

IMPACT DES EAUX D'INFILTRATION SUR UN COLLECTEUR NON ETANCHE

IMPACT OF SEEPAGE WATERS ON A NON WATERTIGHT COLLECTOR

Fouzia DERNOUNI. *Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique. Blida-Algérie.*
MVREfdernouni@yahoo.fr

Ahmed KETTAB. *Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.* kettab@yahoo.fr

Bénina TOUAIBIA. *Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique. Blida-
Algérie.* MVRE.touaibiabenina@yahoo.fr

Boualem SALAH. *Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique. Blida-
Algérie.* MVRE.boualem_salah@yahoo.fr

RESUME : Un collecteur d'assainissement mal entretenu et non étanche, en écoulement, transporte des quantités d'eaux parasites claires (ECP), parfois non négligeables, dont la détermination reste difficile dans le domaine de la gestion des réseaux. L'intrusion ou l'extrusion de ces eaux à débits variables provoque un impact négatif non seulement sur le fonctionnement du collecteur lui-même mais aussi sur les stations d'épuration et la pollution de la nappe. Cet impact engendre un régime hautement transitoire sur la détermination mécaniste des différents paramètres (vitesse, hauteur observée dans le collecteur). Notre travail consiste à modéliser ce débit supposé réparti uniformément le long du collecteur qui est d'un intérêt pratique certain pour les gestionnaires des réseaux.

Mots clés : collecteur d'assainissement, eaux claires parasites, intrusion des ECP, régime transitoire

ABSTRACT : A cleansing collector which is badly maintained and not watertight in the flow, transports quantities of clear parasitic water (CPW), sometimes considerable, whose determination remains difficult in the field of network management. The intrusion or the extrusion of these waters with variable flows causes a negative impact on the operation of the collector itself and of the purification stations like the pollution of the underground water as well. This impact generates a highly transitory mode on the mechanist determination of e various parameters (speed, height of water observed in the collector). Our work consists in modelling this flow presumably uniformly distributed along the collector which is of a significant practical interest for the administrative engineers.

Keywords: cleansing collector, clear parasitic water, intrusion of the CPW, transitory mode

INTRODUCTION

Les systèmes d'évacuation en assainissement sont généralement dimensionnés sans tenir compte de l'intrusion des eaux parasites souvent favorisée par des défauts d'étanchéité des collecteurs. Le manque de données hydrologiques ou hydrogéologiques impose souvent au concepteur des valeurs statistiquement loin de la réalité entraînant des mises en charge partielles ou totales des collecteurs d'évacuation qui traversent des terrains parcourus par des écoulements hypodermiques. La maîtrise de l'évaluation quantitative et qualitative des eaux parasites influe sur le dimensionnement des collecteurs et des stations d'épuration.

Dans ce travail, nous recherchons une solution réelle du système de Barré de Saint Venant qui s'appuie sur des surfaces caractéristiques, en tenant compte de l'influence du débit d'intrusion. Ainsi, deux modèles mathématiques mécanistes sont élaborés, décrivant d'une part le phénomène d'intrusion des eaux parasites dans le collecteur et d'autre part l'influence de ce phénomène sur l'écoulement dans un collecteur d'une façon générale.

TRAVAUX ANTERIEURS DE RECHERCHE

Parmi les problèmes rencontrés en assainissement in situ, celui des eaux parasites a fait l'objet de maints travaux de recherche. Dans ce domaine, plusieurs auteurs se sont intéressés sur la détermination des modèles mécanistes régissant les écoulements dans les collecteurs d'assainissement à surface libre sous l'impact de l'intrusion ou l'extrusion des eaux parasites. Le raisonnement est issu de l'hydrodynamique en considérant le collecteur d'assainissement comme étant un système à entrée et sortie. Selon les problèmes rencontrés dans la réalité, ces travaux de recherche ont concernés les collecteurs fonctionnant en charge ou non, (ces derniers sont les plus couramment rencontrés). Ces deux types d'écoulement sont gouvernés par les mêmes équations de base pour l'étude de la modélisation.

