

9^e journée d'échanges régionale



Autosurveillance des réseaux d'assainissement

Retours d'expérience

Points caractéristiques, Modélisation, Supervision,
Météorologie

OUTILS ET RECOMMANDATIONS

PRODUIT PAR LE GROUPE DE TRAVAIL REGIONAL

Jeuudi 3 avril 2014 de 9h30 à 17h00 – ENTPE – VAULX EN VELIN (69)

RESEAU REGIONAL D'ECHANGES
AUTOSURVEILLANCE DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT

L'animation des réseaux régionaux et l'organisation
des journées d'échange avec le soutien de



GRANDLYON

GROUPE DE RECHERCHE RHONE-ALPES
SUR LES INFRASTRUCTURES ET L'EAU

Domaine scientifique de la Doua – 66, bd Niels Bohr
CS 52132 – 69603 Villeurbanne cedex
Tel : 04 72 43 83 68 • Fax : 04 72 43 92 77
asso@graie.org • www.graie.org

Sommaire

Objectifs de l'autosurveillance des réseaux	3
Recommandations pour la mise en place de l'autosurveillance	5
Méthodologie d'aide à la définition des objectifs pour une collectivité	7
Organigramme de la démarche (mis à jour en 2011)	9
Cahier des charges - exemples commentés (sommaire)	15
Fiches Méthodologiques et Techniques	19
F0 : Terminologie	21
F1 : Validation du dispositif de mesure	23
F2 : Comparaison de 2 valeurs	25
F3 : Calcul d'incertitude de débit dans un collecteur non circulaire	27
F4 : Principales références réglementaires	35
F5 : Calcul des masses de polluants	37
F6 : Calcul du débit à partir de la hauteur d'eau	41
F7 : Vérification du débit et de la vitesse par la méthode de traçage	45
F8: Mesurage du débit transité ou déversé sur les postes de relèvement/refoulement (2014)	51
F9 : Mesurage des flux polluants de MES et de DCO par turbidimétrie	55
F10: Valorisation des données d'autosurveillance pour la gestion patrimoniale	57
F11 : Acquisition et transmission des mesures en réseaux d'assainissement	59
FT1 : Mesurage de la hauteur par capteur Ultrason	63
FT2 : Mesurage de la hauteur par capteur piézorésistif	67
FT3 : Mesurage de la pluie par des pluviomètres	69
FT4 : Mesurage de la vitesse par Corde de vitesse	71
FT5 : Mesurage de la vitesse par effet Doppler	73
FT6 : Préleveur automatique	75
FT7 : Mesurage de la vitesse sans contact par radar (V1-2014)	77
FT8 : Mesurage d'un débit en conduite pleine par un débitmètre électromagnétique (V1-2014)	79
FT8b : Mesurage d'un débit en non conduite pleine par un débitmètre électromagnétique (V1- 2014)	81
Références bibliographiques	83

AU VERSO

Programme Supports d'interventions

Ensemble du document reproduit sur papier recyclé



Objectifs de l'autosurveillance des réseaux

Le principe de l'autosurveillance mis en œuvre dans le cas des ouvrages entrant dans la nomenclature annexée à l'article R.214-1 du code de l'environnement et notamment les stations d'épuration et les déversoirs d'orage repose sur la responsabilisation des maîtres d'ouvrage quant au respect des règles environnementales qui leurs sont applicables.

Ce principe implique une relation de confiance entre ces maîtres d'ouvrages et l'administration, de la conception de ses actions à leur mise en œuvre.

L'autosurveillance a pour finalité une meilleure maîtrise des rejets des effluents et des déchets y compris dans les circonstances exceptionnelles (accident, événements météorologiques particuliers), ainsi qu'à l'occasion de travaux.

L'arrêté du 22 juin 2007 impose de façon très précise à la collectivité les actions à mettre en œuvre pour assurer le contrôle du respect de ses obligations réglementaires.

Au plan technique, la crédibilité de l'autosurveillance est subordonnée à :

- la mise en place d'équipements permettant d'assurer un recueil de données fiables
- la tenue et la mise à disposition d'un dispositif documentaire (manuel d'autosurveillance)
- la réalisation par le maître d'ouvrage ou son mandataire d'opérations prévues dans le manuel et par la réglementation

Cette démarche, au delà de son caractère obligatoire, s'inscrit dans une démarche qualité visant :

- pour l'exploitant à vérifier, en continu, l'adéquation entre les objectifs fixés et les résultats obtenus.
- pour les services de police de l'eau, à limiter leurs contrôles directs, et à disposer de données fiables sur le fonctionnement des systèmes d'assainissement.

La mise en place de l'autosurveillance des systèmes de collecte doit être l'occasion pour les collectivités et leurs services de se pencher sur le fonctionnement de leurs réseaux d'assainissement et en fonction des conclusions de se poser la question du niveau d'information qu'elles souhaitent obtenir, en résumé :

- répondre à minima à la réglementation
- ou mettre en place un outil plus performant de type diagnostic permanent pour les aider à améliorer la gestion de leurs ouvrages tant en exploitation qu'en investissement.

Les membres du groupe de travail Rhône-Alpes "Autosurveillance des réseaux d'assainissement" vous proposent ci-joint quelques éléments de contexte ainsi que l'ensemble des documents produits par le groupe depuis sa création en 2006.

Les documents sont présentés en deux parties :

- Recommandation pour la mise en place de l'autosurveillance : organigramme de la démarche; cahier des charges - exemples commentés ; méthodologie d'aide à la définition des objectifs pour une collectivité
- Fiches Méthodologiques et Techniques

La version électronique de ces documents est accessible sur notre site internet (www.graie.org).

Travaux et Perspectives du groupe de travail régional

Le groupe de travail a travaillé courant 2013 sur plusieurs projets :

1. Mise à jour de la fiche **F8**: Mesurage du débit transité ou déversé sur les postes de relèvement / refoulement, face aux nouvelles avancées de la recherche dans ce domaine,
2. Rédaction de fiches techniques sur le thème **mesurage du débit par un débitmètre électromagnétique et de la vitesse sans contact par radar**.

Pour l'année 2014, le groupe de travail souhaite développer les échanges avec les Services Police de l'Eau - club ERU DREAL RA pour bâtir des documents conjoints.

Il poursuivra également sa participation au groupe de travail ministériel sur la révision de l'arrêté de juin 2007 et à ses documents d'accompagnements et finalisera les trois fiches en cours actuellement.

Vos questions techniques ou méthodologiques pouvant faire l'objet d'un travail dans le cadre du groupe, sont les bienvenues. N'hésitez pas à contacter Laëtitia Bacot, chargée d'animation du groupe pour toute suggestion de thèmes (laetitia.bacot@graie.org).

RECOMMANDATIONS POUR LA MISE EN PLACE DE L'AUTOSURVEILLANCE

- Méthodologie d'aide à la définition des objectifs pour une collectivité
- Organigramme de la démarche générale de mise en place de l'autosurveillance
- Cahier des charges – exemples commentés

MISE EN PLACE DE L'AUTOSURVEILLANCE RÉSEAUX QUALIFICATION DES BESOINS

Méthodologie d'aide à la définition des objectifs pour une collectivité

1. Quelles sont les obligations réglementaires applicables à mon système d'assainissement collectif ?

Documents à rechercher

- les textes réglementaires nationaux : Loi sur l'Eau, arrêté autosurveillance du 24 juin 2007 et son commentaire technique, circulaires ...
- les arrêtés préfectoraux d'autorisation de rejet,
- mise en demeure du préfet.....
- régularisation administrative des déversements au milieu

Remarques : Ce sont toujours les obligations les plus contraignantes au sein de ces obligations réglementaires qui s'appliquent

2. Qui peut m'aider pour mener à bien cette démarche (comité de pilotage) ?

- Service de Police de l'Eau (information sur la réglementation)
- Agence de l'eau (avis technique et aide financière)
- Exploitant (informations, expérience, avis technique, possibilité de financement)
- Bureaux d'études spécialisées (études, Avant Projet Sommaire (APS), Marché...)

3. Quels sont les éléments nécessaires pour mener à bien ce projet ?

(Dont je dispose ou que je peux me procurer auprès des autres acteurs (exploitant...))

Éléments indispensables :

- Plan des réseaux à jour
- Plan des sites de déversement ou de relèvement à jour
- Populations et industriels raccordés par rue
(nombre d'abonnés eau potable, population saisonnière)

Éléments complémentaires - conseillés :

- Étude schéma assainissement récent (temps sec/pluie)
- Historique d'exploitation
- Inspections caméra
- Modélisation du réseau à disposition (grosses agglomérations)

4. Quels sont mes problèmes (pour mieux définir mes besoins) ?

- Problème de capacité du réseau, raccordement de communes périphériques
- Problème de pollution particulière, présence d'une zone industrielle
- Problèmes d'exploitation (obstruction fréquente avec risque de débordement, inondation des particuliers, eaux parasites.... ...)
- Problème de gestion du patrimoine (réseau ancien...)
- Ouvrages réseaux à dimensionner (bassin de stockage, nouveau réseau, amélioration de réseau.....)
- Problème de coût d'exploitation
- Modélisation du système d'assainissement inexistante ou à améliorer
- Transmission, archivage, validation des données
- Exploitation des dispositifs d'autosurveillance
- ...

5. Quels sont mes besoins (donc mes objectifs) ?

a) je n'ai pas de problème particulier

Je réponds à minima à la demande réglementaire (arrêté du 22 juin 2007) en équipant les surverses au milieu suivant leur importance.

Je définis le mode d'estimation des charges rejetées en MES et DCO

Pour les collectivités > 10 000 EH la mise en place des points caractéristiques permettra de suivre l'évolution du fonctionnement des réseaux

Je définis le mode d'exploitation des dispositifs d'autosurveillance

b) j'ai des problèmes (voir liste ci-dessus (question 4)) :

Je vais au-delà de la demande réglementaire en optant pour une démarche plus complète d'équipement des réseaux qui me permettra de compiler les informations nécessaires à la résolution de ces problèmes.

Mes objectifs sont alors de rationaliser la gestion des réseaux et les investissements sur des critères d'efficacité mesurables :

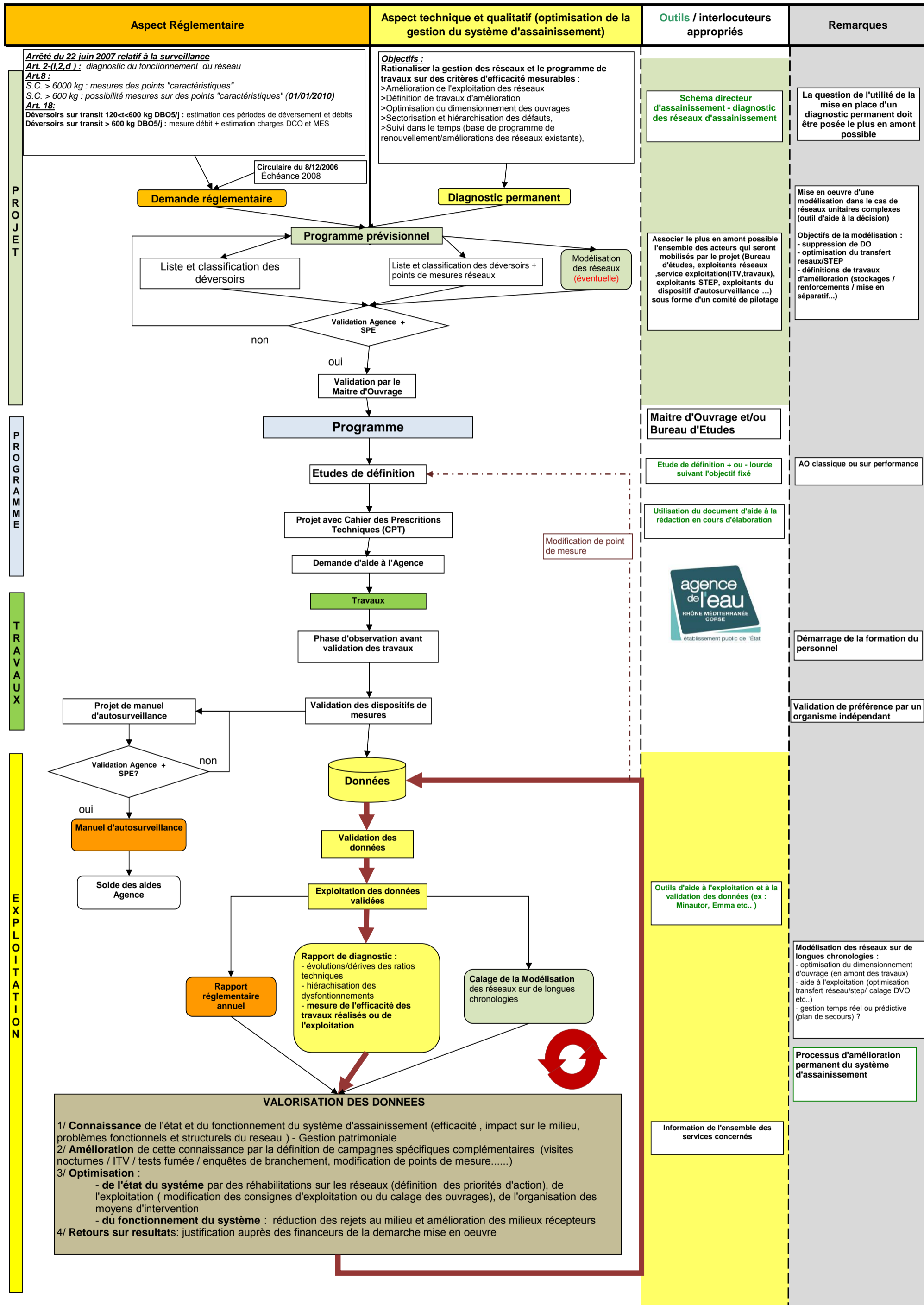
- Sectorisation et hiérarchisation des défauts
- Amélioration de l'exploitation des réseaux (fréquence des curages...)
- Définition de travaux d'amélioration (élimination d'eaux parasites, redimensionnement de collecteur...)
- Optimisation du dimensionnement des ouvrages de stockage (bassin d'orage...)
- Suivi dans le temps (base de programme de renouvellement/améliorations des réseaux existants)

CONCLUSION

**Réalisation d'un programme de travaux adaptés
Et poursuite de la démarche**

*cf. Organigramme de la démarche générale
de mise en place de l'autosurveillance des réseaux d'assainissement ci-après*

Organigramme de la démarche générale de mise en place de l'Autosurveillance des réseaux d'assainissement



Commentaires sur l'organigramme de la démarche générale de mise en place de l'autosurveillance des réseaux d'assainissement.

