

# Résultats de l'expertise des débitmètres parisiens

D. Giraud

SAGEP

X. Heber-Suffrin

CEP

J.L. Guillerrou

Eau et Force SPE

## 1. Introduction

A Paris, la SAGEP (producteur) vend l'eau « en gros » aux deux sociétés distributrices Compagnie des Eaux de Paris et Eau et Force Parisienne des Eaux ; il est donc nécessaire de disposer, pour la facturation, d'un système de comptage précis et fiable, ce qui a conduit les trois sociétés à mener, entre janvier 1992 et mars 1993, une campagne de vérification et de contrôle pour l'ensemble du dispositif, sous la forme d'une expertise technique.

Celle-ci a été confiée à Monsieur Georges MAURIN, Président de la Société Hydrotechnique de France, Inspecteur Général honoraire EDF GDF, assisté par Monsieur Henri ANDRÉ, ancien Chef d'Unité à Electricité de France, Professeur chargé de cours honoraire à l'Ecole Hydraulique de Grenoble, qui ont réuni les spécialistes les plus compétents et réalisé de nombreux essais notamment avec le concours de la Division Technique Générale d'Electricité de France.

Ce sont les résultats et conclusions de l'ensemble de ces travaux, qui concernent pour l'essentiel les débitmètres ultrasoniques monocordes, qui sont présentés ici.

Les appareils de mesure fournis par les constructeurs présentent, en général, les qualités requises pour donner des volumes avec une précision meilleure que deux pour cent. Toutefois, il apparaît que leur mise en œuvre, le soin apporté à leur installation, l'exactitude et la précision du paramétrage sont les facteurs essentiels de leur exactitude future. Des conditions hydrauliques médiocres, une imprécision dans les mesures géométriques, un mauvais positionnement des sondes risquent en effet d'endommager la qualité de la mesure. Enfin, des contrôles périodiques

rigoureux, en particulier la vérification du zéro hydraulique, sont indispensables pour éviter d'éventuelles dérives.

## 2. Le choix initial des débitmètres

Pour mesurer et facturer l'eau, la SAGEP dispose d'un ensemble de compteurs placés :

- en périphérie pour mesurer les volumes introduits dans Paris (17 appareils) ;
- sur la Seine pour mesurer les volumes transitant d'une rive à l'autre (18 appareils).

Ces 35 compteurs, placés sur des conduites dont les diamètres varient entre 400 mm et 2 500 mm, mesurent chaque année environ 260 millions de m<sup>3</sup> en périphérie, et 117 millions de m<sup>3</sup> transitant de la rive gauche vers la rive droite de la Seine.

On peut rappeler qu'actuellement, la mesure des débits dans les réseaux d'eau potable fait appel soit aux débitmètres électromagnétiques, soit aux débitmètres ultrasoniques et, pour ces derniers, on peut avoir recours aux appareils monocordes ou multicordes.

En 1985, la Ville de Paris a adopté le système ultrasonique monocorde.

Les considérations qui ont conduit au choix de ce type de comptage ont été d'ordre technique et financier. En effet, un débitmètre ultrasonique à sondes intrusives est d'un coût moindre qu'un débitmètre électromagnétique monté sur manchette, mais surtout, son implantation sur le site, ou son remplacement ne nécessite pas d'arrêt d'eau d'une part, et d'autre part, dans une ville où 80 % des

### Expert appraisal concerning Paris flowmeters

*The authors present the results of an expert appraisal carried out on Paris drinkable water network. The measures were executed thanks to ultrasonic single rope flowmeters. If the flowmeters are periodically controlled and well installed, the measurement precision may be of 2 percent.*

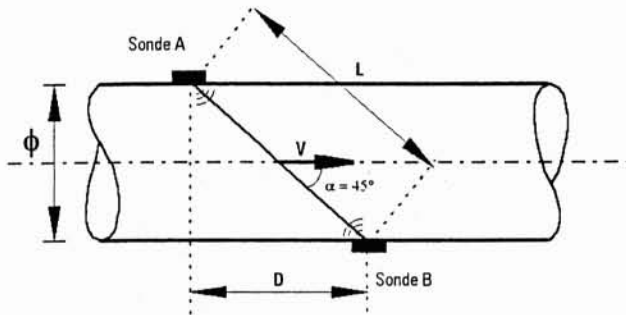
canalisations sont placées en égouts ou galeries visitables, toutes les opérations de maintenance peuvent être réalisées sans ouvrir les chaussées.