La négligence des eaux pluviales, provenant des bassins versants d'une superficie inférieure à 100 ha, caractérisés par des coefficients de ruissellement, n'a pas spécifié la capacité de transport de la surface (active ou non). Cette réflexion est partiellement partagée par (Débordes, 1974). Les systèmes d'évacuation et plus particulièrement les réseaux séparatifs transportent des quantités importantes d'eaux parasites provenant des infiltrations qui sont estimées d'une façon grossière en pratique. Ces quantités peuvent parfois influencer le dimensionnement des collecteurs et entraver leur gestion, voire même les mettre partiellement ou totalement en

charge. Ce qui rendrait tout calcul difficile et mènerait à des itérations successives pour déterminer le niveau de la surface libre (Nguyen Trieu Dong, 1990) ; Cunge et Wegner, 1965). Les eaux parasites sont issues de défauts d'étanchéité des réseaux et dépendent fortement du contexte climatique (hydrogéologique de la région). Un modèle conceptuel pluie-ECP- débit existant, élaboré pour standardiser la quantification des volumes d'eaux parasites, a été transposé sur plusieurs sites. Sa procédure d'optimisation a été améliorée (Dubasquier, 1979). En analysant ses travaux antérieurs, une expérimentation poussée a été entamée pour des mesures de débits d'exfiltration sur deux sites pilotes. Lors de ses travaux, l'auteur s'est basé sur la hauteur d'eau usée dans le collecteur, la taille des défauts et la perméabilité du sol sur lequel repose le collecteur. Dans ce sens, deux hypothèses sont considérées : i. l'exfiltration des eaux usées vers le sol de pose suit une loi analogue à la loi de Torricelli décrivant l'écoulement à travers un orifice. ii. La capacité d'infiltration du sol de pose est calculée selon la loi de DARCY qui décrit les écoulements en milieu non saturé.

La comparaison théorique du débit d'exfiltration et de la capacité d'infiltration du sol de poses ont été étudiées. Le débit d'infiltration déduit est beaucoup plus inférieur que le débit d'exfiltration. Ce résultat a été obtenu pour un collecteur de 1m de long, de diamètre 300mm et présentant une fente de largeur 0.02m (Decker, 1994).

Pour compléter les travaux de Decker (1994), les phénomènes de colmatage des défauts d'étanchéité sont étudiés avec l'hypothèse que l'exfiltration d'eau usée très chargée conduit à un colmatage rapide des pores du sol de pose. L'auteur a déduit que pour un lit de sable de 40mm, de granulométrie recevant des collecteurs de 150 et 500mm :

- La décroissance du débit d'exfiltration est rapide.
- La zone colmatée du sol de pose est comprise entre 1 et 5cm.

-Le développement et l'évolution dans le temps du phénomène d'auto étanchement des collecteurs dépend fortement de la teneur en solides des effluents et de la granulométrie du matériau utilisé pour le lit de pose.

A partir de ces constatations, l'auteur a proposé un modèle de calcul du débit d'exfiltration (Rauch W et Stegner T, 1994).

Les caractéristiques et origines de la pollution des eaux pluviales urbaines en réseau unitaire sont diverses et très variées. Un dispositif expérimental est mis en place. Il permet le suivi de la qualité des eaux urbaines à différents niveaux du cycle de l'eau dans la ville (Gromaire-Mertz, 2000). L'influence de la sédimentation dans les collecteurs sur l'exfiltration a été étudiée. Des essais sur des bancs d'essai au laboratoire

permettent de mesurer l'exfiltration pour différentes ouvertures du joint, des débits variant de 0.01 à 3.4 l/s et des hauteurs variables dans le collecteur (Ellice et al, 2002).