INTRODUCTION

Si l'autosurveillance des stations d'épuration est bien avancée (94 % de la capacité épuratoire des stations supérieures à 2 000 EH du bassin RMC est sous autosurveillance), tout ou presque reste à faire en ce qui concerne la surveillance des ouvrages de collecte (26% en capacité seulement à ce jour).

La circulaire du 8 décembre 2006 qui demande aux préfets de mettre en demeure les collectivités de se mettre en conformité avec la réglementation pour mars 2008 (étude) ou septembre 2008 (travaux) devrait accélérer la mise sous autosurveillance des systèmes d'assainissement.

La nouvelle réglementation (arrêté du 22/06/2007) impose aux collectivités d'effectuer un diagnostic du fonctionnement de leur système d'assainissement (art 2 alinéa I-d) et de réaliser la surveillance des ouvrages de collecte et de traitement des eaux usées.

C'est l'occasion pour les collectivités et leurs services de se pencher sur le fonctionnement de leurs réseaux d'assainissement et en fonction des conclusions de se poser la question de la nécessité ou non de mettre en place un diagnostic permanent pour les aider à résoudre les problèmes mis à jour. Toutefois

1. PHASE PROJET

Démarche minimale : Demande réglementaire

Elle consiste à satisfaire la demande réglementaire :

- d'une part la surveillance des déversements du réseau d'assainissement au milieu (déversoir d'orage et surverse des poste de relèvement) avec comme objectif sous jacent leur diminution (ceci répond à la demande de l'ancien arrêté du 22 décembre 1994)
- d'autre part (nouvel arrêté du 22 juin 2007)
 - pour les systèmes de collecte produisant une charge brute > 6.000 kg de DBO5, l'équipement des « points caractéristiques » du réseau en mesures de débit (effet immédiat)
 - pour ceux > 600 kg les réseaux doivent être conçus ou adaptés pour permettre des mesures à des « points caractéristiques » au plus tard le 1 janvier 2010.

Les informations recueillies dans cette configuration ne sont pas toujours suffisantes pour définir précisément les actions et travaux à entreprendre.

Démarche complète : Diagnostic permanent et modélisation

Elle satisfait la demande réglementaire et son objectif est aussi **et surtout** l'optimisation de la gestion (investissement et exploitation) des réseaux d'assainissement de la collectivité. Elle est plus complète sur les points suivants :

- la mesure en continue du transit sur des points clés (autres que les « points caractéristiques » réglementaires du réseau),
- l'exploitation en continu de ces données pour l'établissement de consignes d'exploitation ou de projet d'amélioration

Elle gagne à être complétée par une modélisation du réseau qui permet d'affiner ce dernier point notamment sur les aspects suivants :

- optimisation du dimensionnement d'ouvrage (en amont des travaux)
- aide à l'exploitation (optimisation transfert réseau/station d'épuration, calage des DO etc..)
- gestion en temps réel ou prédictive (plan de secours)

Pour que cette démarche soit adoptée il faut sensibiliser le maître d'ouvrage sur son intérêt.

Le Programme prévisionnel

Quelle que soit l'option retenue (demande réglementaire ou diagnostic permanent), il faut aboutir dans un premier temps à l'élaboration d'un programme prévisionnel qui listera les points à équiper (DO et leur classement, points de mesures réseaux, modélisation.....).

Le programme devra aussi définir les moyens en personnel (et leur formation) nécessaires au fonctionnement du système et à la validation des données.

Ce programme prévisionnel et surtout la partie surveillance des rejets aux milieux doivent être validés par les administrations (Agence et SPE).

Identification et classification des DO et des « points caractéristiques » du réseau

L'identification des points caractéristiques sur les réseaux, des DO et de leur classification (120 kg, 600 kg DBO5), sont des points importants de la présentation des dossiers aux administrations (SPE, Agence).

(Le MO doit avoir en principe régularisé auprès du SPE les déclarations et/ou autorisations des différents ouvrages de rejet (DO, voir station d'épuration)).

Le mode d'estimation de la pollution rejetée pour les DO > 600 kg DBO5 doit aussi être validé.

Il faut par ailleurs étudier en amont les différents modes de transmission des données (RTC, radio, radio numérique...) qui peuvent être optimisés en fonction du contexte local (cette réflexion peut être transversale avec d'autres services de la collectivité (transports, Ordures Ménagères,...)

Il est important dès ce niveau de s'entourer de toutes les connaissances et compétences disponibles et ainsi d'associer l'ensemble des acteurs qui seront à divers stades mobilisés par le projet (Bureaux d'études, exploitants station et réseaux, administrations....) sous la forme d'un comité de pilotage.

2. PHASE PROGRAMME

Le MO valide l'option retenue et le programme prévisionnel, ses services avec éventuellement l'assistance d'un BE spécialisé finalisent le programme et décident de la nécessité d'engager des études de définitions

Etudes de définitions :

Suivant l'option retenue (modélisation par exemple), le contexte et la configuration des points, elles peuvent être indispensables et plus ou moins lourdes. Dans ce cas, avant d'engager une opération et la maîtrise d'œuvre, des études préalables doivent permettre de préciser les points à équiper, les équipements à installer (une campagne de métrologie peut être aussi nécessaire).

Le programme arrêté et validé par le maître d'ouvrage est traduit par un maître d'œuvre sous forme de projet de consultation des entreprises avec notamment un CPT que l'Agence demande à valider avant mise en concurrence. Le MO pourra s'inspirer du document d'aide à la rédaction d'un CPT autosurveillance des réseaux en cours d'élaboration qui présente 2 manières d'aborder le problème (AO classique ou sur performance).

L'Agence de l'Eau peut apporter une aide pour la réalisation de ces travaux sous réserve qu'ils répondent à l'un ou l'autre des 2 objectifs (réglementaire ou diagnostic permanent).

3. PHASE TRAVAUX

Les travaux réalisés, il est nécessaire de prévoir une période d'observation avant de valider les dispositifs de mesures et de l'ensemble du système.

Validation des dispositifs de mesures :

Dans la mesure du possible la validation des dispositifs doit être effectuée par d'autres méthodes que celles employées sur le site. Par ailleurs il est fortement recommandé de faire réaliser une validation par un organisme indépendant intervenant directement pour le

compte du Maître d'ouvrage et non le constructeur (« essais de garantie ») – ou par le maître d'œuvre s'il en a les moyens et la compétence.

Le MO pourra s'appuyer sur des fiches techniques mises à sa disposition.

Parallèlement l'exploitant rédigera un projet de manuel d'auto surveillance qui une fois validé permettra de solder les aides financières de l'Agence.

4. PHASE EXPLOITATION

Dès sa mise en fonctionnement, le système d'autosurveillance va produire des données qu'il faudra valider et valoriser sous forme de rapport réglementaire (minimum dans le cas de l'autosurveillance réglementaire), mais aussi de rapport diagnostic qui devront déboucher sur la définition de nouvelles actions à engager soit en terme de travaux soit en terme d'amélioration de l'exploitation et le système sera engagé dans un processus d'amélioration continue.

Validation des données :

Etape très importante à ne pas négliger (moyens informatiques et en personnel)

Il existe sur le marché des outils informatiques (Minautor, Emma....) pour aider l'exploitant dans cette tâche.

Des sociétés proposent aussi de traiter toute cette phase et de mettre à disposition les résultats.

Exploitation des données validées :

Elle devra permettre un suivi diagnostic annuel répertoriant :

- les évolutions et dérives de ratios techniques (ex : taux de déversement au milieu...)
- les dysfonctionnements et leur hiérarchisation
- l'efficacité des travaux réalisés
- l'efficacité de l'exploitation

Elles permettront par ailleurs d'améliorer le calage de la modélisation du réseau sur de longues chronologies et ainsi affiner son fonctionnement et sa fiabilité.

Les objectifs finaux à atteindre sont les suivants :

- la connaissance de l'état du système,
- la réduction des rejets au milieu par temps sec et par temps de pluie,
- la définition de travaux sur les réseaux (renouvellement, redimensionnement, bassin de stockage, élimination des eaux parasites),
- définitions de campagnes spécifiques complémentaires (visites nocturnes / inspection télévisée sur certains tronçons, tests fumée / enquêtes de branchement)
- justification des travaux auprès des financeurs
- optimisation du système (travaux sur les réseaux, modification des consignes d'exploitation ou du calage des ouvrages)

Les travaux et les améliorations d'exploitation devraient avoir un impact sur les données et la modélisation induisant ainsi un processus d'amélioration continue.

La valorisation des données et des constats résultant de l'exploitation des données d'autosurveillance permet :

1/ une meilleure connaissance de l'état et du fonctionnement du système d'assainissement (efficacité et impact sur le milieu),

2/ une amélioration de cette connaissance par la définition de campagnes spécifiques complémentaires mieux ciblées (visites nocturnes / ITV / tests fumée / enquêtes de branchement....) ou de modification de points de mesure suite au retour d'expérience sur ces points,

3/ l'optimisation à la fois :

- de l'état du système par des travaux sur les réseaux (définition de travaux sur les réseaux, bassin d'orage, redimensionnement de canalisation sur certains secteurs...),
- de l'exploitation (modification des consignes d'exploitation ou du calage des ouvrages),
- de l'organisation des moyens d'intervention sur le système d'assainissement

4/ la réduction des rejets au milieu et l'amélioration des milieux récepteurs.

Tous ces points permettent de justifier les investissements et les coûts d'exploitation vis-à-vis des financeurs (collectivités et organismes publics).

AUTOSURVEILLANCE DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT

EXEMPLE DE CCTP COMMENTE

Etabli à partir du CCTP de Chambéry Métropole
réalisé par Saunier Environnement - Hydrolac en Novembre 2003

et du CCTP du Grand Lyon, réalisé en régie en mars 2004

Réseau régional d'échange Rhône-Alpes
Autosurveillance des réseaux d'assainissement

Mars 2008

GRAIE
<http://www.graie.org>

EXEMPLE DE CCTP COMMENTE

AUTOSURVEILLANCE DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT

DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES- C.C.T.P.

SOMMAIRE

1- Article 1 Dispositions générales.....	5
1.1 Objet du présent cahier.....	5
1.2 Etat et connaissance des lieux.....	6
1.3 Connaissance du Dossier de Consultation.....	6
1.4 Dispositions générales pour le chantier	7
1.4.1 Planning des travaux	7
1.4.2 Alimentation en énergie électrique pendant le chantier	7
1.4.3 Fonctionnement des installations existantes pendant le chantier	7
1.4.4 Vérifications pendant le chantier	8
1.4.5 Protection des ouvrages	8
1.4.6 Gestion des déchets de chantier	8
2- Article 2 Consistance des travaux.....	9
3- Article 3 Mode d'exécution des travaux Qualité des matériaux et matériels	10
3.1 Domaine d'application	10
3.2 Travaux relatifs aux points de mesure sur les déversoirs d'orage et réseaux unitaires pluviaux.....	14
3.2.1 Spécifications relatives aux stations de mesure débitmétriques par cordes à ultrasons	15
3.2.2 Spécifications relatives aux stations de mesure débitmétriques par sondes Doppler	19
3.2.3 Spécifications relatives à la station de mesure débitmétrique par seuil jaugeur	22
3.3 Travaux relatifs aux points de mesure sur les réseaux séparatifs d'eaux usées.....	24
3.3.1 Spécifications relatives aux mesures de débit par Canal Venturi	25
3.3.2 Spécifications relatives aux mesures de débit par débitmètre électromagnétique	28

3.3.3 Spécifications relatives à la mesure de pluviométrie	30
3.4 Travaux relatifs à la télésurveillance et à la supervision.....	31
3.4.1 Consistance des travaux	31
3.5 Formation du personnel.....	41
3.5.1 Exécution des travaux -Qualité des matériaux et matériels	44
3.6 Travaux de génie civil et canalisation	50
3.6.1 Consignes générales pour les travaux de génie civil et canalisation	50
3.6.2 Terrassements et génie civil	50
3.6.3 Equipements hydrauliques divers	51
3.6.4 Entretien et remise en état des voiries	53
3.7 Hygiène et sécurité	53
3.8 Propreté du chantier	54
3.9 Stockage provisoire des matériels et matériaux	54
4- Article 4 Mesures qualitatives.....	55
4.1 Préambule.....	55
4.2 Matériel de prélèvement.....	56
4.2.1 Spécifications pour les échantillonneurs	56
4.3 Mesures en continu.....	59
4.3.1 Mesure de turbidité	59
4.3.2 Mesure de substances organiques	60
4.3.3 Autres mesures en continu	60
5- Article 5 Réception des travaux.....	61
5.1 Essais et réception	61
5.1.1 Cahier de recettes et de réception	61
5.1.2 Protocole d'essais	61
5.2 Tests préalables à l'installation.....	62
5.2.1 Capteurs piézorésistifs	62
5.2.2 Capteurs capacitifs	62
5.2.3 Capteurs de niveau à ultrasons	62

5.2.4 Capteurs de vitesse à effet DOPPLER	63
5.2.5 Capteurs de vitesse par corde à ultrasons	63
5.2.6 Poste local de télégestion	64
5.2.7 Système central de télégestion	64
5.3 Vérification in situ des sites de mesure.....	65
5.3.1 Mesure de hauteur ou de niveau	65
5.3.2 Mesure de vitesse	65
5.3.3 Mesure de débit	65
5.3.4 Mesure de pH	66
5.3.5 Mesure de conductivité	66
5.3.6 Mesure de température	66
5.3.7 Mesure de substances organiques	66
5.4 Récolement des travaux	67
5.4.1 Capteurs de niveau immergés	67
5.4.2 Capteurs de niveau à ultrasons	67
5.4.3 Capteurs de vitesse	67
5.4.4 Canal jaugeur	68
5.4.5 Cotes remarquables	68
5.4.6 Formes d'ouvrages	68
5.5 Mise en œuvre opérationnelle, vérifications et réception.....	69
5.5.1 Vérification d'aptitude des sites de mesure --Lot 1	69
5.5.2 Vérification de la conformité électrique des armoires, Lot 2	69
5.5.3 Vérification de fonctionnement du système de télégestion , Lot 1	69
5.5.4 Documentation	70
5.5.5 Fonctionnement en période probatoire	70
5.5.6 Réception des sites	71

1 - Article 1

Dispositions générales

1.1 Objet du présent cahier

Les stipulations du présent Cahier des Clauses Techniques Particulières (C.C.T.P.) concernent les travaux de mise en place de l'autosurveillance des réseaux d'assainissement de XXX.

