

ORIGINE, CAUSES, ET APPROCHE DE MODELISATION DE L'INTRUSION DES EAUX PARASITES DANS LES COLLECTEURS D'ASSAINISSEMENT.

ORIGIN, CAUSES, AND APPROACH MODELING OF THE INTRUSION PARASITIC WATER IN THE COLLECTORS OF CLEANSING.

Dernouni Fouzia: *Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique. BP 31. Blida.*
fdernouni@yahoo.fr

Salah Boualem: *Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique. BP 31 Blida ;*
boualemsalah@yahoo.fr

Kettab Ahmed. *Ecole Nationale Polytechnique. Alger (ENP),* kettab@yahoo.fr

Résumé : A travers la bibliographie, il a été remarqué que le dimensionnement des collecteurs d'assainissement (unitaires ou séparatifs) ; d'une façon générale, fait abstraction de l'intrusion des eaux parasites. Cette intrusion est tributaire des caractéristiques du sol, de la nappe et de l'état des collecteurs. Ces eaux parasites résidant souvent dans le centre des problèmes qui préoccupent quotidiennement les gestionnaires des systèmes d'assainissement, et plus particulièrement les stations d'épuration. L'aspect quantitatif aléatoire de ces eaux modifie souvent les caractéristiques des écoulements et obligent souvent les chercheurs à revoir les hypothèses simplificatrices des modèles mécanistes régissant les écoulements dans les collecteurs. Dans ce contexte, notre travail consiste d'abord à présenter les causes et origines de ces eaux et proposer par la suite une approche mathématique de détermination quantitative du débit d'intrusion.

Mots clés : eaux parasites, collecteur, assainissement.

Abstract: Through the bibliography, it was noticed that the dimensioning of the collectors of cleansing (unified or separative); generally, disregarded intrusion of parasitic water. This intrusion is dependent on the characteristics of the ground, the groundwater and the state of the collectors. These parasitic waters are often residing in the center of the problems which daily worry the managers of the systems of cleansing, and more particularly the stations of- purification. The random quantitative aspect of this water often modifies the characteristics of the flows and often obliges the researchers to re-examine the simplifying assumptions of the mechanist models governing the flows in the collectors. In this context, our work consists initially to present the causes and origins of this water and to propose thereafter a mathematical approach of quantitative determination of the flow of intrusion.

Key words: parasitic water, collector, cleansing

INTRODUCTION

Les systèmes d'évacuation en assainissement, mal entretenus ou présentant des anomalies, transportent généralement des quantités d'eaux parasites ayant diverses origines, ce qui rend leur question difficile. Leur évaluation quantitative rend souvent les calculs difficiles, ce qui influe sur le dimensionnement des collecteurs. Les constatations pratiques montrent parfois des mises en charge partielle ou totale de certains collecteurs ayant subis un diagnostic géométrique révélant l'infiltration des eaux parasites.

TRAVAUX ANTERIEURS

Plusieurs auteurs se sont intéressés sur la détermination des modèles mécanistes régissant les écoulements dans les collecteurs d'assainissement à surface libre. 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 pratique, l'étude de la modélisation des écoulements d'une façon générale est scindée en deux parties :

- modélisation des écoulements à surface libre.
- modélisation des écoulements en charge.

Dans un même collecteur, le passage d'un type d'écoulement à un autre par une discontinuité des variables n'est pas représentable par un même modèle.

Dans ce travail, l'auteur fera face à l'élaboration de deux modèles mathématiques mécanistes ; l'un décrivant le phénomène d'intrusion des eaux parasites dans le collecteur ou l'extrusion ; et l'autre décrivant l'influence du premier modèle sur l'écoulement dans un collecteur d'une façon générale.

