

# Mesurage de l'infiltration d'eaux souterraines dans les réseaux d'assainissement par traçage des isotopes stables de la molécule d'eau.

Jérôme De Bénédictis<sup>1</sup>, Jean-Luc Bertrand-Krajewski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Unité de Recherche en Génie Civil. – INSA de Lyon - Bât. Coulomb – 34 Avenue des Arts  
69621 Villeurbanne Cedex

---

*RESUME.* Cette communication présente le principe d'une méthode de mesure de l'infiltration d'eaux souterraines dans les réseaux d'assainissement par utilisation des isotopes stables de l'oxygène de la molécule d'eau et son application sur le territoire du Grand Lyon. Dans le contexte lyonnais, on observe des différences significatives, pouvant atteindre 3 ‰ du ratio  $\delta^{18}\text{O}$ , entre les compositions isotopiques en oxygène des eaux souterraines ayant pour origine le Rhône, la Saône et leurs nappes alluviales respectives. L'eau potable distribuée sur le Grand Lyon provient pour l'essentiel de captages dans la nappe alluviale du Rhône. De ce fait, sur certains secteurs de l'agglomération, la différence de composition isotopique entre les eaux usées résultant de la consommation d'eau potable et les eaux souterraines locales peut être utilisée pour mesurer l'infiltration dans le réseau d'assainissement. L'application au bassin versant d'Ecully montre que le débit d'infiltration présente des fluctuations importantes à l'échelle horaire : il varie entre 15 et 40 m<sup>3</sup>/h. Cette variabilité pourrait être expliquée par des rejets de pompes non constants et par les variations du niveau d'eau dans les collecteurs.

*MOTS-CLÉS :* réseau d'assainissement, infiltration, isotopes de l'oxygène.

---

*ABSTRACT.* The paper presents the principle of a method to measure infiltration rates in sewer systems based on the use of oxygen isotopes and its application in Lyon (France). In the urban area of Lyon, significant differences in  $\delta^{18}\text{O}$  that can reach 3 ‰ are observed between the oxygen isotopic compositions of groundwater originating from Rhone, Saone and from their associated alluvial aquifers. Drinking water supplying Lyon results mainly from pumping in the Rhone alluvial aquifer. Therefore, in some areas, the difference of isotopic composition between wastewater resulting from the consumption of drinking water and local groundwater can be used to measure infiltration in sewer system. The application in the catchment of Ecully shows that the infiltration flow rate presents strong fluctuations at hourly scale: it varies between 15 and 40 m<sup>3</sup>/h. This variability could be explained by non constant discharges of pumping and by variations of the water level in the sewer.

*KEYWORDS :* sewer system, infiltration, oxygen isotopes.

---

## 1. INTRODUCTION

Les réseaux d'assainissement urbains sont en interaction permanente avec leur environnement et subissent des contraintes. La dégradation progressive de leur état structurel conduit à la formation de défauts d'étanchéité qui, selon les conditions hydriques dans la tranchée d'assainissement ou le niveau des nappes d'eaux souterraines, génèrent deux phénomènes : l'infiltration d'eaux souterraines dans le réseau et l'exfiltration d'effluents bruts dans l'encaissant. Ces deux phénomènes ont des conséquences importantes sur le fonctionnement global du système d'assainissement. L'infiltration diminue la capacité hydraulique des ouvrages générant des déversements plus fréquents par temps de pluie, diminue le rendement épuratoire des stations d'épuration en raison de la dilution des effluents bruts et augmente les coûts de pompage au niveau des stations de relevage. Le mesurage de l'infiltration permet d'évaluer ces différents impacts, leur appréciation pouvant permettre à un gestionnaire de mettre en œuvre les actions nécessaires pour maintenir ou améliorer la performance technique, environnementale et économique de son système d'assainissement. Les méthodes de mesure développées à ce jour (Tableau 1) sont le plus souvent insuffisantes. Les estimations fournies sont assez approximatives car les hypothèses et les principes de calculs manquent de rigueur.