EQUATIONS DE BASE

Dans ce travail, une solution réelle du système de Barré de Saint Venant est recherchée se basant sur des surfaces caractéristiques tout en tenant compte de l'influence du débit d'intrusion. Ainsi, il sera fait face à l'élaboration de deux modèles mathématiques mécanistes ; l'un décrivant le phénomène d'intrusion des eaux parasites dans le collecteur; l'autre décrivant l'influence du premier modèle sur l'écoulement dans le collecteur d'une façon générale. Le raisonnement repose sur les équations de continuité et dynamique.

Equation de continuité

La méthode des bilans de volumes stockés et des apports extérieurs Q_{ext} des eaux parasites claires supposées répartis uniformément sur un tronçon d'assainissement non étanche (jet $j+1$), pour un espace de temps t et $t + \Delta t$, illustrée en figure 1, permet de formuler l'expression en 1 :

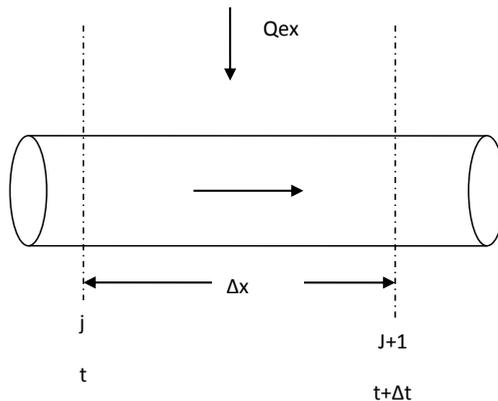


Fig.1. Tronçon du collecteur discrétisé recevant un débit Q_{ext}

$$V_s(t + \Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} Q(j, t)dt + \int_t^{t+\Delta t} Q_{ex}(t)dt + \int_j^{j+1} S(x, t)dx - \int_t^{t+\Delta t} Q(j+1, t)dt \quad (1)$$

Avec: $V_s(t + \Delta t) = \int_j^{j+1} S(x, t + \Delta t)dx$

S : Section mouillée : $S=f(h)$

Q : Débit transité dans le collecteur : $Q=V.S$

Q_{ext} : Débit d'apport latéral

En utilisant le concept des accroissements, la relation (1) se simplifie et devient(2):

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} = Q_{ex}(t) \quad (2)$$

Equation dynamique

Dans ce raisonnement, le fluide est considéré incompressible et régi par l'équation de Navier Stokes, définie par les variables d'Euler selon la formulation 3 :

$$\vec{a} = \frac{1}{\rho} \text{grad} \bar{P}^* + \sum fr \quad (3)$$

Avec:

$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ accélération ; ρ masse volumique ; $\sum fr$ forces de frottement

et: $P^* = p_{at} + \rho g (Z+h)$

A partir de la figure 1, les équations du mouvement de l'écoulement par application du concept de l'hydrodynamique est recherché. Généralement le mouvement des eaux est modélisé par le système de Barré St Venant ou par des modèles dérivés de ce système fondamental.

Dans l'hypothèse que la pression est hydrostatique, la pente du sol ou de la canalisation est faible, et les filets d'eau parallèles au fond, l'équation (3) aboutit à :

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = g (i - j) \quad (4)$$

Avec :

i : Pente du radier du collecteur

j : Gradient de la perte de charge

L'étude de l'écoulement instationnaire perturbé par l'intrusion d'un débit d'eaux parasites dans un collecteur, se fait à partir des équations de continuité dynamique qui traduisent les principes de conservation de la masse et de quantité de mouvement. En introduisant la célérité de propagation diffusante, la transformation des équations (2) et (4), aboutit à :

$$\frac{\partial S}{\partial x} = \lambda \frac{\partial h}{\partial x} ; \quad \text{et} \quad \frac{\partial S}{\partial t} = \lambda \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5)$$