Le phénomène d'extrusion ou d'exfiltration semble présenter intérêt minime pour la communauté scientifique et les gestionnaires des réseaux d'assainissement. Les phénomènes d'exfiltration sont donc très peu étudiés parce qu'ils ne sont pas ou peu considérés comme un problème majeur, mais aussi parce que les volumes d'exfiltration sont difficilement quantifiables en raison de leur caractères diffus liés aux conditions hydrogéologiques et hydrauliques très variables dans les sous sols urbains.

Dans ce contexte, Nguyen Trien Dong (1990) montre que ces eaux parasites en quantité importante, peuvent influencer le dimensionnement des collecteurs et par conséquent leur gestion. Ce point de vue est partiellement partagé par Débordes (1974) qui considère dans ces réflexions, la négligence des eaux pluviales provenant des bassins versants d'une superficie inférieure à 100 ha caractérisés par, des coefficients de ruissellement ; cette étude n'a pas spécifié la capacité de transport de la surface (active ou non).

Yang et Al (1993) utilise un modèle d'écoulement des eaux souterraines pour quantifier les différentes sources de recharge des aquifères. Les sources potentielles de recharge considérées sont les précipitations, les fuites des réseaux potables et les fuites des réseaux d'assainissement. Ce modèle est tributaire des séries de données sur une longue période, il se base donc sur des estimations et des incertitudes. Le débit d'exfiltration ou d'intrusion été la cible de plusieurs études sur des sites pilotes et en laboratoire ; à savoir :

Decker (1994) a procédé à des mesures de débit d'exfiltration sur deux cites 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 la collecteur. Dans ce sens deux hypothèses ont été considérées : - 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.

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 pose, a été étudiée, où l'on déduit que le débit d'infiltration est beaucoup plus inférieur au débit d'exfiltration. Ce résultat a été obtenu pour un collecteur de 1m de long, de diamètre 300mm et présentant une fente de largeur 0.02 m.

Le premier cite considère deux conduites en parallèle identiques de diamètre 300mm chacune reposants sur des sols de pose de matériaux différents (sol sableux avec 7% et 18% de limon). Les défauts d'étanchéité caractérisés par une longueur de 2m et une largeur de fente de 2mm. Quelques observations ont été faites à savoir :

- la saturation du sol de pose a conduit à une diminution du débit de fuite.
- La qualité des eaux véhiculées influe peu sur le débit de fuite
- La qualité du matériau du sol de pose influe également sur les volumes exfiltrés.

Le deuxième site considère deux conduites ($\Phi 200$ et $\Phi 300$) en béton avec des fissurations variables, longitudinales, dans lesquelles on a fait varier la pression avec une vitesse d'écoulement croissante. Il a été déduit une augmentation très faible du débit de fuite. Selon DECKER, une pression croissante a toujours pour conséquence une augmentation des débits d'exfiltration, et qu'aucun modèle mathématique simple n'a pu être défini pour représenter ce phénomène.

Rauch et al (1994) ont étudié les phénomènes de colmatage des défauts d'étanchéité 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 les conclusions suivantes 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 dépendent 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.

Ellice et Al (2002) ont étudié l'influence sur l'exfiltration de la sédimentation dans les collecteurs. Des essais sont conduits en laboratoire sur des bancs d'essai qui permettent de mesurer l'exfiltration pour différentes ouvertures du joint et des débits varient de 0.01 à 3.4 l/s et des hauteurs variables dans le collecteur.

D'OU PROVIENNENT LES EAUX PARASITES ?

Suite à des perturbations géotechniques, telles que l'érosion, les tassements, un collecteur enterré peut subir des dégradations structurales (fissurations, déboîtements, effondrements...) (Fig. 1). Il en résulte donc soit des fuites d'eaux usées (exfiltration), soit des intrusions d'eaux d'infiltration. Le gestionnaire est confronté aux problèmes des origines de ces eaux d'infiltration et notamment à leur évaluation quantitative ainsi qu'au phénomène d'écoulement de ces eaux vers le collecteur.