| Méthode                           | Origine   | Référence                    | Principe   | Type |
|-----------------------------------|-----------|------------------------------|------------|------|
| Débit de temps sec                | -         | -                            | (1)        | D    |
| Débit de temps sec bis            | Suisse    | (Hager <i>et al.</i> , 1985) | (1)        | D    |
| Density average                   | Autriche  | (Ertl <i>et al.</i> , 2002)  | (1)        | D    |
| Annen & Muller                    | Autriche  | (Annen, 1980)                | (1)        | D    |
| Triangle                          | Allemagne | (Weiss <i>et al.</i> , 2002) | (1)        | D    |
| Minimum mobile                    | Allemagne | (Weiss <i>et al.</i> , 2002) | (1)        | D    |
| Différence des débits journaliers | France    | (Joannis, 1994)              | (1)        | D    |
| Différence des débits nocturnes   | France    | (Joannis, 1994)              | (2)        | D    |
| Minimum nocturne                  | France    | (Renault, 1983)              | (2)        | D    |
| Minimum nocturne corrigé          | France    | (Renault, 1983)              | (2)        | D    |
| Minimum nocturne corrigé bis      | Suisse    | (Hager <i>et al.</i> , 1985) | (2)        | D    |
| Paramètres de forme               | France    | (Joannis, 1994)              | (2)        | D    |
| Imhoff                            | France    | (Renault, 1983)              | (1)        | C    |
| Suisse                            | Suisse    | (Hager <i>et al.</i> , 1985) | (1) et (2) | C    |
| Hybride ou Horizon                | France    | (Horizon, 1992)              | (1) et (2) | C    |

Tableau 1: Méthodes existantes d'estimation de l'infiltration dans les réseaux d'assainissement.

Les méthodes existantes peuvent être classées en deux catégories : i) les méthodes débitométriques (D) qui reposent sur l'étude des hydrogrammes journaliers et ii) les méthodes chimiques (C) qui reposent sur l'étude de la dilution des polluants. Quelle que soit la méthode appliquée (uniquement par temps sec), deux principes généraux sont utilisés séparément ou conjointement : (1) le débit d'infiltration est calculé en soustrayant au débit d'eaux usées observé un débit théorique d'eaux usées strictes généralement estimé à partir de la consommation annuelle d'eau potable ou à partir d'une valeur de référence des rejets moyens par habitant ; (2) le débit d'infiltration est supposé être proche du débit nocturne. Ces deux principes généraux peuvent être mis en question car i) le débit d'eaux usées strictes présente une variabilité journalière et saisonnière liée à l'activité anthropique, ii) l'utilisation de valeurs de référence peut générer des incertitudes importantes et iii) le débit nocturne n'est pas uniquement constitué par des eaux d'infiltration, mais par tous les apports permanents tels que les fuites du réseau d'eau potable et les rejets de pompage pour le refroidissement industriel ou les eaux d'exhaure de parkings souterrains. Les méthodes existantes sont affectées d'incertitudes parfois très importantes sur la valeur estimée de l'infiltration et sur l'origine des eaux infiltrées ou assimilées.

L'identification de l'origine des eaux collectées par un réseau d'assainissement est un élément important pour les gestionnaires qui s'intéressent aux apports globaux d'eaux souterraines, que ce soit les infiltrations au niveau des défauts d'étanchéité ou les rejets de pompage déclarés ou non. Le développement d'une nouvelle méthode de mesure de l'infiltration permettant d'identifier l'origine des composantes du débit d'eaux usées de temps sec (eaux usées strictes liées à la consommation d'eau potable d'une part et eaux souterraines d'autre part) est nécessaire afin de mieux estimer l'infiltration. Elle repose sur l'utilisation de traceurs naturels de l'eau, et plus particulièrement sur l'étude de la composition isotopique de certains éléments présents dans la phase dissoute ou dans la molécule d'eau elle-même. Cette méthode, couramment utilisée en hydrogéologie et en hydrologie, présente deux avantages majeurs dans le contexte de cette problématique en hydrologie urbaine : i) l'identification et la quantification des différentes composantes du débit de temps sec et ii) la détermination de l'incertitude associée à la valeur estimée du débit d'infiltration. Pour cela, chaque composante doit présenter une teneur spécifique constante en traceur quelles que soient les conditions, et significativement différente de celle des autres composantes. Les traceurs choisis doivent être conservatifs, c'est-à-dire ne pas être sensibles à des phénomènes comme l'adsorption,