L'équation (2) devient :

$$\lambda \frac{\partial h}{\partial t} + v\lambda \frac{\partial h}{\partial x} + \lambda_1 \frac{\partial v}{\partial x} = Q_{ext} \quad (6)$$

Tenant compte que la célérité de propagation d'onde est de la forme :

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda_1}{\lambda}} \quad (7)$$

λ_1 : désigne la section mouillée et λ : la dérivée de la section mouillée selon Stocker

La combinaison des équations (2), (4), (5), (6), et (7) donne, après arrangement, le système d'équations formulé en 8

$$\begin{aligned} 2 \left[(v+c) \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t} \right] c + \left[(v+c) \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t} \right] v &= g(i-j) + \frac{gQ_{ext}}{Dc} \\ 2 \left[(v-c) \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t} \right] c + \left[(v-c) \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t} \right] v &= g(i-j) - \frac{gQ_{ext}}{Dc} \end{aligned} \quad (8)$$

On obtient deux équations vérifiées le long des courbes caractéristiques. Les variables x et t sont liées. Le système (8) aboutit à :

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v+c \\ \frac{dv}{dt} + \frac{g}{c} \frac{dh}{dt} + g(j-i) - \frac{Q_{ext}}{Dc} = 0 \end{cases} \quad \text{et} \quad \begin{cases} \frac{dx}{dt} = v-c \\ \frac{dv}{dt} - \frac{g}{c} \frac{dh}{dt} + g(j-i) + \frac{Q_{ext}}{Dc} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Où : D désigne le diamètre du collecteur

FONCTION EXPLICITE DU DEBIT D'INTRUSION Q_{EXT}

Dans cet article, on propose de modéliser le débit d'intrusion Q_{ext} des eaux parasites dans un collecteur d'assainissement en supposant que le niveau de la nappe, situé à une hauteur « H », est supérieur à celui de la

génératrice supérieure du collecteur. Ce dernier peut être à écoulement à surface libre ou plein non en charge (Fig. 2).

Dans l'hypothèse d'un écoulement radial et laminaire à travers une fissuration considérée comme un orifice d'ouverture « S » et de longueur négligeable, le débit d'intrusion obéit à la relation (10):

$$Q_{ex} = mS\sqrt{2gH} \quad (10)$$

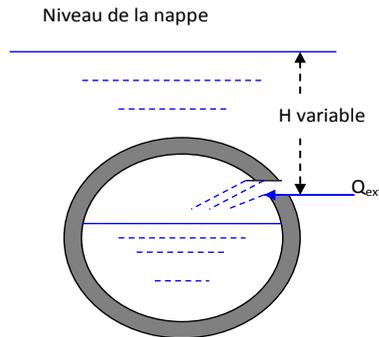


Fig. 2. Modélisation du débit d'intrusion

En réalité, le coefficient de débit m donné par la formule 10 dépend directement de la répartition de la granulométrie au droit de l'orifice, de conductivité hydraulique du milieu poreux et de la taille des gravas constituant le milieu poreux qui doit être égal à celui de l'orifice. Par conséquent le coefficient m devient le produit de plusieurs coefficients :

$$m = m_c \cdot m_{visc} \cdot m_v \cdot m_{col} \quad (11)$$

avec :

m_c : Coefficient de contraction du débit

m_{visc} : Coefficient de viscosité

m_v : Coefficient de vitesse

m_{col} : Coefficient de colmatage

Par conséquent et selon la position du collecteur par rapport à la nappe, la relation (10) pour l'évaluation du débit devient :

Pour un écoulement dénoyé :

$$Q_{ex} = m_c \cdot m_{visc} \cdot m_v \cdot m_{col} S \sqrt{2gH} \quad (12)$$

Pour un écoulement noyé

$$Q_{ex} = m_0 \cdot m_{visc} \cdot m_{col} S \sqrt{2gH} \quad (13)$$

avec : m_0 : paramètre dépendant de la géométrie du drain et de la répartition des fentes