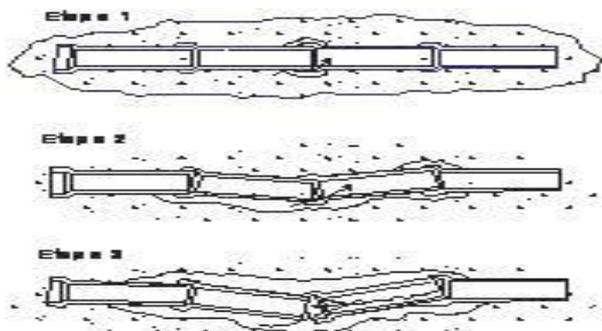


Fig1. Fissuration, déboîtement, effondrement des collecteurs

Les enquêtes menées sur terrain, lors de la gestion des systèmes d'assainissement, montrent que les infiltrations ou les exfiltrations trouvent leurs origines notamment :

- suite aux écoulements hypodermiques sur un banc rocheux très proche
- aux remontées des eaux des nappes avec infiltration si le niveau des eaux se trouve au dessus de la génératrice supérieure du collecteur ; avec exfiltration si le niveau reste inférieur à la cote du radier de ce dernier.
- Au phénomène renard du à la présence d'un réservoir semi enterré ou enterré à proximité d'un collecteur.
- A l'existence des bornes fontaines d'eau potable
- Présence d'une conduite d'alimentation en eau potable soumise parfois à de fortes dépressions (écoulement en symbiose).

Les eaux parasites provenant de ces origines peuvent trouver leurs issues au niveau des collecteurs d'assainissement.

- Suite à des défauts structurels relevant de l'interaction sol collecteur.
- Du comportement mécanique des collecteurs où peuvent apparaître des fissurations par le bas ou par le haut et parfois hélicoïdalement (profondeurs non respectées).
- Suite à un joint ou à un raccordement mal confectionnés.
- Problèmes liés aux écoulements par exemple eau trop chargée chimiquement en stagnation.
- Présence de rangées d'arbres avec phénomène d'hydrotropisme.

REFLEXION SUR UNE MODELISATION MECANISTE APPROCHEE DU SYSTEME : EAUX PARASITES SOL COLLECTEUR.

Dans cette partie, on considère un collecteur à écoulement à surface libre subissant une intrusion d'eaux parasites claires. Généralement le mouvement des eaux est modélisé par le système de Barré St Venant ou par des modèles dérivés de ce système fondamental, à partir de l'hydrodynamique. Dans notre raisonnement, on considère que le fluide est incompressible et régit par l'équation de Navier Stokes défini par les variables d'Euler suivantes. Par ailleurs on considère que le gradient de vitesse dans le temps n'est pas nul :

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

Avec: $\bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt}$: accélération

ρ : masse volumique

$\sum fr$: forces de frottement

$$P^* = p + \rho g \cdot h \quad (2)$$

On suppose également que la pente du sol ou de la canalisation est faible, que tous les filets sont parallèles au fond, et que la pression est hydrostatique.

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

Avec : Z- côte du filet liquide étudié

$$\Rightarrow \frac{\partial P^*}{\partial x} = \frac{\partial P_{at}}{\partial x} + \rho \cdot g \frac{\partial Z}{\partial x} + \rho \cdot g \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3)$$

Tenant compte de la relation (1) et en posant $i = \frac{\partial Z}{\partial x}$ (pente) et $j = \frac{\sum fr}{g}$ (gradient

de p.d.c), on obtient l'équation dynamique (4) : $\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = g (i - j)$

Equation de continuité

On se base sur la méthode des bilans de volumes stockés et des apports extérieurs sur un tronçon (j, j+1) pour un espace de temps t t +Δt (Fig. 2).