l'oxydoréduction, les variations de pH et de température, etc. Dans le contexte spécifique d'un réseau d'assainissement, l'étude de la composition isotopique en oxygène des eaux, couramment exprimée sous la forme d'une valeur de  $\delta^{18}\text{O}$ , semble constituer l'approche la plus prometteuse. Cette approche initialement proposée par W. Gujer (EAWAG, Suisse) est une des méthodologies sur laquelle s'appuie le programme de recherche européen APUSS (Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems). Une brève description sur la méthode et de son application ont déjà été données par Kracht *et al.* (2003). Le principal objectif de cette communication est de présenter i) le principe du mesurage de l'infiltration par l'utilisation des isotopes de l'oxygène de la molécule d'eau, dit méthode du  $\delta^{18}\text{O}$  de façon plus détaillée, ii) les premières investigations réalisées sur le Grand Lyon afin d'apprécier les conditions d'emploi et de validité de la méthode et iii) les résultats obtenus lors une étude sur site réel afin d'évaluer la fiabilité de la méthode.

## 2. PRINCIPE DE LA METHODE DU $\delta^{18}\text{O}$

### 2.1. DÉFINITION DU $\delta^{18}\text{O}$

La molécule d'eau est constituée par deux éléments, O et H, chacun possédant trois isotopes stables ou radioactifs. L'abondance relative d'un isotope dans les eaux naturelles dépend du lieu des précipitations (altitude, latitude, distance à l'océan), du cycle évaporation/condensation, des échanges avec les minéraux, etc. L'abondance relative de l'oxygène lourd  $^{18}\text{O}$  est exprimée par rapport à son abondance dans la référence internationale constituée par la moyenne de l'eau de l'océan actuel ou SMOW (Standard Mean Oceanic Water). Le rapport isotopique  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  dans un échantillon d'eau est ainsi caractérisée par sa variation relative par rapport au SMOW, appelée couramment  $\delta^{18}\text{O}$ , et exprimée en ‰ :

$$(\delta^{18}\text{O})_{\text{échantillon}} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{échantillon}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}} * 1000 \quad [\text{Eq. 1}]$$

### 2.2. UTILISATION DES MESURES DE $\delta^{18}\text{O}$ POUR ESTIMER L'INFILTRATION

L'estimation de l'infiltration par utilisation du  $\delta^{18}\text{O}$  est effectuée de manière analogue à la décomposition des hydrogrammes développée en hydrogéologie (Blavoux, 1978). Par temps sec, le débit d'eaux usées strictes  $Q_{EU}$  qui a pour origine l'eau potable consommée et le débit d'infiltration  $Q_{INF}$  qui a pour origine les eaux souterraines constituent le débit total d'eaux usées  $Q_T$ :

$$Q_T = Q_{EU} + Q_{INF} \quad [\text{Eq. 2}]$$

A l'échelle d'un bassin versant, on pose l'hypothèse que le débit d'eaux usées strictes résulte uniquement de la consommation d'eau potable et que le débit d'infiltration résulte uniquement des apports d'eaux souterraines. Le  $\delta^{18}\text{O}$  mesuré dans un échantillon d'eau potable constitue la valeur de référence pour la composante eaux usées strictes  $\delta_{EU}$ . Le  $\delta^{18}\text{O}$  mesuré dans un échantillon d'eaux souterraines (ou dans d'autres sources possibles d'infiltration comme les cours d'eau, les sources, etc.) constitue la valeur de référence de la composante infiltration  $\delta_{INF}$ . La méthode du  $\delta^{18}\text{O}$  ne pourra être appliquée que si  $\delta_{EU}$  et  $\delta_{INF}$  sont significativement différents, ce qui peut être problématique si l'eau potable et les eaux souterraines potentiellement infiltrantes ont pour origine un même aquifère. L'applicabilité de la méthode du  $\delta^{18}\text{O}$  dépend donc du contexte hydrogéologique et de la localisation des captages d'eaux souterraines utilisés pour la production d'eau potable. De plus, les valeurs de

référence doivent être constantes à l'échelle spatiotemporelle de l'étude. Il faut donc réaliser plusieurs prélèvements d'eau potable et d'eaux souterraines, en différents lieux, pour vérifier l'homogénéité des valeurs de référence à l'échelle du bassin versant étudié. Si toutes ces conditions sont satisfaites, les valeurs mesurées du  $\delta^{18}\text{O}$  dans des échantillons d'eaux usées  $\delta_T$ , d'eau potable  $\delta_{EU}$  et d'eau d'infiltration potentielle  $\delta_{INF}$  prélevés simultanément sur un bassin versant permettent de calculer les proportions respectives de ces deux composantes dans le débit total d'eaux usées en fonction du jeu d'équations suivant :

$$Q_T \delta_T = Q_{EU} \delta_{EU} + Q_{INF} \delta_{INF} \quad [\text{Eq. 3}] \quad \delta_T = a \delta_{EU} + b \delta_{INF} \quad [\text{Eq. 4}]$$

$$a = \frac{Q_{EU}}{Q_T} \quad [\text{Eq. 5}] \quad b = \frac{Q_{INF}}{Q_T} \quad [\text{Eq. 6}] \quad a + b = 1 \quad [\text{Eq. 7}]$$