Les prestations comprennent :

- la mise en place d'équipements de mesures de débit
- la réalisation des ouvrages de génie civil accueillant ces équipements (ou la modification et l'aménagement des ouvrages s'ils sont existants) ;
- la collecte des informations de mesures, leur sauvegarde locale et leur transmission régulière vers un site central ;
- la mise en place d'un poste central informatique permettant la gestion à distance des points de mesures, ainsi que l'exploitation des données ;
- tous les branchements au réseau d'eau potable et raccordements au réseau d'assainissement ;
- la fourniture et la pose de tous les fourreaux d'amenée des réseaux (y compris électrique et téléphonique).

Les frais de mise à disposition des lignes EDF et téléphoniques sont à la charge du Maître d'Ouvrage.

Privilégier la réalisation des travaux de génie-civil sous responsabilité de l'équipementier

Plus généralement, veiller à ce que le maître d'œuvre et le groupement rassemblent les 5 domaines de compétences indispensables : Génie Civil, Assainissement, Métrologie, Informatique/supervision et Télégestion

Veiller à garantir une forte concertation entre maître d'ouvrage, maître d'œuvre, exploitant, entreprises, CSPP, gestionnaire de voirie, concessionnaires de réseaux secs et service urbanisme

Préciser la disposition retenue en fonction du maître ouvrage. Etudier les autres modes de communication (GSM, Radio) et d'alimentation

...

DOCUMENT COMPLET DISPONIBLE EN TELECHARGEMENT SUR LE SITE WEB DU GRAIE

Lien "Productions" - thème "Autosurveillance des réseaux d'assainissement" - Lien : ">>> Voir toutes les productions du Graie"

<http://www.graie.org/graie/graiedoc/reseaux/autosurv/CCTPcommenteV6-19mars08.pdf>

FICHES METHODOLOGIQUES & TECHNIQUES



Fiche Méthodologique n°0 : Terminologie

En métrologie, chaque terme doit avoir une signification identique pour tous les utilisateurs et être défini sans ambiguïté par rapport au langage courant. Le vocabulaire de la métrologie a été défini dans une norme internationale reprise dans la norme française AFNOR NF X 07-001 (1994) intitulée « Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de la métrologie » et désignée par l'acronyme « VIM » pour Vocabulaire International de la Métrologie. Les termes ci-dessous sont extraits du VIM. Tous les **termes en gras** apparaissent dans cette fiche.

Ajustage (d'un instrument de mesure)

Opération destinée à amener un instrument de mesure à un état de fonctionnement convenant à son utilisation. Voir la différence avec **réglage**.

Erreur (de mesure)

Résultat d'un **mesurage** moins la **valeur vraie** du **mesurande**.

Erreur aléatoire

Résultat d'un **mesurage** moins la moyenne d'un nombre infini de **mesurages** du même **mesurande**, effectués dans les conditions de **répétabilité**.

Erreur systématique

Moyenne qui résulterait d'un nombre infini de **mesurages** du même **mesurande**, effectués dans les conditions de **répétabilité**, moins la **valeur vraie** du **mesurande**.

Erreurs maximales tolérées

Valeurs extrêmes d'une erreur tolérée par l'utilisateur, les spécifications, les règlements, etc. pour un instrument de mesure donné.

Étalon

Mesure matérialisée, appareil de mesure, **matériau de référence** ou système de mesure destiné à définir, réaliser, conserver ou reproduire une unité ou une ou plusieurs valeurs d'une grandeur pour servir de référence. Exemples : masse étalon de 1 kg, solution étalon de pH ou de conductivité, etc.

Étalonnage

Ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure, ou les valeurs représentées par une mesure matérialisée ou un **matériau de référence**, et les valeurs correspondantes de la grandeur réalisées par des **étalons**.

Exactitude de mesure

Etroitesse de l'accord entre le résultat d'un **mesurage** et la valeur vraie du **mesurande**. Le concept d'exactitude est *qualitatif*. Le terme « précision » ne doit pas être utilisé pour exactitude.

Fidélité

Aptitude d'un instrument de mesure à donner des indications très voisines lors de l'application répétée du même **mesurande** dans les mêmes conditions de mesure.

Incertitude de mesure

Paramètre, associé au résultat d'un **mesurage**, qui caractérise *la dispersion des valeurs* qui pourraient raisonnablement être attribuées au **mesurande**.

Justesse

Aptitude d'un instrument de mesure à donner des indications exemptes d'**erreur systématique**.

Matériau de référence (voir aussi la norme FD ISO GUIDE 30)

Matériau ou substance dont une (ou plusieurs) valeur(s) de la (des) propriété(s) est (sont) suffisamment homogène(s) et bien définie(s) pour permettre de l'utiliser pour l'**étalonnage** d'un appareil, l'évaluation

d'une méthode de mesure ou l'attribution de valeurs aux matériaux. Exemples : solutions de référence pour le pH, la conductivité, la turbidité. Voir norme FD ISO GUIDE 30 (1995).

Matériau de référence certifié (voir aussi la norme FD ISO GUIDE 30)

Matériau de référence, *accompagné d'un certificat*, dont une (ou plusieurs) valeur(s) de la (des) propriété(s) est (sont) certifiée(s) par une procédure qui établit son raccordement à une réalisation exacte de l'unité de mesure dans laquelle les valeurs de la propriété sont exprimées et pour laquelle chaque valeur certifiée est accompagnée d'une incertitude à un niveau de confiance indiqué. Exemples : solutions de référence certifiées pour le pH, la conductivité, la turbidité.

Mesurage

Ensemble d'opérations ayant pour but de déterminer une valeur d'une grandeur.

Mesurande

Grandeur particulière soumise à un **mesurage**.

Réglage (d'un instrument de mesure)

Ajustage utilisant uniquement les moyens mis à disposition de l'utilisateur.

Répétabilité

Etroitesse de l'accord entre les résultats des **mesurages** successifs du même **mesurande**, avec les mesurages effectués dans la totalité des mêmes conditions de mesure. Ces conditions sont appelées conditions de répétabilité. Elles comprennent : même mode opératoire, même observateur, même instrument de mesure utilisé dans les mêmes conditions, même lieu, répétition des mesurages durant une courte période de temps.

Reproductibilité

Etroitesse de l'accord entre les résultats des **mesurages** du même **mesurande**, avec les mesurages effectués en faisant varier les conditions de mesure. Pour qu'une expression de la reproductibilité soit valable, il est nécessaire de spécifier les conditions que l'on fait varier. Celles-ci peuvent comprendre : principe de mesure, méthode de mesure, observateur, instrument de mesure, étalon de référence, lieu, conditions d'utilisation, temps.

Résultat brut

Résultat d'un **mesurage** avant correction de l'**erreur systématique**.

Résultat corrigé

Résultat d'un **mesurage** après correction de l'**erreur systématique**.

Valeur vraie (d'une grandeur)

Valeur compatible avec la définition d'une grandeur particulière donnée. C'est une valeur que l'on obtiendrait par un mesurage parfait. *Toute valeur vraie est par nature indéterminée.*

Vérification

Confirmation par examen et établissement des preuves que les exigences spécifiées ont été satisfaites. Dans le cadre de la gestion d'un parc d'instruments de mesure, la vérification permet de s'assurer que les écarts entre les valeurs indiquées par un instrument de mesure et les valeurs connues correspondantes d'une grandeur mesurée sont tous inférieurs aux **erreurs maximales tolérées**, définies par une norme, par une réglementation ou une prescription propre au gestionnaire du parc d'instruments de mesure. Le résultat d'une vérification se traduit par une décision de remise en service, d'**ajustage**, de réparation, de déclassement, de réforme. Dans tous les cas, une trace écrite de la vérification effectuée doit être conservée dans le dossier individuel de l'appareil de mesure. Voir aussi norme NF X 07-011 (1994).



Fiche n°1 : La validation du dispositif de mesure

Après installation du dispositif, cette étape consiste

- à s'assurer de la qualité satisfaisante de l'installation et des données transmises et
- à évaluer les incertitudes sur ces données.

Le dispositif de mesure est généralement composé des 6 éléments suivants et de leurs interfaces :

1. le capteur
2. le transmetteur
3. le calculateur
4. le télétransmetteur
5. le modem
6. le superviseur.

Les différents éléments, leurs interfaces, ainsi que le positionnement du capteur et ses conditions d'utilisation sont différentes sources d'erreur à prendre en compte dans la chaîne des incertitudes.

DETAIL DE LA DEMARCHE DE MESURE

0. Définition des objectifs et du niveau de mesure

Cette étape est fondamentale : il appartient à l'utilisateur des résultats de définir, pour chaque cas et chaque capteur, les spécifications requises : étendue de mesure, incertitudes maximales tolérées, etc. Il n'existe pas de consignes ou de valeurs universellement valables et applicables en toute circonstance sans réflexion locale spécifique.

1. Demande de Certification de l'appareil installé ou comparaison de la mesure à une valeur connue avant installation sur site

Il est nécessaire de demander systématiquement au fournisseur un certificat d'étalonnage du capteur et des différents composants du système, réalisé avec des étalons certifiés pour ce qui est des hauteurs et sur un banc d'essai en laboratoire pour ce qui est des vitesses.

2. Vérification sur site de la mesure de hauteur et de sa transmission, du capteur au superviseur

Il s'agit de réaliser des tests, à différentes hauteurs, avec des repères sur site, et avec une incertitude correspondant aux objectifs. On compare le résultat de la mesure fourni aux différentes étapes de la chaîne de transmission.

Les différents composants du système ne sont pas tous réglables. Si la valeur arrivant à la supervision est jugée non compatible avec les objectifs fixés, il sera nécessaire de corriger les valeurs brutes (avec un étalonnage de la chaîne de mesure complète) pour avoir une mesure correcte ou changer le matériel défectueux.

3. Vérification de la mesure de vitesse et de sa transmission, du capteur au superviseur

Il n'existe pas d'étalon pour la mesure de vitesse. Il s'agit donc de comparer deux mesures entre elles (Cf. Fiche N°2 : Comparaison de deux valeurs.).

Il est proposé d'utiliser du matériel portable, de type vélocimètre Doppler, pour faire cette comparaison avec le matériel sur site. Il devra être étalonné par un laboratoire certifié au moins une fois par an et devra être contrôlé systématiquement avant toute utilisation.

Il est proposé de faire une validation de la mesure Doppler par un test sur un canal de mesure ou un venturi, généralement disponible à la station d'épuration, et dont on sait que la vitesse d'écoulement est connue à +/- 5 à 10 % si le canal de mesure est rigoureusement conforme aux normes en vigueur (par exemple normes NF X 10-311, NF ISO 4360, NF ISO 4359, NF ISO 9826).

4. Réglage ou demande d'ajustage, jusqu'à obtention d'un résultat satisfaisant

Les réglages des instruments de mesure peuvent être faits par le fournisseur et/ou par l'exploitant sur les différents éléments de la chaîne de mesure. La prise en compte de la position exacte des capteurs (par rapport au radier ou au toit du collecteur par exemple) et les corrections éventuelles

correspondantes des données brutes sont indispensables et doivent être intégrés dans les calculs du débit (cette dernière opération est cependant distincte du réglage : Cf. Fiche N°0 : Terminologie.).

5. Comparaison des valeurs du capteur avec une valeur connue.

Cette étape fournit la possibilité, si les conditions satisfaisantes sont réunies, de garantir un résultat de mesure avec une incertitude donnée. Cf. Fiche N°2 : Comparaison de deux valeurs.

EXEMPLE : MESURE DE DEBIT

Dans le cas d'une mesure de débit, les différentes étapes sont les suivantes :

1. Définition des objectifs de l'utilisateur
2. Demande de Certification de l'appareil installé
3. Vérification de la mesure de hauteur et de sa transmission, du capteur au superviseur
4. Vérification de la mesure de vitesse et de sa transmission, du capteur au superviseur
5. Réglage (fait par l'utilisateur) ou demande d'ajustage (fait par le fabricant dans le programme interne de l'appareil), jusqu'à obtention d'un résultat compatible avec les objectifs fixés par l'utilisateur
6. Calcul des incertitudes associées à la mesure (ne fait pas l'objet de cette fiche).

Remarque 1 :

Pour réaliser cette validation, il est nécessaire de récupérer séparément les données hauteurs et vitesse jusqu'au superviseur, et pas la seule valeur résultante du débit. En effet, seules ces deux grandeurs sont mesurées directement : le débit n'est qu'un résultat de calcul utilisant ces deux mesures.

L'interprétation des valeurs et des problèmes éventuels sont plus simples sur les grandeurs mesurées que sur le débit calculé.

Attention: le calcul de débit par le calculateur est à vérifier obligatoirement à réception du matériel.



Fiche Méthodologique n°2 : Comparaison de deux valeurs

Si une même grandeur est mesurée simultanément au moyen de deux appareils différents (par exemple un appareil géré par l'exploitant du réseau et un appareil de comparaison géré par la police de l'eau), la comparaison des deux valeurs fournies par les deux appareils ne peut être effectuée valablement que dans certaines conditions. Différents cas sont envisageables.

Cas n° 1

Les deux appareils de mesure ont été étalonnés, leurs erreurs systématiques ont été corrigées, et leurs incertitudes de mesure réelles in situ sont évaluées (il n'est pas question ici des incertitudes de mesure théoriques annoncées par les fabricants). Soit x_1 et x_2 les valeurs fournies par les deux appareils et $u(x_1)$ et $u(x_2)$ leurs incertitudes types associées. On rappelle que les incertitudes types sont telles que la valeur vraie de la grandeur X_i a une probabilité d'environ 95 % d'être comprise entre $x_i - 2u(x_i)$ et $x_i + 2u(x_i)$ lorsque les valeurs x_i suivent une loi normale (intervalle de confiance à 95 %) : voir Figure 1.