C'est ainsi qu'à l'origine, sur les 35 appareils installés, on dénombrait 32 débitmètres à ultrasons monocordes et 3 débitmètres électromagnétiques, ces derniers ayant été placés sur des conduites de grand diamètre pour lesquelles les longueurs droites disponibles aux points imposés contractuellement étaient très insuffisantes.

### 3. Les causes d'erreur du débitmètre ultrasonique monocorde

#### 3.1. Rappel du principe

Dans un appareil ultrasonique, la mesure du débit est basée sur la modification du temps de parcours d'une onde ultrasonore par la vitesse du fluide.



#### 1. Principe de la mesure du débit dans un appareil ultrasonique.

En effet, l'appareil mesure la différence de temps de parcours ( $\Delta T$ ) entre une onde issue de A, se dirigeant vers B et une onde issue de B se dirigeant vers A.

A partir de cette mesure, le débit  $Q$  peut s'exprimer par la formule :

$$Q = \Pi \times \frac{\Phi^2}{4} \times \frac{1}{K} \times \frac{L^2}{2D} \times \frac{\Delta T}{T^2} \quad (1)$$

dans laquelle :

- $\Phi$  est le diamètre intérieur de la conduite
- $L$  la distance entre les sondes
- $D$  la distance entre les plans des sondes
- $T$  le temps moyen de parcours entre A et B
- $K$  un coefficient hydraulique.

#### 3.2. Causes d'erreur

La formule (1) nous montre que la précision de la mesure est liée aux incertitudes qui portent sur :

- la géométrie ( $\Phi$ ,  $L$ ,  $D$ ),
- l'électronique ( $T$ ,  $\Delta T$ ),
- l'hydraulique ( $K$ ).

##### 3.2.1. Incertitude géométrique

Elle dépend essentiellement du soin apporté à l'implantation des sondes et à la précision de la mesure des caractéristiques géométriques de la canalisation.

Une manchette de mesure réalisée en usine et insérée dans la canalisation permettrait de réduire les erreurs ; mais pour les conduites de grand diamètre, l'implantation sur le site est la seule solution économique et il faut alors s'assurer que la corde de mesure  $AB$  passe par l'axe de la conduite et que son inclinaison par rapport à celui-ci est de  $45^\circ$ .

Par ailleurs la formule (1) montre clairement qu'une erreur sur la mesure de  $\Phi$ ,  $L$ , et  $D$ , entraînera une erreur amplifiée sur le débit  $Q$ .

Au cours des opérations d'expertise, les paramètres géométriques ont été relevés avec soin en pénétrant à l'intérieur des canalisations et on a constaté des différences importantes entre la réalité physique et les paramètres utilisés lors de la mise en service des compteurs, ces différences pouvant induire des écarts de comptage allant jusqu'à 10 % en certains points.

Enfin, l'influence de la position de la sonde par rapport à la paroi de la canalisation a été mise en évidence. En effet, une sonde trop enfoncée dans le fluide, ou trop en retrait dans le métal, introduit une erreur dans la mesure de la longueur  $L$ , et elle crée, de plus, des perturbations dans le profil des vitesses aux abords des parois, pouvant induire des écarts de comptage allant jusqu'à 8 % dans un cas extrême !

##### 3.2.2. Incertitude électronique

C'est celle du compteur lui-même. Sa précision est liée à celle de la mesure du terme  $\Delta T$ , c'est-à-dire la qualité des circuits utilisés et les principes de sa détermination. Les techniques actuelles permettent la mesure des temps à plus ou moins 3 nanosecondes, la précision diminue donc avec le débit.