Les variables  $a$  et  $b$  sont définies respectivement comme la fraction d'eaux usées strictes et la fraction d'infiltration dans le débit total d'eaux usées  $Q_T$ . Les échantillons d'eaux usées peuvent être instantanés, moyens journaliers, moyens diurnes ou moyens nocturnes selon les objectifs visés. La fraction d'infiltration  $b$  et le débit d'infiltration  $Q_{INF}$  sont définis comme suit :

$$b = \frac{\delta_T - \delta_{EU}}{\delta_{INF} - \delta_{EU}} \quad [\text{Eq. 8}] \quad Q_{INF} = b Q_T \quad [\text{Eq. 9}]$$

### 2.3. PREPARATION DES ECHANTILLONS D'EAU

Un mesurage de  $\delta^{18}\text{O}$  nécessite uniquement 2 à 3 mL d'eau : il n'est donc pas nécessaire de prélever des volumes importants. Les échantillons bruts sont prélevés à l'aide de flacons PVC de 500 mL ou 1 L. Ils sont ensuite filtrés et envoyés au laboratoire d'analyse dans des flacons sirop en verre de 60 mL remplis entièrement afin d'éviter tout contact avec l'atmosphère ou toute évaporation. Ils peuvent être ainsi conservés plusieurs mois sans problème pour effectuer les analyses par spectrométrie de masse à source gazeuse.

### 2.4. INCERTITUDE DE MESURES

L'application de la loi de propagation des incertitudes (NF ENV 13005, 1999) à l'Equation 8 permet de calculer l'incertitude  $\Delta b$  (intervalle de confiance à 95 %) associée à la valeur estimée de la fraction d'infiltration  $b$  :

$$\Delta b = \frac{\Delta \delta \sqrt{2}}{\delta_{INF} - \delta_{EU}} \sqrt{b^2 - b + 1} \quad [\text{Eq. 10}]$$

L'incertitude sur  $b$  dépend de l'incertitude d'analyse sur une valeur de  $\delta^{18}\text{O}$  (0,1 ‰), de la valeur de  $b$  elle-même et de l'écart de  $\delta^{18}\text{O}$  entre eau potable et eau d'infiltration. Ce dernier facteur est le plus important. La prise en compte de l'incertitude est nécessaire afin de tirer des conclusions valides sur l'infiltration. Une valeur estimée de l'infiltration sera considérée comme pertinente si l'incertitude relative  $\Delta b/b$  est inférieure à 1. Si  $\Delta b/b$  est supérieur à 1, la méthode du  $\delta^{18}\text{O}$  est inadaptée. La loi de propagation des incertitudes appliquée à l'Equation 9 permet de calculer l'incertitude  $\Delta Q_{INF}$  associée à la valeur estimée du débit d'infiltration  $Q_{INF}$  :

$$\Delta Q_{INF} = \sqrt{\Delta b^2 Q_T^2 + \Delta Q_T^2 b^2} \quad [\text{Eq. 11}]$$

### 3. APPLICABILITE DE LA METHODE DU $\delta^{18}\text{O}$ A LYON

Afin d'évaluer l'applicabilité de la méthode du  $\delta^{18}\text{O}$ , il est nécessaire de réaliser des campagnes de mesures préliminaires. L'objectif est de mettre en évidence des écarts de  $\delta^{18}\text{O}$  entre eau potable et eaux souterraines. L'eau potable distribuée sur la majorité du territoire du Grand Lyon est captée dans l'aquifère des alluvions modernes du Rhône. Un échantillon prélevé à l'usine de production est analysé, son  $\delta^{18}\text{O}$  constitue la valeur de référence  $\delta_{EU}$ . Les eaux d'infiltration présentes par temps sec dans le réseau d'assainissement de Lyon ont deux origines principales : le Rhône, la Saône et leurs aquifères alluviaux respectifs. Des échantillons ont été prélevés dans ces deux cours d'eau. Leurs  $\delta^{18}\text{O}$  constituent les valeurs de référence  $\delta_{INF}$ . Deux campagnes d'échantillonnage ont été réalisées en mars et en septembre 2002 afin d'étudier la variabilité saisonnière des valeurs de référence en périodes de hautes et de basses eaux. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 2.