On calcule la différence E entre les deux valeurs et son incertitude type $u(E)$:

$$E = |x_1 - x_2| \quad \text{eq. 1}$$

$$u(E) = \sqrt{u(x_1)^2 + u(x_2)^2} \quad \text{eq. 2}$$

Dans une première approche simplifiée, on peut conclure de la manière suivante :

Si $E \leq 2u(E)$: les deux valeurs ne sont pas significativement différentes et peuvent être considérées comme équivalentes. Leurs intervalles de confiance se recoupent partiellement (Figure 2, gauche).

Si $E > 2u(E)$: les deux valeurs sont significativement différentes l'une de l'autre : les intervalles de confiance sont disjoints (Figure 2, droite).

Par contre, il n'est pas possible, sans une troisième valeur ou une autre possibilité de vérification, de dire laquelle des deux valeurs x_1 ou x_2 est la plus proche de la valeur vraie.

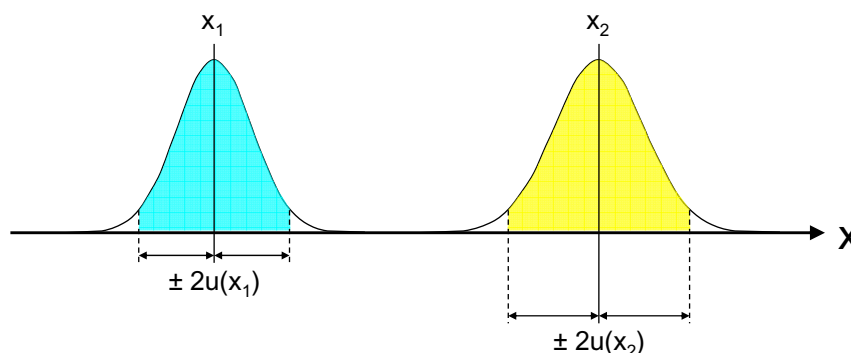


Figure 1 : deux valeurs x_1 et x_2 et leurs intervalles de confiance (loi normale)

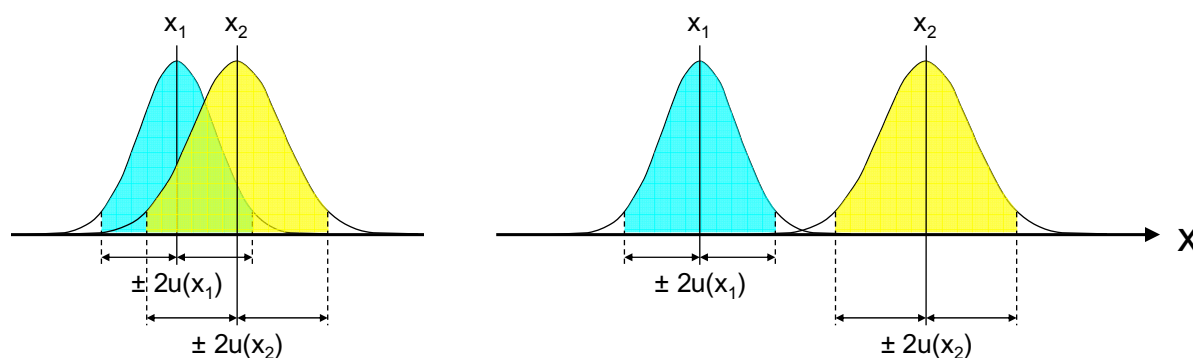


Figure 2 : gauche : valeurs équivalentes : droite : valeurs différentes

Cas n° 2

Par rapport au cas précédent, on ne sait pas si les valeurs x_i suivent une loi normale. On sait simplement que la valeur vraie de la grandeur X_i est comprise entre $x_i - a_i$ et $x_i + a_i$. Cela correspond au cas d'une loi uniforme : toute valeur x_i entre $x_i - a_i$ et $x_i + a_i$ a la même probabilité d'être la valeur vraie (voir Figure 3). Dans ce cas, les incertitudes types sont calculées de la manière suivante :

$$u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{3}}$$

eq. 3

On applique ensuite les mêmes calculs que pour le cas n° 1.

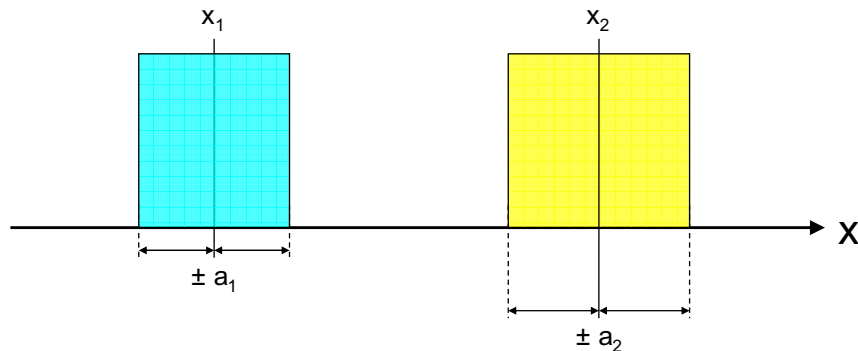


Figure 3 : deux valeurs x_1 et x_2 et leurs intervalles de confiance (loi uniforme)

Cas n° 3

C'est un cas dégradé par rapport au cas n° 1 : un seul des deux appareils a été étalonné, ses erreurs systématiques ont été corrigées, et les incertitudes de mesure réelles sont évaluées. La valeur vraie est alors comprise entre $x_1 - 2u(x_1)$ et $x_1 + 2u(x_1)$. On veut comparer la valeur x_2 fournie par le deuxième appareil (voir Figure 4). Si la valeur x_2 est comprise dans l'intervalle de confiance de x_1 , on peut conclure qu'elle n'en est pas significativement différente. Si par contre la valeur x_2 n'est pas comprise dans l'intervalle de confiance de x_1 , soit x_2 est vraiment différente de x_1 , soit elle ne l'est pas : il est impossible de conclure en l'absence d'information supplémentaire.

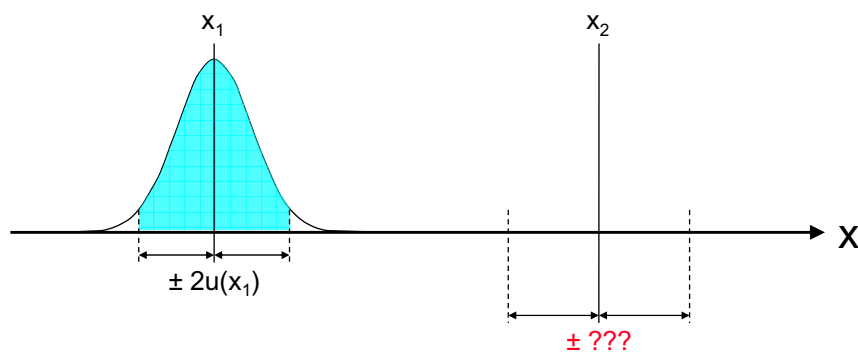


Figure 4 : distribution connue pour x_1 uniquement



Fiche n°3 : Calcul d'incertitude du débit dans un collecteur non circulaire

1. Calcul du débit Q

On considère un point de mesure sur un collecteur où l'on mesure simultanément la hauteur d'eau h (m) et la vitesse d'écoulement moyenne U (m.s⁻¹) à travers la section mouillée S (m²). On détermine la section mouillée S à partir de la hauteur mesurée h au moyen d'une relation $S(h)$ établie spécifiquement pour le point de mesure considéré. Le débit Q (m³.s⁻¹) est calculé par la relation

$$Q = S(h)U \quad \text{eq. 1.1}$$

Dans la plupart des cas, la relation $S(h)$ est un polynôme de degré 1, 2 ou 3 écrit sous la forme générale

$$S(h) = \sum_{j=0}^m b_j h^j \quad \text{eq. 1.2}$$

avec b_j les coefficients du polynôme et m le degré du polynôme.

Dans le cas particulier d'un polynôme de degré $m = 3$, $S(h) = b_0 + b_1 h + b_2 h^2 + b_3 h^3$.

2. Incertitude sur le débit Q

On fait les hypothèses suivantes :

- tous les capteurs sont correctement étalonnés et périodiquement vérifiés.
- les erreurs systématiques éventuelles sont corrigées. Seules les erreurs aléatoires sont prises en compte dans les calculs qui suivent. On suppose qu'elles suivent des lois normales.
- la section du collecteur est réellement la section prévue : il n'y a ni dépôts, ni sédimentation, ni déformation.
- on néglige les incertitudes sur les sections mesurées S .

Dans ce cas, en appliquant la loi de propagation des incertitudes au débit

$$Q = U \sum_{j=0}^m b_j h^j \quad \text{eq. 2.1}$$

l'incertitude type $u(Q)$ est calculée par la relation

$$u(Q)^2 = u(U)^2 \left(\frac{\partial Q}{\partial U} \right)^2 + u(h)^2 \left(\frac{\partial Q}{\partial h} \right)^2 + \sum_{j=0}^m u(b_j)^2 \left(\frac{\partial Q}{\partial b_j} \right)^2 + 2 \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{k=j+1}^m \text{cov}(b_j, b_k) \left(\frac{\partial Q}{\partial b_j} \right) \left(\frac{\partial Q}{\partial b_k} \right) \quad \text{eq. 2.2}$$

avec

$u(U)$	l'incertitude type sur la vitesse (m.s ⁻¹)
$u(b_j)$	les incertitudes types sur les coefficients b_j
$\text{cov}(b_j, b_k)$	les covariances des coefficients b_j .

Seules sont prises en compte les covariances entre les coefficients b_j .

L'établissement de la relation $S(h)$ et le calcul des valeurs $u(b_j)$ et $\text{cov}(b_j, b_k)$ sont présentés au paragraphe 3. Un exemple complet d'application est détaillé au paragraphe 4.

3. Relation $S(h)$ et incertitudes associées

On établit la relation $S(h)$ par la méthode des moindres carrés ordinaires à partir de n couples de points (h_i, S_i) expérimentaux, obtenus par un relevé *in situ* ou, à défaut, sur plan (compte tenu des nombreuses différences observées entre plans et réalité, un récolement effectué *in situ* par un géomètre est toujours préférable).

La méthode des moindres carrés ordinaires est disponible sur de nombreux logiciels du commerce (par exemple Excel, TableCurve, etc.), et permet d'obtenir les valeurs des coefficients b_j et de leurs incertitudes types $u(b_j)$. Cependant, la plupart de ces logiciels commerciaux ne fournissent pas les valeurs des covariances $\text{cov}(b_j, b_k)$ indispensables pour le calcul des incertitudes. Nous détaillons dans ce paragraphe les calculs nécessaires : ils sont programmés dans le code Matlab UQSU (code de démonstration).

La méthode des moindres carrés ordinaires consiste à rechercher la relation $S(h)$ qui approxime au mieux les n couples de points (h_i, S_i) , en minimisant l'écart

$$E = \sum_{i=1}^n (S(h_i) - S_i)^2 = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=0}^m b_j h_i^j - S_i \right)^2 \quad \text{eq. 3.1}$$

L'écart E est minimum lorsque $\frac{\partial E}{\partial b_j} = 0 \quad \forall j = 0:m$

Cela revient à résoudre le système linéaire suivant :

$$\begin{array}{c|ccc|c|c} 1 & h_1 & h_1^2 & \dots & h_1^m & \left| \begin{array}{c} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_m \end{array} \right| & \left| \begin{array}{c} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_n \end{array} \right| \\ 1 & h_2 & h_2^2 & \dots & h_2^m & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \\ 1 & h_n & h_n^2 & \dots & h_n^m & \end{array} \times = \quad \text{eq. 3.2}$$

Sous forme matricielle, ce système s'écrit

$$Fb = S \quad \text{eq. 3.3}$$

Les étapes de calcul sont les suivantes :

On procède à une décomposition QR de la matrice F qui est remplacée par le produit de 2 matrices Q et R , ce qui permet d'écrire le système à résoudre sous la forme :

$$QRb = S \quad \text{eq. 3.4}$$

Cette décomposition QR est nécessaire pour déterminer correctement les valeurs des covariances.