CONCLUSION

Dans ce travail, en appliquant la théorie des écoulements à travers les orifices, il a été constaté que le coefficient de débit se compose de divers autres coefficients liés à la forme de la section de passage, au degré de colmatage et à la viscosité. Néanmoins, on constate également que le produit de ces coefficients tend à faire diminuer le débit d'intrusion ou d'extrusion. La difficulté réside dans le fait que la variation de ces coefficients dans le temps reste souvent mal connue ; ce qui rend l'estimation de ce débit difficile. Le collecteur est considéré comme un réservoir recevant ou donnant un débit selon que l'on considère le cas d'intrusion ou d'extrusion des eaux. Selon le cas, le coefficient de débit diffère. Cependant l'estimation de ce dernier reste un problème préoccupant pour les chercheurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Belhadj N., Joannis C., Raimbault G & Novatech. (1995) *Modélisation des apports par infiltration dans un réseau d'assainissement en période pluvieuse*. Rapport de la conférence internationale sur les nouvelles technologies en assainissement pluvial, pp 277-284.
- Decker J. (1994) *Wassergefahrdung durch undichte Kanäle - Erfassung und Bewertung*. Institut für Siedlungswasserwirtschaft RWTH Aachen, BMFT.
- Decker J & Novatech. (1995) *Effect of sewer infiltration on drainage system and sewage treatment*. Rapport de la conférence internationale sur les nouvelles technologies en assainissement pluvial. pp 285-293.
- Dupasquier B. (1999) *Modélisation hydrologique et hydraulique des infiltrations d'eau parasites dans les réseaux séparatifs d'eau usée*. Thèse de doctorat, ENGREF centre de Paris.
- Joannis C. (1994) *Précision des estimations des 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 du LCPC., Janvier-Février. pp 71-87.
- Joannis C, Comaille J.F. Dupasquier B. (2003) *Assessing infiltration flow rates into sewers*. Proceedings of global solutions for Urban Drainage. Portland.

- Rauch W&, Stegner T. (1994) *The colmation of leaks in sewer systems during dry weather flow*. Water, science et Technology, vol 30 N°1. pp 205-210.
- Renault D. (1983) *Les eaux claires parasites dans les réseaux d'assainissement (réseaux unitaires). Diagnostic et réhabilitation des réseaux*. Impact et économie dans le traitement TSM. nov et dec. pp 547-555 et pp 577-582.
- Dupasquier B. (1999) *Modélisation hydrologique et hydraulique des infiltrations d'eau parasites dans les réseaux séparatifs d'eau usée*. Thèse de doctorat, ENGREF. Paris.
- Joannis C, Comaille J.F. Dupasquier B. (2003) *Assessing infiltration flow rates into sewers. Proceedings of global solutions for Urban Drainage*. Portland.
- Dernouni F., Kettab A & Salah B. (2009) *Origine, causes, et approche de modélisation de l'intrusion des eaux parasites dans les collecteurs d'assainissement*. Séminaire international sur les ressources en eau. ENSH. 23 et 24 Février. Tipaza.
- Dernouni F, Kettab A & Salah B. (2009) *Réflexion sur une modélisation mécaniste approchée du système : Eaux parasites- sol- collecteur d'assainissement*, Univ. Chouaïb Doukkali d'El Jadida. Maroc. Séminaire international 12 et 13 novembre.
- Dernouni F & Salah B. (2010). *Modélisation mécaniste combinée de l'intrusion des eaux parasites claires dans un collecteur d'assainissement en écoulement*, colloque international sur l'eau (CIEAU) Annaba, le 25 et 29 octobre.
- Dernouni F, Kettab A & Salah. B. (2012) *Comportement de l'écoulement dans un collecteur d'assainissement, suite à l'intrusion des eaux parasites claires*, 1^{er} séminaire international sur la mobilisation des ressources hydriques Batna, le 17 et 18 décembre

&&&&&