| Description de l'échantillon | mars 2002                 |                                | septembre 2002            |                                |
|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
|                              | $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | $ \delta_{INF} - \delta_{EU} $ | $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | $ \delta_{INF} - \delta_{EU} $ |
| Eau potable                  | -9,44                     | -                              | -10,75                    | -                              |
| Rhône                        | -11,05                    | 1,61                           | -10,53                    | 0,22                           |
| Nappe alluviale du Rhône     | -10,81                    | 1,37                           | -10,47                    | 0,28                           |
| Saône                        | -8,11                     | 1,33                           | -7,45                     | 3,3                            |
| Nappe alluviale de la Saône  | -8,03                     | 1,41                           | -7,32                     | 3,43                           |

Tableau 2:  $\delta^{18}\text{O}$  des principales composantes du débit total d'eaux usées à Lyon.

En mars 2002, un écart moyen de 1,5 ‰ est observé entre l'eau potable et toutes les sources possibles d'infiltration. La méthode du  $\delta^{18}\text{O}$  peut alors être appliquée et, selon l'Equation 10, une valeur estimée de la fraction d'infiltration  $b$  supérieure à 9 % sera pertinente. En septembre 2002, il n'y a plus de distinction claire entre l'eau potable et les eaux d'infiltration provenant du Rhône ou de sa nappe alluviale. Ce phénomène peut être expliqué par la variabilité saisonnière du niveau du Rhône et des eaux souterraines. En été, le niveau du Rhône est élevé en raison de la fonte des neiges dans les Alpes où le fleuve prend sa source, les eaux souterraines drainent le Rhône et  $\delta_{EU}$  est alors voisin du  $\delta^{18}\text{O}$  du Rhône. En hiver et au printemps, le Rhône est à l'étiage, il draine les eaux souterraines et donc  $\delta_{EU}$  est plus influencé par les eaux souterraines locales que par le fleuve. En conséquence, la méthode du  $\delta^{18}\text{O}$  ne peut pas être appliquée toute l'année sur les réseaux d'assainissement situés à proximité du Rhône et de sa nappe alluviale. A contrario, un écart moyen de 3 ‰ est observé entre l'eau potable et les eaux d'infiltration provenant de la Saône ou de sa nappe alluviale. La méthode du  $\delta^{18}\text{O}$  peut alors être appliquée toute l'année et selon l'Equation 10, une valeur estimée de la fraction d'infiltration  $b$  supérieure à 4,5 % sera pertinente.

### 4. APPLICATION AU BASSIN VERSANT D'ÉCULLY

Le bassin versant d'Écully présente une superficie de 245 ha et une urbanisation de type résidentiel. Depuis avril 2001, l'exutoire de ce bassin versant est équipé de dispositifs de mesure en continu du débit et des concentrations en polluants. L'application des méthodes existantes présentées dans le Tableau 1 a montré que le d'infiltration n'était pas négligeable et variait selon les méthodes entre 25 % et 65 % du débit de temps sec. La méthode du  $\delta^{18}\text{O}$  a été appliquée à partir de 24 échantillons moyens horaires prélevés du 12/03/2003 à 10:00 au 13/03/2003 à 10:00. Les valeurs de référence  $\delta_{EU}$  et  $\delta_{INF}$  ont été déterminées par l'analyse de deux échantillons instantanés prélevés respectivement sur le réseau d'eau potable et dans un ruisseau situé à proximité du réseau d'assainissement. Les résultats obtenus sont présentés sur la Figure 1.