On procède ensuite aux calculs suivants :

$$M = R^{-1}Q^T \quad \text{eq. 3.5}$$

$$b = MS \quad \text{eq. 3.6}$$

On calcule les résidus e par la relation

$$e = Fb - S \quad \text{eq. 3.7}$$

La somme des carrés des résidus S_r est calculée par la relation

$$S_r = e^T e \quad \text{eq. 3.8}$$

La matrice de covariance C est calculée par la relation

$$C = \frac{S_r}{n - m - 1} MM^T \quad \text{eq. 3.9}$$

La matrice C donne directement toutes les valeurs $u(b_j)$ et $\text{cov}(b_j, b_k)$ nécessaires aux calculs ultérieurs :

$$C = \begin{array}{c|cccc} & u(b_1)^2 & \text{cov}(b_1, b_2) & \dots & \text{cov}(b_1, b_m) \\ \text{cov}(b_2, b_1) & & u(b_2)^2 & \dots & \text{cov}(b_2, b_m) \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \text{cov}(b_m, b_1) & \text{cov}(b_m, b_2) & \dots & & u(b_m)^2 \end{array} \quad \text{eq. 3.10}$$

4. EXEMPLE D'APPLICATION

On prend comme exemple d'application un collecteur type 064 à banquettes dont les caractéristiques sont données Tableau 4.1 et Figure 4.1. Les points (h_i, S_i) sont représentés Figure 4.2 : on observe une rupture de pente significative pour $h = 1.2$ m. Nous proposons donc d'établir la fonction $S(h)$ en deux parties : une partie pour $h \leq 1.2$ m, l'autre partie pour $h \geq 1.2$ m.

h_i (m)	S_i (m ²)
0	0
0.20	0.20
0.40	0.47
0.60	0.76
0.80	1.07
1.00	1.39
1.20	1.72
1.40	2.15
1.60	2.64
1.80	3.15
2.00	3.66
2.20	4.18
2.40	4.69
2.60	5.20
2.80	5.68
3.00	6.14
3.20	6.54
3.40	6.85
3.59	7.01

Tableau 4.1 : couples de valeurs (h_i, S_i) pour le collecteur type 064 à banquettes

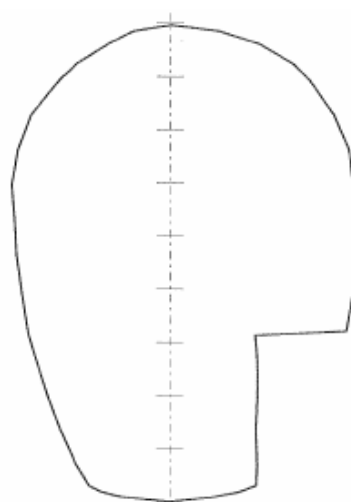


Figure 4.1 : section du collecteur type 064 à banquettes

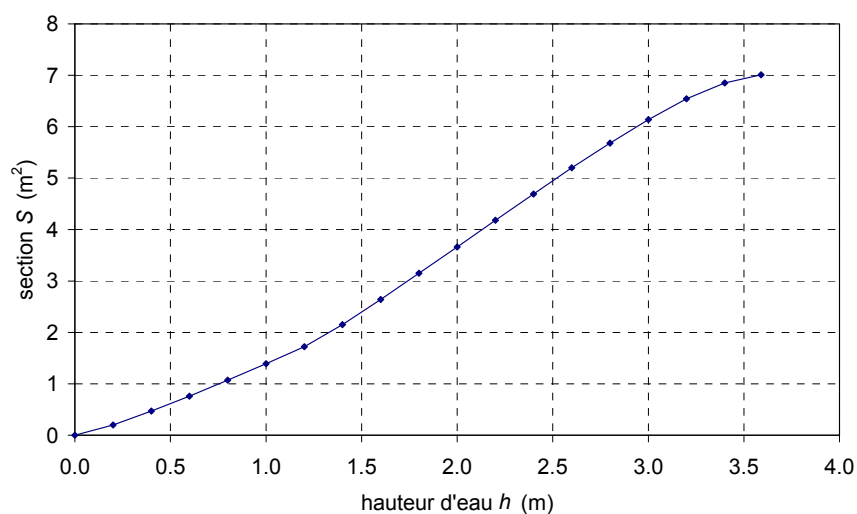


Figure 4.2 : tracé des couples de valeurs (h_i, S_i) pour le collecteur type 064 à banquettes

Pour la suite des calculs, on considèrera deux cas :

variable	1 ^{er} cas	2 ^{ème} cas
h (m)	0.8	1.6
$u(h)$ (m)	0.0075	0.0100
U (m.s ⁻¹)	0.4	0.90
$u(U)$ (m.s ⁻¹)	0.05	0.05

4.1 Relation $S_1(h)$ pour $h \leq 1.2$ m

On impose que $S_1 = 0$ pour $h = 0$ (donc $b_0 = 0$). Dans ce cas, la première colonne de la matrice F , composée de valeurs toutes égales à 1, est supprimée dans l'éq. 3.2 et on a

$$F = \begin{pmatrix} 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.200 & 0.040 & 0.008 \\ 0.400 & 0.160 & 0.064 \\ 0.600 & 0.360 & 0.216 \\ 0.800 & 0.640 & 0.512 \\ 1.000 & 1.000 & 1.000 \\ 1.200 & 1.440 & 1.728 \end{pmatrix} \quad \text{eq. 4.1}$$

On obtient

$$b_1 = \begin{pmatrix} b_{11} \\ b_{12} \\ b_{13} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9064 \\ 0.7431 \\ -0.2546 \end{pmatrix} \quad \text{eq. 4.2}$$

On calcule $S_1(h)$ par la relation

$$S_1(h) = h^T b_1 \quad \text{eq. 4.3}$$

avec

$$h = \begin{pmatrix} h \\ h^2 \\ h^3 \end{pmatrix} \quad \text{eq. 4.4}$$

ce qui s'écrit aussi de manière classique

$$S_1(h) = b_{11}h + b_{12}h^2 + b_{13}h^3 = 0.9064 h + 0.7431 h^2 - 0.2546 h^3 \quad \text{eq. 4.5}$$

On obtient également

$$S_{r-1} = 1.460317 \times 10^{-4}$$

et

$$C_1 = \begin{pmatrix} u(b_{11})^2 & \text{cov}(b_{11}, b_{12}) & \text{cov}(b_{11}, b_{13}) \\ \text{cov}(b_{12}, b_{11}) & u(b_{12})^2 & \text{cov}(b_{12}, b_{13}) \\ \text{cov}(b_{13}, b_{11}) & \text{cov}(b_{13}, b_{12}) & u(b_{13})^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.001455 & -0.003437 & 0.001889 \\ -0.003437 & 0.008632 & -0.004930 \\ 0.001889 & -0.004930 & 0.002889 \end{pmatrix} \quad \text{eq. 4.6}$$

Pour $h = 1.2$ m, $S_1(1.2) = 1.717698$ m².

4.2 Relation $S_2(h)$ pour $h \geq 1.2$ m

La matrice F est composée de la manière suivante :

$$F = \begin{pmatrix} 1 & 1.200 & 1.444 & 1.728 \\ 1 & 1.400 & 1.960 & 2.744 \\ 1 & 1.600 & 2.560 & 4.096 \\ 1 & 1.800 & 3.240 & 5.832 \\ 1 & 2.000 & 4.000 & 8.000 \\ 1 & 2.200 & 4.840 & 10.648 \\ 1 & 2.400 & 5.760 & 13.824 \\ 1 & 2.600 & 6.760 & 17.576 \\ 1 & 2.800 & 7.840 & 21.952 \\ 1 & 3.000 & 9.000 & 27.000 \\ 1 & 3.200 & 10.240 & 32.768 \\ 1 & 3.400 & 11.560 & 39.304 \\ 1 & 3.590 & 12.881 & 46.268 \end{pmatrix} \quad \text{eq. 4.7}$$

On obtient

$$b_2 = \begin{pmatrix} b_{20} \\ b_{21} \\ b_{22} \\ b_{23} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.8365 \\ -0.8837 \\ 1.6723 \\ -0.2631 \end{pmatrix} \quad \text{eq. 4.8}$$

On calcule $S_2(h)$ par la relation

$$S_2(h) = \mathbf{h}^T \mathbf{b}_2 \quad \text{eq. 4.9}$$

avec

$$\mathbf{h} = \begin{pmatrix} 1 \\ h \\ h^2 \\ h^3 \end{pmatrix} \quad \text{eq. 4.10}$$

ce qui s'écrit aussi de manière classique

$$S_2(h) = b_{20} + b_{21}h + b_{22}h^2 + b_{23}h^3 = 0.8365 - 0.8837h + 1.6723h^2 - 0.2631h^3 \quad \text{eq. 4.11}$$

On obtient également

$$S_{r2} = 0.004624$$

et

$$C_2 = \begin{pmatrix} u(b_{20})^2 & \text{cov}(b_{20}, b_{21}) & \text{cov}(b_{20}, b_{22}) & \text{cov}(b_{20}, b_{23}) \\ \text{cov}(b_{21}, b_{20}) & u(b_{21})^2 & \text{cov}(b_{21}, b_{22}) & \text{cov}(b_{21}, b_{23}) \\ \text{cov}(b_{22}, b_{20}) & \text{cov}(b_{22}, b_{21}) & u(b_{22})^2 & \text{cov}(b_{22}, b_{23}) \\ \text{cov}(b_{23}, b_{20}) & \text{cov}(b_{23}, b_{21}) & \text{cov}(b_{23}, b_{22}) & u(b_{23})^2 \end{pmatrix} \quad \text{eq. 4.12}$$

$$= \begin{pmatrix} 0.056570 & -0.078058 & 0.033555 & -0.004551 \\ -0.078058 & 0.109187 & -0.047461 & 0.006495 \\ 0.033555 & -0.047461 & 0.020842 & -0.002877 \\ -0.004551 & 0.006495 & -0.002877 & 0.000400 \end{pmatrix}$$

Pour $h = 1.2$ m, $S_2(1.2) = 1.729573$ m².

En première approximation, on peut admettre que $S_1(1.2) \approx S_2(1.2)$. Pour améliorer cette approximation, deux solutions sont envisageables. La première consiste à chercher la valeur h^* telle que $S_1(h^*) = S_2(h^*)$

et à utiliser ensuite cette valeur h^* en remplacement de $h = 1.2$ m pour la définition des segments de $S(h)$. La deuxième solution consiste à imposer que $S_2(h)$ passe par le point de coordonnée $(1.2, S_1(1.2))$: il faut pour cela utiliser les moindres carrés pondérés.

Dans cet exemple, nous appliquerons la première solution. On cherche la valeur h^* telle que

$$S_1(h^*) - S_2(h^*) = 0 \quad \text{eq. 4.13}$$

On procède par itérations en partant de $h^*_0 = 1.2$ m et en utilisant `fsolve` sous Matlab (ou le Solveur sous Excel) : `[hstar, fval]=fsolve(@(x) [x; x^2; x^3] '*b1-[1;x;x^2;x^3] '*b2, x0)`. On trouve $h^* = 1.168$ m.

On utilisera donc la relation $S(h)$ suivante :

$$\begin{aligned} \text{si } h \in [0, h^*] & \quad S(h) = S_1(h) \\ \text{si } h > h^* & \quad S(h) = S_2(h). \end{aligned}$$

4.3 Calcul de l'incertitude $u(Q)$

L'incertitude $u(Q)$ est due aux incertitudes sur U , sur h et sur les coefficients b_j :

$$\begin{aligned} u(Q)^2 &= \underbrace{u(U)^2 \left(\frac{\partial Q}{\partial U} \right)^2}_{u_1(Q)^2} + \underbrace{u(h)^2 \left(\frac{\partial Q}{\partial h} \right)^2}_{u_2(Q)^2} + \underbrace{\sum_{j=0}^m u(b_j)^2 \left(\frac{\partial Q}{\partial b_j} \right)^2 + 2 \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{k=j+1}^m \text{cov}(b_j, b_k) \left(\frac{\partial Q}{\partial b_j} \right) \left(\frac{\partial Q}{\partial b_k} \right)}_{u_3(Q)^2} \\ &= u_1(Q)^2 + u_2(Q)^2 + u_3(Q)^2 \end{aligned} \quad \text{eq. 2.2}$$

Pour simplifier les notations, on considère $S(h)$ sous la forme générale d'un polynôme de degré 3.

Pour le terme $u_1(Q)$, on a

$$\frac{\partial Q}{\partial U} = S(h) = b_0 + b_1 h + b_2 h^2 + b_3 h^3 \quad \text{eq. 4.14}$$

donc

$$u_1(Q)^2 = u(U)^2 (S(h))^2 = u(U)^2 (b_0 + b_1 h + b_2 h^2 + b_3 h^3)^2 \quad \text{eq. 4.15}$$

Pour le terme $u_2(Q)$, on a

$$\frac{\partial Q}{\partial h} = U \frac{dS(h)}{dh} = U (b_1 + 2b_2 h + 3b_3 h^2) \quad \text{eq. 4.16}$$

donc

$$u_2(Q)^2 = u(h)^2 U^2 (b_1 + 2b_2 h + 3b_3 h^2)^2 \quad \text{eq. 4.17}$$

Pour le terme $u_3(Q)$, on prend pour $u(b_j)$ et $\text{cov}(b_j, b_k)$ les valeurs données dans la matrice C . Le terme $u_3(Q)$ correspond à l'incertitude type liée à la régression. On a les termes suivants :

$$\frac{\partial Q}{\partial b_0} = 1 \text{ si } b_0 \neq 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial b_0} = 0 \text{ si } b_0 = 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial b_1} = h, \quad \frac{\partial Q}{\partial b_2} = h^2 \text{ et } \frac{\partial Q}{\partial b_3} = h^3 \quad \text{eq. 4.18}$$

donc

$$\begin{aligned} u_3(Q)^2 &= u(b_0)^2 + u(b_1)^2 h^2 + u(b_2)^2 h^4 + u(b_3)^2 h^6 + 2 \text{cov}(b_0, b_1) h + 2 \text{cov}(b_0, b_2) h^2 \\ &\quad + 2 \text{cov}(b_0, b_3) h^3 + 2 \text{cov}(b_1, b_2) h^3 + 2 \text{cov}(b_1, b_3) h^4 + 2 \text{cov}(b_2, b_3) h^5 \end{aligned} \quad \text{eq. 4.19}$$

Numériquement, on obtient $u_3(Q)^2 = 21.9909 \text{ e-6}$ pour le cas $h = 0.8$ m.

Mais, sous forme matricielle, on peut écrire plus directement

$$u_3(Q)^2 = \frac{S_r}{n-m-1} \left(\mathbf{h}^T \times \mathbf{M} \mathbf{M}^T \times \mathbf{h} \right) \quad \text{eq. 4.20}$$

avec $h = \begin{cases} h \\ h^2 \\ h^3 \end{cases}$ pour le cas $h = 0.8$ m ou $h = \begin{cases} 1 \\ h \\ h^2 \\ h^3 \end{cases}$ pour le cas $h = 1.6$ m.

Numériquement, on obtient $u_3(Q)^2_{\text{bis}} = 21.9909 \text{ e-6}$ pour le cas $h = 0.8$ m.

4.4 Résultats numériques

Les résultats numériques sont indiqués ci-dessous. Dans le premier cas, $h = 0.8 < h^*$: on applique $S_1(h)$. Dans le deuxième cas, $h = 1.6 > h^*$: on applique $S_2(h)$.

variable	1 ^{er} cas	2 ^{ème} cas
h (m)	0.8	1.6
$u(h)$ (m)	0.0075	0.0100
U (ms ⁻¹)	0.4	0.90
$u(U)$ (ms ⁻¹)	0.05	0.05
$S(h)$ (m ²)	1.0703	2.6260
Q (m ³ s ⁻¹)	0.4281	2.3634
$u_1(Q)^2$ (m ⁶ s ⁻²)	2.8639 e-3	17.2395 e-3
$u_2(Q)^2$ (m ⁶ s ⁻²)	23.2251 e-6	484.9425 e-6
$u_3(Q)^2$ (m ⁶ s ⁻²)	21.9909 e-6	118.6349 e-6
$u_3(Q)^2_{\text{bis}}$ (m ⁶ s ⁻²)	21.9909 e-6	118.6349 e-6
$u(Q)$ (m ³ s ⁻¹)	53.9367 e-3	0.13358
$\Delta Q/Q = 2u(Q)/Q$ (%)	25.2	11.3

4.5 Note

On a considéré dans les calculs précédents que les valeurs mesurées S_i pour les différentes hauteurs h_i n'avaient pas d'incertitude, ce qui n'est pas exact mais est acceptable dans de nombreux cas. Si les valeurs S_i pour les différentes hauteurs h_i sont elles-mêmes affectées d'incertitudes, un calcul plus élaboré est nécessaire (méthodes des moindres carrés pondérés ou régression de type Williamson).