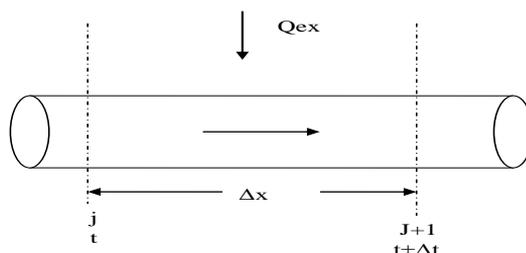


Fig. 2. : Volume stockés et apports extérieurs entre deux sections

On peut écrire:

$$V_s(t + \Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} Q(j, t) dt + \int_t^{t+\Delta t} Q_{ex}(t) dt + \int_j^{j+1} S(x, t) dx - \int_t^{t+\Delta t} Q(j+1, t) dt \quad (5)$$

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

En utilisant le concept des accroissements, on trouve:

$$\frac{S(j + \alpha, t + \Delta t) - S(j + \alpha, t)}{\Delta t} = \frac{Q(j, t + \gamma) - (Q(j+1, t + \gamma))}{\Delta x} + \frac{Q_{ex}(t + \gamma)}{\Delta x} \quad (6)$$

La relation (6) se simplifie et devient:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} = Q_{ex}(t) \quad (7)$$

Les équations (4) et (7), combinées aux équations donnant la perte de charge par frottement $j = \frac{\sum fr}{g}$, et la variation de la section mouillée en fonction de la

profondeur d'eau dans le collecteur, aboutissant au système mécaniste (8). Ce dernier décrit le phénomène d'écoulement en déterminant le couple hauteur vitesse sous l'influence d'un apport extérieur. Dans cet article, on considère que l'apport est représenté par les eaux parasites claires supposées réparties uniformément le long du collecteur.

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + g \cdot \frac{\partial h}{\partial x} = g(i - j) \\ \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} = Q_{ex}(t) \\ S = f(h) \\ j = f(C, R_h, v) \end{cases} \quad (8)$$

Couramment, la littérature montre que les travaux antérieurs appliquent ce modèle mécaniste pour étudier le phénomène d'écoulement avec la conservation de la masse sans tenir compte de l'apport extérieur ni du débit de fuite. En s'inspirant de ces travaux, et du système (8); notre travail consiste en l'élaboration d'un modèle mécaniste décrivant l'écoulement dans un collecteur, en se basant sur les raisonnements de Taylor et de Fourier.

MODELISATION DE L'INTRUSION D'EAUX PARASITES CLAIRES DANS LE COLLECTEUR

Dans cette partie, on s'intéresse au système sol collecteur, où l'infiltration se fait dans un système isotrope, obéissant à la loi de Darcy.

$$V = k.i \quad (9)$$

k – perméabilité et i – gradient d'écoulement

Dans cette modélisation, on considère la fissuration comme étant un orifice d'ouverture S (Fig.3) caractérisée par un coefficient de débit "m" (selon la théorie des orifices et ajutages). Si l'on tient compte du colmatage de cette surface de pénétration, on se trouve dans un milieu poreux. Le débit Q_{ex} d'infiltration sera amoindri et obéit à la relation:

$$Q_{ex} = m.m_1.S.\sqrt{2gh}$$

M_1 – coefficient qui tient compte du fait que le milieu est poreux.

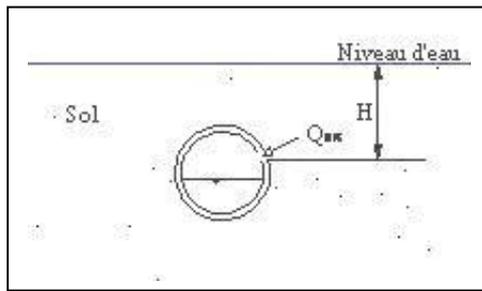


Fig. 3. Infiltration des eaux à travers la fissure

Le débit Q_{ex} pénétrant engendrera une vitesse d'écoulement dans le collecteur.

$$v_{ex} = \frac{Q_{ex}}{A_m} = \frac{Q_{ex}}{e.dh}$$

e étant le plan d'eau

A_m étant la section mouillée dans le collecteur

Selon l'importance du débit Q_{ex} le long du collecteur, l'écoulement peut être influencé du point de vue hauteur d'eau dans le collecteur et vitesse d'écoulement.