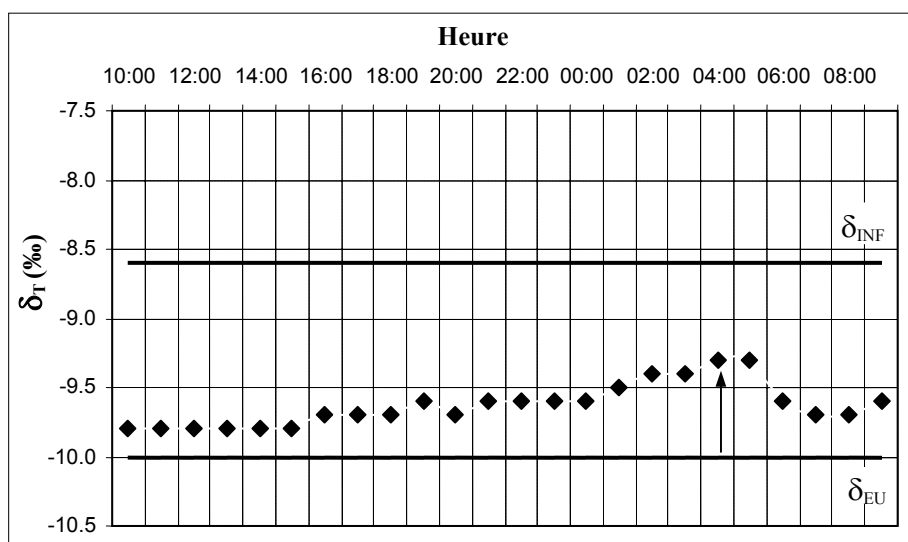


Figure 1: Valeurs mesurées de  $\delta^{18}O$  sur le bassin versant d'Ecully (12 au 13/03/03).

Un écart de 1,4 ‰ est observé entre  $\delta_{EU}$  et  $\delta_{INF}$  : la méthode du  $\delta^{18}O$  peut être appliquée correctement. Les valeurs de  $\delta_T$  étant toutes comprises entre les valeurs de référence, on peut conclure que le débit total d'eaux usées est constitué par un mélange d'eau potable consommée et d'eaux souterraines en lien avec le ruisseau. De plus, en période nocturne, les valeurs de  $\delta_T$  tendent vers  $\delta_{INF}$ , indiquant une diminution logique des rejets liés à l'activité domestique. Pour chaque échantillon moyen horaire d'eaux usées, on calcule les proportions respectives des deux composantes afin d'obtenir la décomposition de l'hydrogramme total journalier (Figure 2).

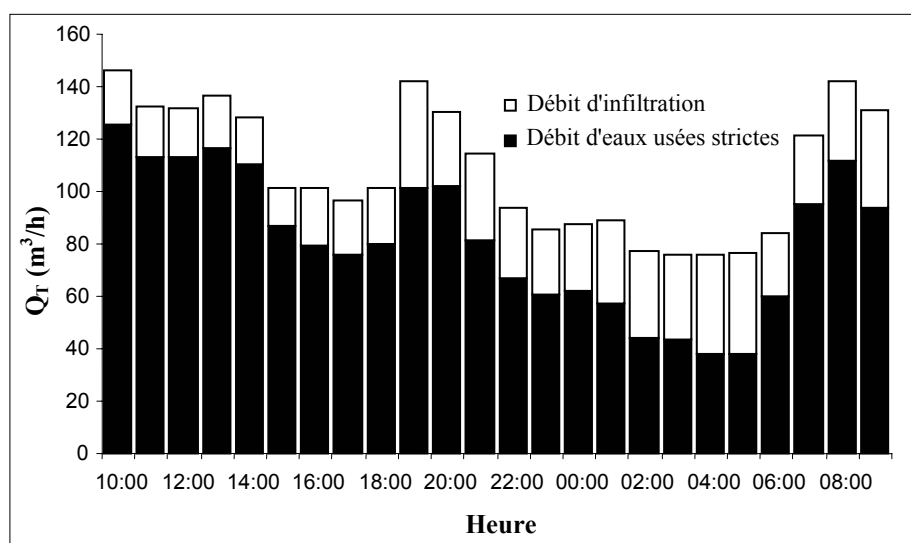


Figure 2: Décomposition d'un hydrogramme total journalier par la méthode du  $\delta^{18}O$ .

La fiabilité de la méthode est déduite de sa capacité à reproduire les caractéristiques d'un hydrogramme journalier avec présence d'infiltration. À l'échelle d'une journée, les hypothèses habituelles considèrent que 1) le débit d'infiltration est constant et 2) le débit d'eaux usées strictes est caractérisé par de fortes variations liées à l'activité anthropique avec deux périodes de pointe le matin et en soirée. Cette deuxième hypothèse est vérifiée sur la Figure 2. La méthode du  $\delta^{18}O$  reproduit le cycle journalier des apports d'eaux usées strictes avec une nette diminution en période nocturne et deux pics bien marqués à 20h00 et 8h00. A partir de l'hydrogramme total journalier illustré Figure 2, on peut aisément extraire l'hydrogramme journalier d'infiltration qui est présenté dans la Figure 3.