Il faut ajouter à cette incertitude les erreurs de linéarité et de décalage du zéro.

On a constaté en particulier que les dérives de l'électronique au point zéro (lecture de l'appareil lorsque les vannes du bief concerné sont fermées et étanches), pouvaient avoir une grande influence sur les volumes comptés pendant une période donnée allant jusqu'à 3 % des volumes réellement passés.

Ces écarts étaient plus particulièrement remarquables sur les appareils ultrasoniques analogiques (un tel décalage a également été constaté sur un débitmètre électromagnétique analogique après vérification sur banc d'étalonnage).

Par ailleurs, les différentes vérifications ont montré que les erreurs dues à la linéarité n'excédaient pas 1 %.

Enfin, de nombreux tests ont été réalisés par les laboratoires spécialisés d'EDF sur un appareil ultrasonique numérique. Ils ont conclu que :

- le circuit imprimé est de bonne qualité,
- le travail d'assemblage est soigné,
- on ne note pas d'influence sensible de la température sur la mesure (les tests ont été réalisés entre  $-10^\circ\text{C}$  et  $+50^\circ\text{C}$ ),
- le totalisateur fonctionne de façon satisfaisante.

##### 3.2.3. Incertitude d'ordre hydraulique

Afin de se placer dans des conditions hydrauliques correctes, les constructeurs préconisent de respecter, pour l'implantation des appareils, des longueurs droites amont et aval minimales de 10 et 5 diamètres, afin d'avoir des profils symétriques et stables.

Or, l'expérience a montré que pour obtenir une bonne précision, il valait mieux respecter des longueurs droites amont et aval de 30 et 20 diamètres, sans singularité (vanes, clapets...).

En effet, dans le cas d'un pont (canalisation de diamètre 1 000 mm), deux coudes, l'un à 10 m en amont (à 90°), l'autre à 10 m en aval (à 30°) étaient responsables d'une sous-évaluation du volume mesuré par le compteur de l'ordre de 7 % alors que d'après la disposition des sondes par rapport aux coudes, les effets de ceux-ci ne devaient pas perturber la mesure.

Ces problèmes hydrauliques sont donc particulièrement complexes et la précision se dégrade rapidement si les conditions de symétrie et de stabilité du profil d'écoulement ne sont pas respectées.

Il convient donc, par prudence, de choisir des longueurs droites suffisantes pour s'en affranchir.

Enfin, l'appréciation du coefficient hydraulique  $K$  influence directement la précision obtenue sur le débit.

Les appareils monocordes à ultrasons mesurent en effet une vitesse moyenne sur la corde  $AB$  du trajet des ultrasons et l'affectent à la section toute entière, alors que les vitesses maximales, près du centre dans une conduite circulaire, ne concernent qu'une faible section centrale, et que les faibles vitesses, près de la paroi, correspondent à une grande section. Pour compenser cette erreur, l'électronique des appareils à ultrasons corrige la vitesse moyenne mesurée en la divisant par un coefficient correcteur  $K$  qui est généralement compris entre 1,03 et 1,10.

La valeur de ce coefficient est difficile à évaluer : on considère dans l'état actuel des connaissances qu'elle est fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité de la conduite car elle est en effet fonction de la forme du profil des vitesses en particulier près de la paroi.

Les mesures effectuées ont en général permis de retrouver des valeurs de  $K$  très proches de celles préconisées par le constructeur (et les normes utilisées en général), chaque fois que les sondes étaient correctement positionnées en enfoncement.

Toutefois, la valeur du coefficient hydraulique  $K$  n'est pas constante ; elle doit donc être choisie pour le nombre de Reynolds correspondant à la vitesse moyenne rencontrée en exploitation et non à la vitesse maximale (correspondant au débit maximum du débitmètre).