4.6 Annexe : code du programme UQSU sous Matlab

```
% programme provisoire de démo UQSU
% JLBK, 12 février 2008 pour le Groupe Autosurveillance GRAIE
clear p2 yi n m F Q R M b e Sr C;
format short eng;
% lecture données (hi, Si)
disp(' Nom du fichier .csv contenant les données (hi, Si)');
disp(' (ne pas écrire l''extension): ');
NomFichier = input(' ', 's');
Origine = input(' Passage du polynôme par l''origine ? o/n : ', 's');
p2=dlmread([NomFichier, '.csv'], ';', 1, 0);
yi = p2(:, 2);
n = size(p2, 1);
m = 3;
% construction matrice F
if Origine == 'o'
F(:, 1)=p2(:, 1);
F(:, 2)=p2(:, 1).^2;
F(:, 3)=p2(:, 1).^3;
else
F(1:size(p2, 1), 1)=ones;
F(:, 2)=p2(:, 1);
F(:, 3)=p2(:, 1).^2;
F(:, 4)=p2(:, 1).^3;
end
% décomposition QR de F
```

```

[Q,R]=qr(F,0);
M=inv(R)*Q';
b=M*yi;
disp(' ');
disp('b = ');
disp(num2str(b));
disp(' ');
% calcul des résidus
e=F*b-yi;
% calcul de la somme des carrés des résidus
Sr = e'*e;
disp('Sr = ');
disp(num2str(Sr));
disp(' ');
% matrice variance/covariances
C=Sr/(n-m-1)*M*M';
disp('C = ');
disp(num2str(C));
disp(' ');
% calculs de S, Q et u(Q)
d = [1 1 1 1 ];
while d(1) > 0
disp(['valeurs de [h u(h) U u(U)] entre crochets pour le calcul ?' ;
      '(pour arrêter: taper 0 (zéro) pour h)                ']);
disp(' ');
d = input('');
if d(1) > 0
h = d(1); U = d(3);
if Origine == 'o'
    vh = [h; h^2; h^3];
else
    vh = [1; h; h^2; h^3];
end
S = vh'*b;
Q = S*U;
u1Q2 = d(4)^2*S^2;
if Origine == 'o'
    u2Q2 = d(2)^2*U^2*(b(1)+2*b(2)*h+3*b(3)*h^2)^2;
else
    u2Q2 = d(2)^2*U^2*(b(2)+2*b(3)*h+3*b(4)*h^2)^2;
end
u3Q2 = Sr/(n-m-1)*vh'*M*M'*vh;
uQ = sqrt(u1Q2+u2Q2+u3Q2);
DQsurQ = 2*uQ/Q*100;
disp(' ');
disp(['section mouillée S (m2) :                ',num2str(S)]);
disp(['débit (m3/s) :                            ',num2str(Q)]);
disp(['incertitude type u(Q) (m3/s) :          ',num2str(uQ)]);
disp(['incertitude relative élargie (%) :      ',num2str(DQsurQ)]);
disp(['contributions u(U), u(h) et u(S) en % : ',...
      num2str(100*u1Q2/uQ^2), ' , ', num2str(100*u2Q2/uQ^2), ' , ',
      num2str(100*u3Q2/uQ^2)]);
disp(' ');
end
end
disp fin

```



Fiche 4: Principales références réglementaires

■ EUROPEENNES

Directive 91/271/CEE du Conseil, du 21 mai 1991, relative au traitement des eaux urbaines résiduaires (ERU)

Journal officiel n° L 135 du 30/05/1991 p. 0040 – 0052

Guide de définitions de cette directive (version février 2008) disponible en téléchargement sur http://texteau.ecologie.gouv.fr/images/guide_definitions_eru.pdf

Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (DCE)

Journal officiel n° L 327 du 22/12/2000 p. 0001 - 0073

■ FRANÇAISES

Code Général des Collectivités locales:

Articles R. 2224-6
R. 2224-11
R. 2224-15

Code de l'Environnement

Articles	R.214-6	Paragraphe III et IV	R214-15
	R.214-8		R214-18
	R.214-32		R214-35
	R.216-1		R214-39
	R.216-6		

Code de la Santé Publique

Articles R.1331-1
R.1331-10

LOI n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques (1) NOR: DEVX0400302L – LEMA

Décret n° 2006-880 du 17 juillet 2006 relatif aux procédures d'autorisation et de déclaration prévues par les articles L. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement pour la protection de l'eau et des milieux aquatiques

Arrêté du 22 juin 2007 relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement ainsi qu'à la surveillance de leur fonctionnement et de leur efficacité, et aux dispositifs d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique supérieure à 1,2 kg/j de DBO5

Commentaire technique de l'arrêté est disponible sur les sites internet du ministère de l'écologie du développement et de l'aménagement durables (direction de l'eau), aux adresses suivantes : http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/recueil/03_AC/13.pdf Commentaire technique de l'arrêté du 22 juin 2007 Version actualisée le 9 avril 2009. **-EN COURS DE REVISION**

Arrêté du 2 mai 2007 relatif aux rapports annuels sur le prix et la qualité des services publics d'eau potable et d'assainissement

Circulaire du 06 novembre 2000 relative à l'autosurveillance des systèmes d'assainissement de plus de 2000 équivalents habitants ;

Circulaire du 28 juillet 2005 relative à la définition du « bon état » et à la constitution des référentiels pour les eaux douces de surface (cours d'eau, plans d'eau), en application de la directive européenne 2000/60/DCE du 23 octobre 2000, ainsi qu'à la démarche à adopter pendant la phase transitoire (2005-2007),

Circulaire du 19 octobre 2005 relative à la mise en conformité des performances de traitement des eaux usées urbaines avec les exigences définies par la directive européenne 91/271/CEE du 21 mai 1991;

Circulaires du 8 décembre 2006 et du 17 décembre 2007 relatives à la mise en conformité de la collecte et du traitement des eaux usées des communes soumises aux échéances des 31 décembre 1998, 2000 et 2005 en application de la directive n° 91/271/CEE du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux résiduaires urbaines.

Circulaire du 7 mai 2007, définissant les « normes de qualité environnementales provisoires » (NQE_p) des 41 substances impliquées dans l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau ainsi que des substances pertinentes du programme national de réduction des substances dangereuses dans l'eau ;

Circulaire du 15 février 2008 ayant pour objet les instructions pour l'application de l'arrêté interministériel du 22 juin 2007 relatif à la collecte, au transport, au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement ainsi qu'à la surveillance de leur fonctionnement et de leur efficacité et aux dispositifs d'assainissement non collectif, recevant une charge brute de pollution organique supérieure à 1,2 kg/j de DBO. Instructions applicables à l'assainissement collectif

Circulaire du 29 septembre 2010 relative à la surveillance de la présence de micropolluants dans les eaux rejetées au milieu naturel par les stations de traitement des eaux usées. Cette circulaire précise les modalités de mise en place d'une surveillance de la présence de certains micropolluants dans les eaux rejetées au milieu naturel par les stations de traitement des eaux usées

Textes complets téléchargeables sur www.legifrance.gouv.fr et <http://eur-lex.europa.eu/> et <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/recueil.php>



Fiche n°5 : Calcul des masses de polluants par prélèvements

Les masses de MES et DCO déversées dans les cours d'eau peuvent être calculées pour l'autosurveillance des déversoirs d'orages, grâce à un **débitmètre** pour les volumes et à un **préleveur** automatique (voir fiche technique préleveur) pour les concentrations moyennes de ces polluants.

1. PRINCIPE

Les masses des polluants sont obtenues en multipliant chaque volume déversé par une concentration moyenne, très variable selon les événements (50 à 1000 mg/L environ).

Pour avoir une concentration représentative du déversement, il faut analyser un **échantillon moyen proportionnel au débit**, avec une méthode de prélèvement qui permet de couvrir les fortes variations de débits et de concentrations au cours du temps.

2. CRITERE DE CHOIX DES STRATEGIES

Il est conseillé de déclencher le préleveur par rapport à la hauteur d'eau mesurée dans le déversoir et de mettre le tuyau de prélèvement dans le réseau amont. Un échantillon moyen représentatif peut être constitué à pas de volume fixe, soit **directement proportionnel au débit écoulé**, soit **indirectement à partir d'un prélèvement par rapport au temps**.

Tableau 1: Avantages et inconvénients des 2 modes de composition des échantillons
(source : Mesures en hydrologie urbaine et assainissement", BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., LAPLACE D., JOANNIS C., CHEBBO G.)

Mode de composition	Avantages	Inconvénients
Direct = prélèvement proportionnel au débit écoulé	- constitution rapide de l'échantillon moyen dans un flacon, sans manipulation	- nécessite une mesure de débit fiable en temps réel - choisir un pas de volume bien respecté et adapté
Indirect = composition manuelle proportionnelle au débit à partir de flacons prélevés à intervalle de temps définis	- bonne connaissance du débit après les prélèvements - aucun asservissement au débit	- constitution de l'échantillon moyen plus longue à partir de plusieurs flacons - choisir un pas de temps adapté

La **méthode directe**, proportionnelle au débit, consiste à prélever dans un flacon, une quantité fixe d'eau tous les $x \text{ m}^3$, avec un asservissement à un débitmètre (impulsions vers le préleveur). Elle est rapide mais il faut une mesure de débit fiable en temps réel et un pas de volume adapté et bien respecté (pompe à vide conseillé – voir fiche préleveur).

Pour la **méthode indirecte**, l'opérateur prend dans chaque flacon correspondant à un intervalle de temps définis, un volume proportionnel au débit écoulé.

Pour constituer l'échantillon moyen, le plus grand volume à prendre dans un flacon est celui où le volume déversé a été le plus élevé. Pour les autres flacons, le volume (mL) à prélever V_n dans le flacon n est un pourcentage du prélèvement par rapport au volume total déversé :

$$V_n = V_{\text{final}} \cdot \frac{M_n^3}{M_{\text{total}}^3}$$

avec

V_n = volume d'échantillon (mL) à prélever dans le flacon n

V_{final} = volume total (mL) du flacon destiné à l'analyse

$M_{\text{total}}^3, M_n^3$ = respectivement le volume (m^3) total rejeté et celui rejeté au moment de prélèvement du flacon n en m^3

Tableau 2: Constitution de l'échantillon moyen à partir de flacons prélevés par rapport au temps
(Source : OTHU – Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine – www.othu.org)

n° de flaçon	Date de début de flaçon	Volume écoulé dans le réseau (m ³)	Volume pris dans des flacons de 1 litre (mL)
1	21/10/2008 20:30	592	203
2	21/10/2008 21:30	2612	895
3	21/10/2008 22:30	2919	1000

=volume maximal

La **méthode directe** permet donc d'avoir un échantillon à analyser **sans manipulation dans un seul flaçon**. La **méthode indirecte manuelle est plus fiable** car les mesures de débits peuvent être validées après les prélèvements.

3. PRECAUTIONS

a) Stratégie possible et campagne de mesure préalable

Les événements pluvieux sont des phénomènes aléatoires. Une estimation des débits et des concentrations possibles dans le temps est utile pour anticiper la meilleure stratégie. **Des campagnes de mesures ou des simulations permettent d'estimer les volumes et les durées possibles de déversements.**

Les **pas de temps ou de volume** peuvent être choisis :

- de manière à couvrir la plupart des événements et **les variations de concentrations des polluants ;**
- en divisant la durée, ou le volume **maximum** à prélever, par le **nombre de prélèvements possibles.**

Par exemple, 5 prélèvements de 200 mL (50 mL minimum obligatoire) dans chacun des 24 flacons de 1 litre permettent de faire 120 prélèvements au maximum.

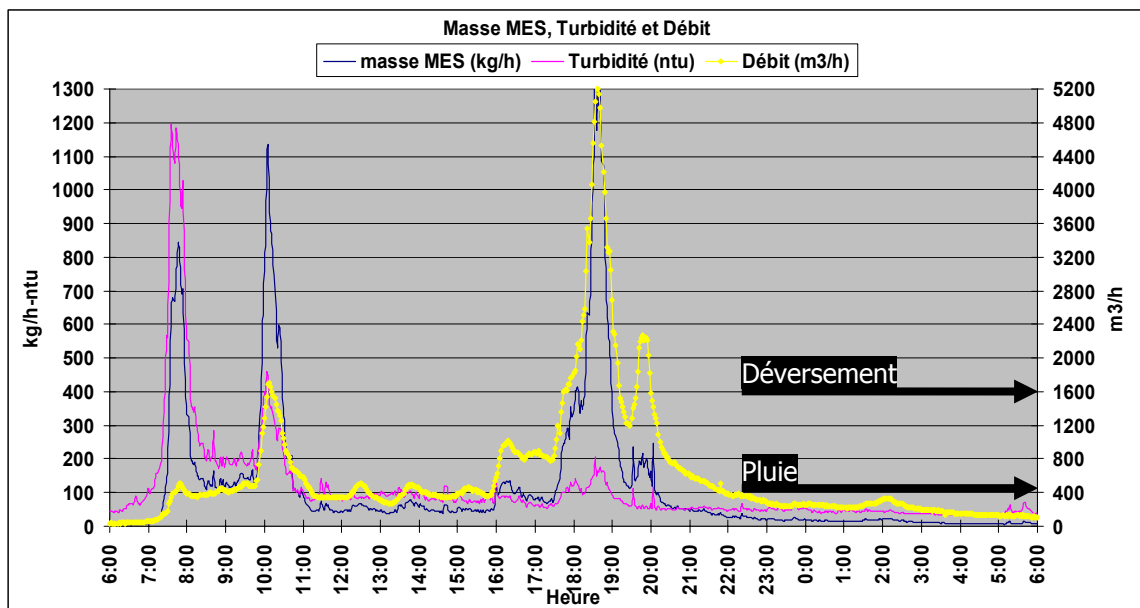


Figure 1: Débit massique de MES, turbidité ou concentration équivalente en MES et débit volumique, pendant une pluie (débit > 400 m³/h) avec 3 déversements (débit >1600 m³/h), dans le réseau unitaire d'Ecully au niveau d'un déversoir d'orage (Source: OTHU).

