou base de données.

Au niveau local (Poste central du service), des exploitations peuvent être développées sous forme de bilans journaliers, hebdomadaires ou mensuels afin de mettre en évidence les fuites et autres anomalies. Il est important que ces traitements prévoient des tests mettant en évidence les défauts de comptage. Par exemple, identification d'un débit moyen journalier nul pour un comptage, existence d'un débit horaire négatif sur un secteur. La comparaison d'un ou plusieurs indicateurs avec des seuils de consigne couplée à une représentation graphique peut utilement être mise en place. Il est alors indispensable que les seuils puissent être paramétrés pour chaque secteur par l'utilisateur local.

Concernant l'analyse des évolutions et la comparaison des secteurs entre eux, un certain nombre de traitements ont été mis en œuvre sur les cas étudiés. Il s'agissait notamment de représentations graphiques de l'évolution des indicateurs journaliers sur la période de mesure, de la mise en perspective des évolutions du PseudolPL et des interventions sur réseau, de l'analyse des corrélations entre la densité linéaire des abonnés des secteurs et de la moyenne sur la période de mesure du PseudolPL.

De nombreux autres traitements visant à relier entre eux des indicateurs représentatifs des débits d'une part et des caractéristiques des secteurs d'autre part ont été effectués. Ils n'ont pas été mentionnés dans le présent rapport faute de résultat probant ou du fait de la faiblesse des données exploitables.

A l'issue de la présente étude, il serait prématuré de définir des traitements de données globaux et d'application systématique. Toutefois, la formalisation des données recueillies, des indicateurs calculés et de leur mode de stockage tels qu'indiqués ci-avant devrait permettre d'avancer dans cette voie.

C. Implication des acteurs

1. Concepteurs et constructeurs

La conception et la réalisation sont déterminantes pour une bonne valorisation de la sectorisation. Les points clés mis en évidence par la présente étude sont :

- Un choix judicieux des systèmes de comptage permettant des mesures avec une incertitude maîtrisée compatible avec les débits en œuvre.
- Une définition des secteurs intégrant la problématique de la fiabilité de la mesure.
- La mise en place de systèmes d'acquisition et de transmission de données compatibles avec la précision et la fréquence requise pour le rapatriement des données.
- Une organisation du stockage, du traitement et de l'archivage des données autorisant et facilitant leur exploitations locale et globale, présente et future.

Ces impératifs peuvent conduire à renoncer à l'utilisation de matériel déjà en place ainsi qu'à la mise en place de dispositifs provisoires de mesure. Des adaptations des logiciels d'exploitation de la télégestion peuvent être nécessaires.

La prise en compte de ces contraintes dans le cadre des projets futurs de sectorisation serait améliorée par une sensibilisation des concepteurs et constructeurs intervenant dans le domaine.

2. Maîtres d'ouvrages et exploitants

Pour faire vivre une sectorisation, il convient d'organiser l'acquisition et le suivi des données utiles à sa valorisation. Il importe notamment :

- De collecter et de tenir à jour les informations structurelles relatives au réseau.
- D'organiser le recueil des informations concernant les interventions sur réseau.
- D'assurer la surveillance et la maintenance des appareils afin de garantir la permanence de la mesure.
- De recueillir et d'archiver les données mesurées.
- De valoriser l'ensemble des informations pour lutter contre les fuites.

Le suivi de la sectorisation nécessite donc une forte implication du maître d'ouvrage et de son exploitant.

Dans le cas d'une gestion déléguée, le contrat de délégation doit prévoir les charges incombant respectivement au délégataire et à la collectivité, il doit garantir à la collectivité un accès total aux informations utiles et permettre la continuité et la pérennité de la sectorisation en fin de contrat.

Pour les équipements de télégestion, il importe donc que la collectivité en soit propriétaire ou que les conditions de reprise en fin de contrat soient garanties. Il ne faut pas que dans le cadre de son exploitation le délégataire puisse être amené à effectuer des modifications de paramétrage préjudiciables au fonctionnement de la sectorisation.

Dans le cas de plans de réseau informatisés, il est souhaitable que leurs modes de mise en œuvre et de mise à jour permettent l'obtention et l'actualisation des informations sur le réseau utiles à la sectorisation.

3. Acteurs de la mise en œuvre du SAGE

La sectorisation est un outil qui permet de mieux connaître la nature, la localisation, l'ampleur et l'évolution des pertes d'eau dans les réseaux de distribution. En conséquence elle doit conduire à une meilleure réactivité pour la réparation des fuites importantes et améliorer les stratégies visant à lutter contre les fuites diffuses. La généralisation de cette technique est donc un apport important pour progresser dans les économies d'eau.

En parallèle à cette politique d'investissement, se pose la question de son suivi et de son évaluation. Les objectifs suivants pourraient être poursuivis :

- S'assurer du bon fonctionnement des dispositifs de sectorisation réalisés.
- Mesurer les évolutions des pertes dans les réseaux.
- Identifier les facteurs déterminants expliquant le niveau des pertes.
- Fixer des objectifs de réduction des pertes en eau.
- Evaluer l'efficacité des politiques mises en œuvre pour réduire les pertes dans les réseaux de distribution.

L'outil d'un tel suivi pourrait être un « observatoire de la sectorisation » chargé de collecter et de traiter les informations issues des sectorisations mises en place par les collectivités.