#### 4. Les nouveaux critères de choix

Par la suite, en raison de l'éclairage nouveau apporté par les Experts, Monsieur Georges MAURIN et Monsieur Henri ANDRÉ, les critères de choix des appareils se sont trouvés modifiés et les règles suivantes ont été adoptées :

1. Si les longueurs droites amont et aval sont suffisantes (respectivement 30 diamètres et 20 diamètres minimum), installation d'un débitmètre ultrasonique monocorde numérique.
2. Dans le cas contraire, si la conduite est facilement accessible et de diamètre inférieur à 1 500 mm, installation d'un débitmètre électromagnétique numérique, sinon, installation d'un débitmètre ultrasonique multicordes.

Ces nouvelles règles nous ont conduits à modifier le paysage des compteurs parisiens :

- sur le comptage de transfert, 4 points pour lesquels les longueurs droites n'étaient pas tout à fait satisfaisantes ont

été équipés de débitmètres électromagnétiques numériques. Il s'agit de canalisations de diamètre moyen (entre 500 mm et 1 000 mm) qui offraient de surcroît une certaine facilité de pose, d'autant que la grande dynamique de ces appareils permet de choisir un diamètre inférieur à celui de la conduite (pose entre cônes de 15° maximum) ;

- sur le comptage de périphérie, trois débitmètres ultrasoniques multicordes ont été placés sur des canalisations de grand diamètre, difficilement accessibles où les longueurs droites se révélaient légèrement insuffisantes.

Par ailleurs, les débitmètres (ultrasoniques et électromagnétiques) analogiques ont été remplacés par des appareils numériques.

#### 5. Mise en œuvre des compteurs à ultrasons

Nous avons examiné les principales causes d'erreur. Il s'en déduit un certain nombre de précautions à prendre lors de l'installation des appareils.

##### 5.1. Relevés géométriques

Le paramétrage des débitmètres nécessite certains relevés géométriques ( $L$  : distance entre sondes,  $\Phi$  : diamètre intérieur de la canalisation,  $D$  : distance entre plans de sondes). Ceux-ci doivent impérativement être effectués depuis l'intérieur de la conduite. Il est nécessaire, par ailleurs, que ces mesures soient réalisées à l'aide de matériel spécifique (jauge micrométrique, clinquant, fil à plomb, règles télescopiques, équerre à semelles...) et des méthodes de travail rigoureuses. Ces différents relevés doivent être confiés à des équipes de spécialistes disposant du matériel approprié et ayant l'habitude de ces méthodes de travail.

##### 5.2. Position des sondes, verrouillage

Afin d'éviter une éventuelle modification de la position des sondes, en enfoncement ou en rotation, on pourra mettre un point de colle ou de soudure entre la partie fixe et la partie mobile de la sonde ou tout autre système permettant de « verrouiller » la sonde dans sa position. Il est également nécessaire de repérer par un trait gravé, cette position d'origine.

##### 5.3. Coefficient hydraulique $K$

Les constructeurs fournissent, en général, les éléments qui permettent le choix de ce coefficient. On vérifiera qu'il correspond à un nombre de Reynolds calé sur la vitesse moyenne de l'eau dans les conditions habituelles de l'exploitation.

##### 5.4. Perturbations électriques et électromagnétiques

On préférera des coffrets métalliques aux coffrets en matière plastique, bien que les appareils numériques testés se soient révélés peu sensibles aux émissions d'appareils radio-émetteurs tels que « talkie-walkie » (essai réalisé en 400 MHz, 2 watts à 1 mètre) ou C.B. (87 MHz, 4 watts à 1 mètre).



Enfin, on placera un filtre « secteur » sur l'alimentation 220 volts, à proximité de l'entrée de l'appareil.

### 5.5. Aspect sécurité

Afin d'éviter tout risque de modification des paramètres du compteur à l'insu des responsables de l'exploitation, il convient de verrouiller ou de plomber l'accès au coffret de vérification et d'affichage des paramètres géométriques et hydrauliques.

## 6. Maintenance et vérifications ultérieures

### 6.1. Maintenance du dispositif

Si le compteur a été correctement installé et paramétré, les indications qu'il donne sont réputées correctes et la précision doit être, pour un point de comptage, meilleure que deux pour cent.