Dans la figure 1, **les variations des masses de MES ne sont pas proportionnelles à celles du débit**. Elles sont significatives entre 3 et 12 minutes (adaptable à de nombreux sites) ou entre 6 et 100 m³ écoulés (très variables selon les conditions). Les pas de prélèvements semblent plus faciles à prévoir par rapport au temps plutôt qu'aux volumes.

De plus, pour déterminer **les concentrations moyennes possibles sur les déversements**, un maximum d'analyses d'échantillon moyen (10 à 20 conseillés) doit être fait sur des événements avec des caractéristiques différentes de volume, durée de temps sec, intensité maximum et moyenne de pluie.

b) Conditionnement des échantillons

Pour avoir des résultats d'analyses de MES et DCO représentatifs, il faut également connaître :

- les volumes nécessaires d'échantillon pour les analyses;
- les délais d'analyses et les conditions de conservation des échantillons.

Tableau 3: durée de conservation et volume minimal d'échantillon avant analyse (source : Mesure en hydrologie urbaine)

Paramètres	volume nécessaire conseillé	Conditions de conservation conseillée	Durée maximale de stockage conseillé
Pollution mesurée obligatoirement pour l'autosurveillance			
MES	200 mL	2 à 5°C	1 j
DCO	30 mL	2 à 5°C, obscurité	5 j

Il est donc important de ne pas perdre de temps (24 heures environ pour les MES) et de conserver les échantillons à 4°C jusqu'au moment de l'analyse.

4. VERIFICATION

Pour obtenir un échantillon moyen représentatif, il faut vérifier que le préleveur a été en bon état de marche pendant la totalité du déversement et que la quantité d'eau est suffisante pour les analyses.

Dans le cas de la méthode directe, il faut vérifier que la mesure de débit a été correcte, que le nombre d'impulsions et le volume final prélevé correspondent bien au débit écoulé.

Le calcul du débit sera plus fiable avec une vitesse moyenne ou une relation hauteur/débit (voir fiche estimation du débit à partir d'une hauteur d'eau), en contrôlant les conditions hydrauliques au niveau du capteur de hauteur (influence amont/aval, régime torrentiel/fluvial).

Si un problème a eu lieu, l'échantillon ne sera pas représentatif et ne pourra pas être analysé.

Pour avoir des résultats d'analyses plus fiables, on peut faire la moyenne de 3 mesures pour un paramètre (MES, DCO,...), sur le même échantillon moyen.

5. BIBLIOGRAPHIE

"Mesures en hydrologie urbaine et assainissement", BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., LAPLACE D., JOANNIS C., CHEBBO G., coord. , Éditions Tec&Doc, 808 p., 16 x 24,5, ill., 2000, relié, ISBN : 2-7430-0380-4

Partie 4 : Mesurage des flux polluants

Chapitre 20 : Etudes préalables, choix des sites et des paramètres

Chapitre 21 : Mesurage des polluants par analyses sur prélèvements

En complément voir également Fiche technique n°6 : préleveur automatique

6. CONTACT

OTHU/GRAIE / INSA LYON - LGCIE Eaux Urbaines – info@othu.org



Fiche n°6 : Calcul du débit à partir de la hauteur d'eau

Domaine d'application : Mesurage de débit en réseau d'assainissement

1. Méthodes de calcul du débit à partir de la hauteur d'eau

5 méthodes (dont 3 « simples » notées ci-dessous M1, M2 et M3) permettent de calculer le débit à partir de une ou deux mesures de hauteur d'eau, à savoir :

- Utilisation d'un seuil avec une courbe d'étalonnage et calage d'un coefficient – M1
- Une relation de Manning-Strickler – M2
- Mesure de la hauteur couplé à un capteur vitesse fixé de manière temporaire – M3
- Modèles numériques en utilisant un couplage hydrologie-hydraulique – M4 ou à partir d'une modélisation Barré de Saint Venant (BSV) – M5.

2. Critères de choix

Méthodes	Avantages	Inconvénients
M1- Seuil et Courbe d'étalonnage	- Utilisation d'une seule mesure de hauteur (réduction des coûts)	- résultats erronés si présence de dépôt au pied du seuil - coefficient sensible - étalonnage difficile
M2- Manning-Strickler	- Modèle simple à mettre en oeuvre	- résultats erronés si le régime d'écoulement est trop variable - Coefficient de rugosité variable en fonction de la hauteur d'eau
M3- Couple Hauteur/Vitesse	- besoin de mesure de vitesse temporaire	- Relation variable selon les nombreuses conditions hydrauliques
M4 et M5- Couplage hydrologie/hydraulique et Couplage hauteurs/BSV	- Pas besoin de mesure de vitesse - Vérification de l'emplacement du capteur de hauteur	- Outil de modélisation avec des données de pluie ou 2 hauteurs distante d'au moins 20 mètres

3. Mise en œuvre

a) **Cas des modèles M1** : La figure 1 montre les différents types de seuil qu'on peut installer en réseau d'assainissement.

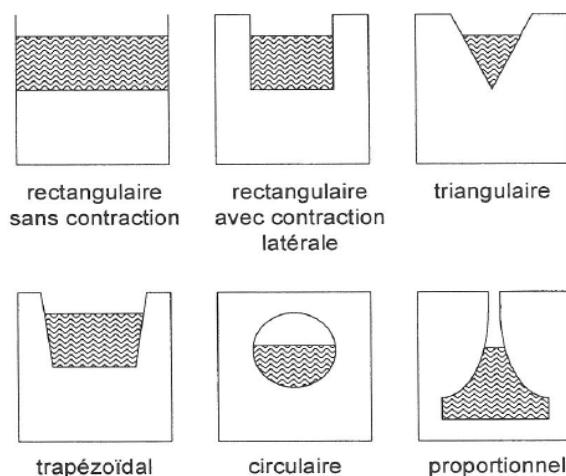


Figure 1 : Géométries des différents seuils (Voir Norme A311)
Source : Bertrand-Krajewski et al., 2000

De façon générale, les modèles les plus utilisés permettant de calculer ou d'estimer le débit à partir de la hauteur d'eau se mettent sous la forme :

$$Q = C_d L \sqrt{2g} y^{\frac{3}{2}} \text{ pour les seuil rectangulaires ;}$$

$$Q = C_d \frac{8}{15} \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{2g} y^{\frac{5}{2}} \text{ pour les seuils triangulaires.}$$

C_d, L, y et α représentent respectivement le coefficient de débit à caler et vérifier, la largeur du seuil rectangulaire, l'épaisseur de la lame d'eau au dessus du seuil et l'angle d'échancrure (en radian).

Sur le même principe, on peut calculer le débit en mesurant une hauteur dans un canal Venturi ou dans l'orifice de sortie des postes de relèvement.

Conseil: les seuils a géométrie triangulaire et proportionnel sont parfois déconseillés en statique pour cause d'obstruction facile et donc d'entretien fréquent.

b) cas des modèles M2 : Quant à la relation de Manning-Strickler, elle se met sous la forme suivante :

$$Q = K_s A \sqrt{I} R_h^{\frac{2}{3}}$$

où : K_s représente le coefficient de rugosité à caler et vérifier, A la section mouillée, I la pente du canal et R_h le rayon hydraulique.

La figure 2 (courbe avec de petites bulles) montre un exemple de relation hauteur/débit obtenue en appliquant le modèle M2. Un coefficient de rugosité (qui vaut $K_s = 60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) a pu être établi et ainsi le modèle M2 fournit une relation numérique reliant la hauteur d'eau et le débit.

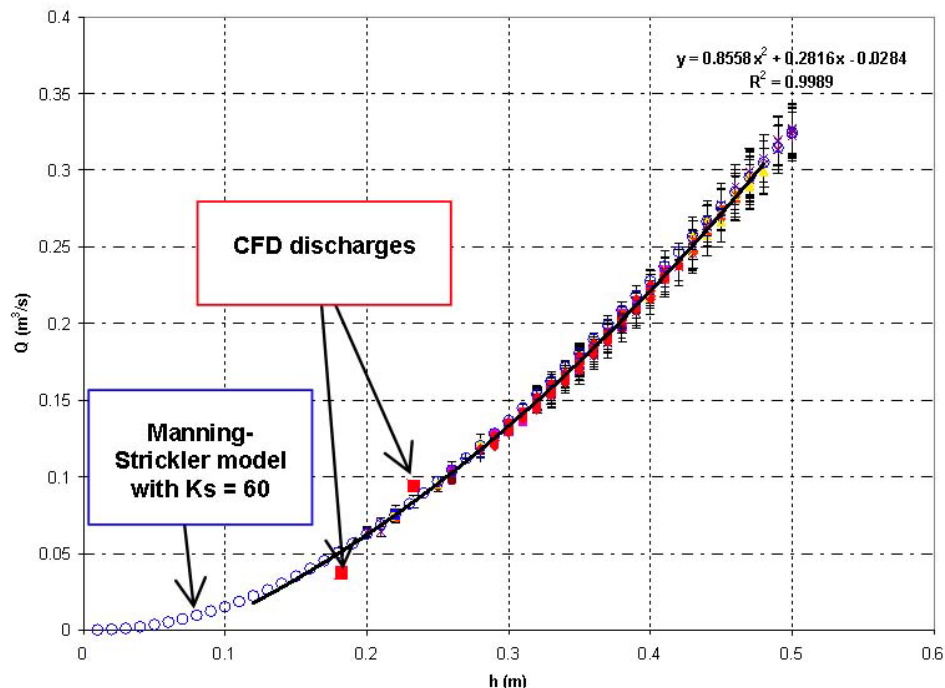


Figure 2 : Exemple de la relation numérique reliant la hauteur d'eau et le débit pour le cas du site industriel de Vénissieux. Relation Hauteur débit selon Manning-Strickler- Modèle M2 (courbe avec de petites bulles) et comparaison avec les résultats obtenus lors de l'utilisation du modèle M4 (courbe noire). Les incertitudes relatives sont estimées à 5 %. La relation proposée a été vérifiée grâce à quelques données issues de la modélisation 3D (calcul CFD – Computational Fluid Dynamics ou Mécanique des fluides numérique (les 2 carrés rouges)).

c) Cas des modèles M3

Une relation hauteur-débit peut être construite à partir des mesurages de vitesse et de hauteur au niveau des sections voisines distantes de moins de 1 m. Installés de façon temporaire, les capteurs de hauteur et de vitesse peuvent fournir des valeurs de débit permettant par exemple de vérifier les mesures de débit obtenus à partir d'autres dispositifs métrologiques (par exemple à l'aide des modèles M1, M2, M4 et M5). Cette méthode est largement répandue. Il est indispensable de bien s'assurer du bon emplacement des capteurs de hauteur et de vitesse. Par ailleurs, une telle relation ne peut être applicable que dans certaines conditions. En effet, les écoulements en réseau d'assainissement ont lieu en régime transitoire. Par conséquent, la même hauteur ne donne pas toujours la même vitesse à cause du phénomène d'hystérésis (pour une même hauteur, la vitesse dépendra de la phase de crue ou de décrue).

d) Cas des modèles M4 et M5

La méthodologie de mise en œuvre de la méthode M4 (estimation de débit fondée sur le couplage entre un modèle hydrologique et un modèle hydraulique) est construite à partir des étapes suivantes :

- Calage du modèle hydrologique (coefficient de ruissellement, pertes initiales, lag time, paramètres liés au modèle de temps sec...).
- Utilisation du modèle calé pour produire les débits à injecter dans le modèle hydraulique.
- Elaboration d'une relation numérique entre les débits issus du modèle hydrologique et les hauteurs issues du modèle hydraulique.

La figure 2 montre les résultats obtenus en appliquant le modèle M4.

Le modèle M5 est fondé sur la résolution des équations de Barré de Saint Venant couplée à un traitement spécifique des conditions aux limites grâce à deux mesures de hauteur d'eau. C'est une méthode qui est en cours de développement et de test. Son avantage est de s'affranchir de la mesure de vitesse, mais nécessite tout de même deux mesures de hauteurs. Elle est mentionnée ici à titre d'information.

4. Maintenance

Voir fiches techniques " mesurage de la hauteur " (FT1 et FT2) et "Mesurage de la vitesse " (FT4 et FT5).

Réglage du seuil en réalisant un curage local (au pied su seuil).

5. Vérification

Il faut vérifier les conditions hydrauliques (possible directement avec un modèle numérique) à l'endroit où est installé le capteur de hauteur. Ainsi pour les modèles M2, M3 et M4, les conditions suivantes doivent être garanties : pas d'influence amont et/ou aval, régime fluvial et non torrentiel (hauteur peu variable par rapport à la vitesse).

En outre, il faut obligatoirement cerner le fonctionnement hydrodynamique (champ de vitesse) du site de mesure de vitesse si l'on souhaite utiliser le modèle M3. En effet, un capteur de vitesse mal placé (zone de recirculation, zone de stagnation, dissymétrie du champ de vitesse, ...) ne fournit pas de vitesses moyennes fiables, par conséquent le calcul de débit sera erroné (même si le capteur de hauteur est bien positionné). Ainsi, pour les modèles M2, M3, M4 et M5 l'optimisation de l'emplacement des capteurs hauteur/vitesse est indispensable, c'est la première étape. Plusieurs études ont été menées en France sur la méthodologie de conception et de qualification des sites de mesure de hauteur et de vitesse.

Concernant le modèle M1, la vérification d'une loi d'étalonnage à partir de traçage par exemple ou d'un couple de valeurs hauteur/vitesse est vivement conseillée.

Le calage et la vérification du modèle hydrologique en vue d'appliquer le modèle M4 sont indispensables. En effet, si les caractéristiques du bassin versant changent, le modèle de production de débits sur le bassin versant sera modifié. Une étude de sensibilité de la relation numérique (reliant la hauteur au débit) aux variations par exemple du coefficient de ruissellement s'avère nécessaire.