Il se crée donc un modèle diffusant selon l'introduction à la théorie des caractéristiques appliquées aux équations de Saint Venant. Ce modèle décrit le transport, suivant la longueur du collecteur d'une quantité f par la célérité d'onde « C » (l'équation des trajectoires des particules).

$$\frac{\partial f}{\partial t} + C \frac{\partial f}{\partial x} = 0 \quad (10)$$

Avec :

$$C = \sqrt{g.h} \quad (11)$$

La fonction f est une variable hydraulique du régime transitoire.

Afin d'appliquer la méthode des caractéristiques, le collecteur de longueur l sera discrétiser en un nombre j de nœuds de calcul, dans un plan (t, x). Si on envisage que les pieds des caractéristiques aboutissent entre ces nœuds, il en résulte une

procédure d'interpolation afin de déterminer la fonction f , qui sera obtenue moyennant le raisonnement de Taylor.

$$f_{j-1} = f_{in} - \lambda \Delta t \frac{df_{in}}{dt} \quad (12)$$

λ - désigne l'interpolation ; Δt - le pas de temps et F_{in} - valeur de f inter nodale.

En se basant sur le système (8) et les équations (10), (11) et (12), Ce raisonnement aboutit à l'expression 13.

$$f(x,t) = \sum f_k \cdot \exp[i(\sigma_k x + \beta_k t)] \quad (13)$$

Lors de l'intrusion des eaux parasites, la variable prépondérante qui nous intéresse est la vitesse d'écoulement. Pour l'instant, on peut écrire :

$$v(x,t) = \sum v_k \cdot \exp[i(\sigma_k x + \beta_k t)] \quad (14)$$

avec : $\sigma_k = \frac{2 \cdot \pi}{l}$ et $\beta_k = \frac{2 \cdot \pi}{T}$

CONCLUSION

Bien que les travaux de recherche sur les écoulements d'eaux claires parasites ont ciblé le centre des problèmes dans l'aspect quantitatif, le domaine mécaniste des écoulements dans le collecteur, sous l'effet de ces eaux parasites, pose souvent un handicap pour les chercheurs. Dans ce travail, la difficulté réside dans la détermination de la diffusion de l'onde ainsi créée par l'apport irrégulier des eaux parasites dont l'estimation reste souvent aléatoire. Dans ce sens, nous avons proposé un modèle approché permettant d'estimer le débit infiltrant de ces eaux. A partir de ce modèle conceptuel combiné au raisonnement sur la base des équations de Saint Venant, il a été déduit un second modèle mécaniste permettant la détermination soit de la vitesse, soit de la hauteur d'eau correspondante en tenant compte de l'équation de l'onde diffusante.

Ce modèle a l'avantage de nous renseigner non seulement sur les paramètres hydrauliques aux noeuds de calcul, telles que la vitesse, la hauteur d'eau et voir même la dilution ; mais également aux endroits inter nodaux. C'est ce qui permet de prévoir les problèmes de dépôts de sable dans le collecteur. Cette étude trouve sa justification dans le domaine de la gestion et de la conception des réseaux d'assainissement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Belhadj N., Joannis C., Raimbault G., 1995 Modélisation des apports par infiltration dans un réseau d'assainissement en période pluvieuse. Rapport de la conférence internationale sur les nouvelles technologie en assainissement pluvial, NOVATECH 95 ; pp 277-284.
- Decker J., 1994, Wassergefährdung durch undichte kanäle- Erfassung und Bewertung. Istitut fur Siedlungswasserwirtschaft RWTH Aachen, BMFT,
- Decker J., 1995, Effect of sewer infiltration for drainage system and sewage treatment. Rapport de la conférence internationale sur les nouvelles technologies en assainissement pluvial, NOVATECH 95 ; 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. 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.