Toutefois, un certain nombre d'interventions périodiques sont nécessaires pour garantir un bon fonctionnement dans le temps :

— Vérification du zéro hydraulique tous les ans. Cette opération doit être menée avec le plus grand soin et la plus grande prudence. Pour s'assurer que le débit dans la conduite est vraiment nul, fermer et « souquer » à la main au moins une vanne de part et d'autre des sondes ; il est de plus indispensable de mettre au point un système permettant de contrôler que le débit est alors vraiment nul.

Si l'appareil indique une valeur significativement différente de zéro, on considérera que les vannes sont mal fermées et on les « souquera » plus vigoureusement. Au cours des essais, des débits à l'aval de vannes souquées de 100 m<sup>3</sup>/h à 400 m<sup>3</sup>/h ont été mesurés ; l'intervention d'une équipe plus musclée et prenant davantage de risques a permis de faire passer le débit de 400 m<sup>3</sup>/h à 0 m<sup>3</sup>/h sur une canalisation de 800 mm.

— Tous les six mois, vérification de la sortie intensité en simulant les débits  $Q_0$  et  $Q_{max}$  sur l'afficheur (0 ou 4 et 20 milliampères).

— Vérifier une fois par an que les sondes n'ont pas été déplacées depuis l'installation. En cas de changement de sondes, il faut obligatoirement refaire la mise en place normalisée ainsi que les mesures, au millimètre près, par l'intérieur de la conduite vidangée.

● On vérifiera par ailleurs :

- la cohérence des mesures : le pourcentage des rejets doit être inférieur à 30 % ;
- le pourcentage d'échos reçus qui doit être supérieur à 95 % ;

— le « gain auto ». S'il devient supérieur à la valeur initiale, contrôler l'enfoncement et l'orientation des sondes. Examiner dès que possible l'état de surface des sondes et celui du revêtement à leur pourtour : présence d'écailles de calcaire par exemple.

● Pour des débitmètres électromagnétiques, la dépose et le contrôle de l'appareil sur un banc d'étalonnage doivent être effectués tous les deux ans.

### 6.2. Les vérifications des débits

Après la mise en service puis dans le cadre de la maintenance, il est important de contrôler l'exactitude des débits par comparaison à un dispositif de référence. On dispose de plusieurs méthodes qui seront utilisées selon la qualité du contrôle que l'on souhaite et selon les possibilités liées à l'environnement.

Pour une bonne précision de contrôle (de l'ordre de 2 %), on utilisera l'une des méthodes suivantes :

- Jaugeage aux moulinets (méthode absolue de débit normalisée).
- Méthode thermodynamique.
- Comparaison avec une manchette électromagnétique étalonnée sur banc.

Pour un simple contrôle de la vraisemblance des débits, on utilisera :

- Comparaison avec des systèmes portables.
- Dépotage de réservoirs. A noter que, pour séduisante qu'elle soit, cette méthode nécessite d'opérer avec beaucoup de précautions (en particulier, on vérifiera que le réservoir ne se vide pas lorsque toutes les vannes sont fermées).

## 7. Conclusion

L'expertise du système de macro-comptage de Paris répondait à l'origine à un besoin économique : la qualité du comptage installé permettait-elle la juste facturation des volumes d'eau fournis en gros aux deux sociétés distributrices ?

Mais les vérifications, les contrôles, les études poussées qu'elle a nécessités ont permis d'apporter une conclusion que dans son rapport, Monsieur Georges MAURIN a résumée ainsi :

« Le déroulement de cette expertise nous a convaincu qu'en installant judicieusement des appareils de mesure de qualité et en procédant régulièrement aux vérifications périodiques nécessaires, on doit pouvoir connaître les volumes annuels qui transitent en un point considéré du réseau, avec une précision meilleure que deux pour cent et pour les volumes globaux annuels, avec moins de un pour cent d'erreur. »