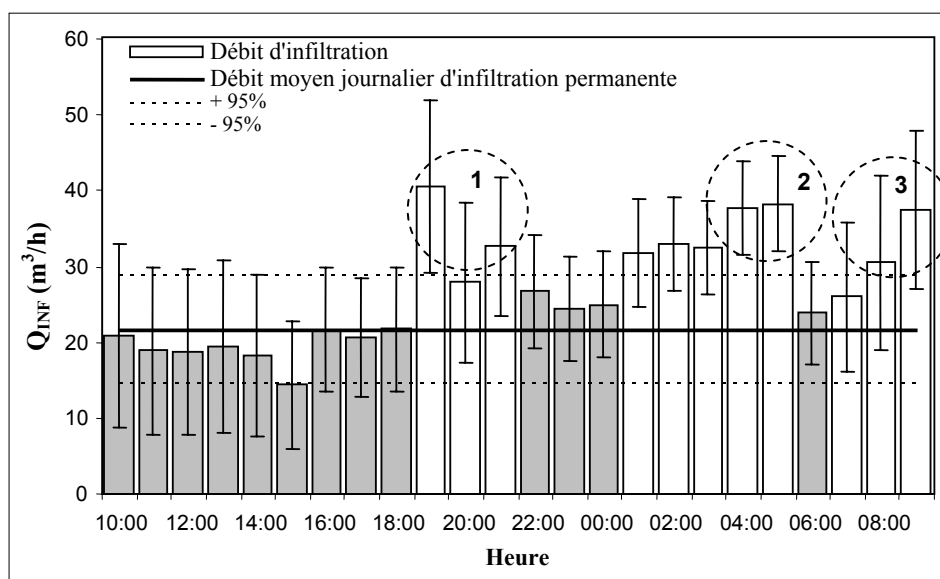


Figure 3: Hydrogramme journalier d'infiltration d'eaux souterraines.

L'hydrogramme d'infiltration présente de fortes variations pendant la journée : le débit peut varier d'un facteur 1 à 2 sur trois périodes de pointe identifiées par des cercles en pointillés sur la Figure 3. A l'exception de ces trois pics, le débit d'infiltration est relativement constant (blocs en grisé). Avant d'analyser plus en détails ces données, il faut s'assurer de la représentativité de ces variations en prenant en compte les incertitudes associées à chaque valeur estimée du débit moyen horaire d'infiltration (Figure 3). Toutes les valeurs estimées sont pertinentes. Les débits de pointe observés entre 18:00 et 19:00 et entre 04:00 et 06:00 sont significativement plus élevés que le débit moyen journalier caractérisant les apports permanents et constants calculé en moyennant les débits observés sur les tranches horaires en grisé : il n'y a pas recouvrement de leurs intervalles de confiance à 95 % respectifs. La méthode du  $\delta^{18}\text{O}$  met donc en évidence l'existence d'apports transitoires d'eaux souterraines. L'hypothèse d'un débit d'infiltration permanent et constant peut être mise en question.

Les variations observées pourraient être expliquées par deux phénomènes. Le premier est lié à la méthode de mesure elle-même qui fournit une valeur du débit d'infiltration d'eaux souterraines sans présager de la manière dont elles sont collectées par le réseau : infiltration réelle au niveau de défauts d'étanchéité ou rejets de pompage (pour refroidissement, exhaure de parking, usage domestique, etc). Les variations du débit d'infiltration peuvent être générées par la variabilité de ces rejets de pompage. En effet, deux périodes de pointe (1 et 3) sont observées pendant les périodes de pointe du débit d'eaux usées strictes. Ces deux pics d'infiltration seraient dus à des rejets de pompage à usage spécifiquement domestique. Le terme spécifiquement est employé car certains rejets de pompage constituent des apports permanents (refroidissement). Le deuxième phénomène est lié aux mécanismes qui régissent l'infiltration réelle. En effet, les infiltrations se produisent principalement au niveau de défauts d'étanchéité situés sur la paroi des collecteurs entre le niveau des eaux usées à l'intérieur et le niveau des eaux souterraines à l'extérieur. Lorsque le périmètre mouillé dans le collecteur décroît en période nocturne (i.e la hauteur d'eaux usées diminue), deux mécanismes peuvent simultanément opérer : i) davantage de défauts peuvent potentiellement contribuer au débit d'infiltration, et ii) la contribution des défauts actifs en période diurne peut augmenter. Ces deux mécanismes pourraient expliquer la deuxième période de pointe entre 01h00 et 06h00 et, plus particulièrement entre 04h00 et 06h00, période pendant laquelle le débit total d'eaux usées est minimal.

## 5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude montre que l'utilisation des isotopes de l'oxygène pour le mesurage de l'infiltration d'eaux souterraines est possible si les conditions requises sont satisfaites. Les résultats obtenus sur le bassin versant d'Ecully montre que le débit d'infiltration varie au cours d'une journée et que la méthode du  $\delta^{18}\text{O}$  peut être utilisée pour mettre en évidence des apports transitoires comme certains rejets de pompage. La méthode du  $\delta^{18}\text{O}$  est encore perfectible et les expérimentations futures devraient permettre notamment de réduire l'incertitude associée à une valeur estimée du débit d'infiltration par le développement et le test de différentes stratégies d'échantillonnage. En effet, les incertitudes de mesure diminuent en période nocturne car la contribution de la composante infiltration est alors plus importante. La réalisation de plusieurs échantillons durant la période nocturne et le calcul d'un débit d'infiltration moyen devraient permettre de réduire les incertitudes. Avec un protocole expérimental bien défini, cette approche peut être utilisée dans le cadre d'une étude diagnostic de réseau d'assainissement avec pour objectif la détection des infiltrations prépondérantes. Contrairement aux méthodes existantes, la méthode du  $\delta^{18}\text{O}$  fournit directement des informations sur la fraction d'infiltration sans dispositifs de mesure du débit et des concentrations en polluants, mais seulement par l'intermédiaire d'échantillons d'eaux usées, d'eau potable et d'eaux souterraines. La méthode du  $\delta^{18}\text{O}$  est moins onéreuse et donne des résultats plus rapidement.

## 6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Annen G.W. (1980). Trockenwetterabfluss und Jahresschmutzwassermenge. Korrespondenz Abwasser, 27(6), 411-413.
- Blavoux B. (1978). Etude du cycle de l'eau au moyen de l'oxygène 18 et du tritium : possibilités et limites de la méthodes des isotopes du milieu en hydrologie de la zone tempérée. Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences Naturelles : Université Pierre et Marie Curie, Paris 6. 333 p.
- Ertl T.W., Dlauhy F., Haberl L. (2002). Investigations of the amount of infiltration inflow in to a sewage system. Proceedings of the 3rd "Sewer Processes and Networks" International Conference, Paris, France, 15-17 April 2002, 8 p.
- Hager W.H., Bretscher U., Raymann B. (1985). Methoden zur indirekten Fremdwasserermittlung in Abwassersystemen. Gas-Wasser-Abwasser, (64)7, 450-461.
- Joannis C. (1994). Précision des estimations de débits d'eaux parasites d'infiltration dans les réseaux de collecte des eaux usées. Influence des erreurs de mesure et de la méthode de calcul. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Janvier-Février 1994, 71-87.
- Kracht O., Gresch M., De Bénédittis J., Prigiobbe V., Gujer W. (2003). Stable isotopes of water as a natural tracer for infiltration into urban sewer systems. Geophysical Research Abstracts, 5, 2 p.
- Renault D. (1983). Les eaux claires parasites dans les réseaux d'assainissement. Diagnostic et réhabilitation des réseaux. Impact et économie dans le traitement. TSM, 547-555 et 577-582.
- Weiss G., Brombach H., Haller B. (2002). Infiltration and inflow in combined sewer systems: long term analysis. Water Science and Technology, 45(7), 11-19.
- NF ENV 13005 (1999). Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure. Paris (France) : AFNOR, août 1999, 113 p.

## REMERCIEMENTS

*Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme de recherche européen APUSS (Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems) associant : INSA de LYON (FR), EAWAG (CH), Technical University of Dresden (DE), Faculty of Civil Engineering at University of Prague (CZ), DHI Hydroinform a.s. (CZ), Hydroprojekt a.s. (CZ), Middlesex University (UK), LNEC (PT), Emschergerossenschaft (DE) et IRSA-CNR (IT). APUSS est financé par la commission européenne dans le cadre du 5ème PCRD. Contrat n° EVK1-CT-2000- 00072.*