6. Réglage

Voir fiches techniques " mesurage de la hauteur " (FT1 et FT2) et "Mesurage de la vitesse " (FT4 et FT5).

7. Bibliographie

Bertand-Krajewski J.-L., Laplace D., Joannis C., Chebbo G. (2000). Mesures en hydrologie urbaine et assainissement. Edition Tec&Doc.

Lipeme Kouyi G., Lucchinacci P., Chocat B., Bier M-A., Besson F. (2010). Estimation du débit à partir d'une seule hauteur d'eau et de la modélisation. Soumis à Novatech 2010.

8. Contact

Gislain Lipeme Kouyi, Maître de conférences INSA de Lyon, LGCIE.

Email : gislain.lipeme-kouyi@insa-lyon.fr – 04 72 43 82 77



Fiche n°7 : Vérification du débit et de la vitesse par la méthode de traçage

1. PRINCIPE

La méthode de traçage permet de calculer le débit d'un écoulement indépendamment des mesurages de hauteur et de vitesse. Le débit ainsi calculé peut permettre de vérifier un débitmètre en place ou une mesure de vitesse d'écoulement.

Le principe du traçage par injection instantanée consiste à effectuer un bilan de masse: la masse de traceur injectée en amont d'un tronçon sur lequel on veut mesurer un débit Q doit être égale à la masse de traceur déterminée en aval, en mesurant la concentration $C(t)$ en traceur, après dilution dans l'écoulement et propagation dans le tronçon.

2. CRITÈRES DE CHOIX

2.1 Choix du traceur

En hydrologie urbaine, les traceurs chimiques ou colorés sont les plus utilisés.

Un traceur doit satisfaire les critères suivants :

- ne pas être naturellement présent dans l'écoulement (ou présent en faible et constante quantité : il faut donc déterminer le bruit de fond) ;
- se mélanger facilement à l'eau ;
- être stable durant la durée du traçage (la teneur en sel varie en temps de pluie) ;
- être mesurable par un capteur en temps réel (moins onéreux que les analyses avec prélèvements et surtout visualisation sur site des résultats) ;
- être d'un coût aussi faible que possible pour pouvoir être utilisé en grande quantité.

Tableau 1: comparaison des traceurs (source Bertrand-Krajewski et al., 2000)

	Rhodamine WT	Chlorure de lithium LiCl	Chlorure de sodium NaCl
Concentration usuelle des solutions mères	200 g/L	300 g/L	300 g/L
Concentration usuelle dans l'effluent (bruit de fond)	10 ⁻³ mg/L (-)	2 à 5 mg/L (1 à 5 µg/L)	50 mg/L (50 à 1000 mg/l)
Techniques de mesurages possibles (coût / précision)	Fluorimétrie en continu (moyen / grande)	Spectrométrie sur prélèvements (fort / moyenne)	Conductimétrie en continu (faible / moyenne)
Précautions	- adsorption sur MES - influence de la T° et des MES	- adsorption sur MES - attaque acide avant dosage	- linéarité jusqu'à 5,8 g/L - influence de la T° - bruit de fond

En tenant compte de tous les critères, deux traceurs apparaissent comme les plus appropriés :

- le chlorure de sodium NaCl pour le temps sec,
- la Rhodamine WT pour le temps de pluie,

avec des mesures à un pas de temps fin de l'ordre de la seconde.

Un traçage avec des échantillons prélevés à des pas de temps plus longs (30 secondes) est moins précis.

2.2 Méthodes de traçage et types d'injection

Trois méthodes de traçage existent :

- **La méthode par dilution** consiste à injecter en une seule fois (**injection instantanée**) **ou** en continu (**à débit constant**) une solution de traceur à l'amont, et à mesurer en un point à l'aval les variations de concentration du traceur au cours du temps.
- **La méthode du temps de transit**, le mesurage s'effectue après injection instantanée, sur deux sections à l'aval, le nuage de traceur se déplaçant à la vitesse moyenne de l'écoulement.

☞ **La méthode par dilution à injection instantanée est la plus facile à mettre en œuvre pour le temps sec.** Elle demande moins de matériel et de personnel que les méthodes par dilution à débit constant et du temps de transit.

Tableau 2 : tableau comparatif des méthodes de traçage (source Bertrand-Krajewski et al., 2000)

Méthode de traçage	Avantages	Inconvénients
Méthode de dilution avec injection instantanée du traceur	<ul style="list-style-type: none"> - peu de matériel nécessaire - rapide et peu coûteuse - personnel réduit - quantité de traceur plus faible 	<ul style="list-style-type: none"> - nécessité d'avoir un débit mesuré Q constant pendant l'opération (temps sec) - difficulté pour déterminer avec exactitude le début et la fin du passage du traceur - débit et vitesse doivent pouvoir être évalués
Méthode de dilution avec injection à débit constant du traceur	<ul style="list-style-type: none"> - ne nécessite aucune connaissance préalable de la section mouillée - détermination facile du début et de la fin du passage du traceur 	<ul style="list-style-type: none"> - nécessité d'avoir un débit mesuré Q constant pendant l'opération (temps sec) - besoins importants en matériel et traceur - nécessité d'avoir plusieurs opérateurs
Méthode du temps de transit	<ul style="list-style-type: none"> - aucune connaissance préalable des débits ni des concentrations en traceur n'est nécessaire 	<ul style="list-style-type: none"> - application plus délicate en surface libre car il faut deux mesurages de hauteur pour déterminer les sections mouillées

3. PRÉCAUTIONS

Le tronçon de mesure doit répondre aux critères suivants:

- ne pas présenter d'arrivée ou de fuite du traceur (branchements, nœuds,...) ;
- permettre un bon mélange et une concentration homogène du traceur, avec des vitesses d'écoulement suffisamment élevées et une turbulence importante (éviter les zones mortes).

3.1 Bruit de fond

Si le traceur est présent dans l'écoulement à la concentration supposée constante pendant la durée des mesures, il faut soustraire ce bruit de fond à la concentration mesurée. La moyenne des concentrations mesurées du traceur pendant plusieurs minutes, en enlevant les valeurs aberrantes, avant et après le traçage, permet d'estimer le bruit de fond.

Il faut que le pic de concentration du traçage soit au moins 3 fois supérieur au bruit de fond, dans la limite de la gamme de mesure de l'appareil (fluorimètre, conductimètre, ...).

3.2 Distance de bon mélange

La distance de bon mélange est atteinte lorsque la concentration de traceur est homogène à travers toute la section de mesure. La distance entre le point d'injection et le point de mesure du traceur doit être supérieure à celle du bon mélange (voir 4.2 : calculs de L_{BM}).

4. DÉTAILS DE LA MÉTHODE DE TRAÇAGE PAR DILUTION AVEC INJECTION INSTANTANÉE : vérification du débit et des vitesses avec le calcul des incertitudes

4.1 Principe

La méthode de dilution avec injection instantanée est la plus simple à mettre en oeuvre, avec les hypothèses suivantes:

- le débit Q est supposé constant dans le tronçon de mesure pendant toute la durée du traçage (bien choisir le lieu et la plage horaire en temps sec);
- la masse M de traceur est conservée, ce qui permet d'écrire :

$$M = C_0 V_0 = Q \int_{t_{AR}}^{t_{AR} + T_p} C(t) dt$$

- Avec :
- M : masse de traceur introduite dans l'écoulement (kg ou g)
 - C_0 : concentration initiale en traceur (kg/m³ ou g/L)
 - V_0 : volume injecté (m³ ou L)
 - Q : débit à mesurer (m³/s ou L/s)
 - $C(t)$: concentration dans la section de mesure (kg/m³ ou g/L)
 - t_{AR} : instant de l'arrivée du traceur dans la section de mesure (s)
 - T_p : durée de passage du traceur dans la section de mesure (s).

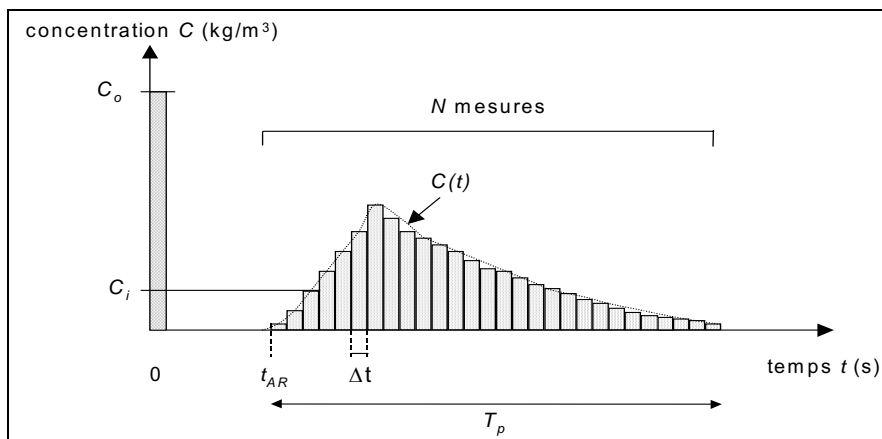


Figure 1 : traçage par injection instantanée (source Bertrand-Krajewski et al., 2000)

On applique la version discrétisée de l'équation précédente :

$$Q = \frac{M}{\Delta t \sum_i C_i} \quad \text{ou} \quad Q = \frac{M}{\Delta t \sum_i (C_i - C_n)} \quad \text{avec un bruit de fond}$$

Avec : Q débit à mesurer (m^3/s ou L/s)
 M masse de traceur introduite dans l'écoulement (kg ou g)
 Δt pas de temps du système d'acquisition de la concentration (s)
 C_i concentrations à chaque pas de temps i lors du passage du traceur (mg/L)
 C_n concentration avant et après le passage du traceur = bruit de fond (mg/L).

Le traceur le plus facile et le moins coûteux à utiliser est le chlorure de sodium (NaCl), comme dans l'exemple suivant correspondant à un traçage au sel réalisé par le Grand Lyon.

4.2 Illustration :

Exemple d'un traçage par méthode de dilution avec injection instantanée, au sel de voirie à Irigny dans un collecteur T180 non circulaire (Grand Lyon).

a) Matériel et méthode:

Pour vérifier un débitmètre en temps sec dans un collecteur du Grand Lyon, le traçage a été effectué avec:

- un conductimètre et une centrale d'acquisition (pas de temps 1 seconde) ;
- 5 kg de sel de voirie et 1 L d'eau distillée pour établir la relation entre la concentration en sel et la conductivité, mesures réalisées avec la balance 1 (précision ± 1 mg) ;
- 20 L d'eau potable (on négligera sa teneur en sel d'origine) pour fabriquer la solution mère, mesures réalisées avec la balance 2 (précision ± 20 g) ;



Figure 2 : conductimètre, balances 1 et 2 utilisés (source Grand Lyon - Insa Lyon)

Il faut injecter une masse M de sel en fonction de la concentration moyenne naturelle en sel (bruit de fond) et des caractéristiques de l'écoulement (hauteur, largeur, vitesse, débit). On mesure la conductivité à un pas de temps Δt fin, pour connaître l'évolution de la concentration en sel, avec un conductimètre compensé en température (influence sur les valeurs des mesures) et réglé avec au moins une solution étalon.

b) Relation entre la conductivité et la concentration en sel:

Au lieu d'utiliser les relations théoriques ($1,86 \mu\text{S}/\text{cm}$ pour $1 \text{ mg}/\text{L}$ de sel à 18°C , valable uniquement pour du NaCl pur), il est nécessaire d'établir une relation spécifique entre la conductivité et la concentration en sel de voirie utilisé, où la linéarité se situe entre 0 et $5,8 \text{ g}/\text{L}$ ($11000 \mu\text{S}/\text{cm}$ environ).

En sachant qu'après dilution du traceur, il faut que, dans notre cas, la conductivité passe de 1000 $\mu\text{S/cm}$ (bruit de fond) à un pic de 3000 $\mu\text{S/cm}$ (Cond_{max}), soit une concentration qui variera de 0,5 à 2 g/L environ. On peut donc faire quelques solutions de 250 mL environ dans cette gamme, en pesant le sel de voirie et l'eau distillée avec la balance 1.

On obtient un coefficient de 0.516 pour la relation linéaire entre la conductivité ($\mu\text{S/cm}$) et la concentration de traceur (mg/L).

La concentration maximale de sel C_{max} que l'on souhaite mesurer sera au moins égale à :

$$C_{\text{max}} = \text{Cond}_{\text{max}} * 0,516 = 3000 * 0,516 = 1548 \text{ mg/l} = 1,548 \text{ kg/m}^3 \text{ (ou g/L)}$$

c) Ordre de grandeur du débit Q et de la vitesse V :

On prendra comme référence la mesure du débit à partir d'une hauteur d'eau, en utilisant une vitesse mesurée (doppler, radar, bouchon) ou la formule de Manning-Strickler (voir fiche méthodologique n°6 : Calcul du débit à partir de la hauteur d'eau).

Avec le débitmètre installé dans un collecteur non circulaire, en temps sec et en fin de matinée, le débit Q est calculé à partir de la vitesse V et de la surface S (fonction de la hauteur H), alors $Q = S(H) * V$.

Avec : $H_{\text{moyenne}} = 0,3 \text{ m}$ alors $S(H) = 0,166 \text{ m}^2$

$$V_{\text{moyenne}} = 0,3 \text{ m/s.}$$

Le débit Q_{moyen} calculé par le débitmètre est de $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ ou 50 L/s.

d) Longueur de bon mélange, distance d'injection :

La longueur de bon mélange L_{BM} peut être estimée par la formule du CREC:

$$L_{\text{BM}} = 9,5 h \frac{V}{\sqrt{gRJ}}$$

Avec : h hauteur d'eau (m)

V vitesse moyenne de l'écoulement (m/s)

$R(h)$ rayon hydraulique (m) = surface / périmètre mouillé

J pente de la ligne d'énergie ou pente I de la canalisation (m/m).

Avec une pente I de $1,25 \times 10^{-3} \text{ m/m}$ et à partir des valeurs du débitmètre, la longueur de bon mélange est de 21,8 m.

On peut aussi prendre pour L_{BM} 75 fois la plus grande distance hydraulique de l'écoulement (hauteur, largeur) si l'injection est faite au centre de l'écoulement ($L_{\text{BM}} = 25 * H_{\text{moyenne}} = 25 * 0,3 = 22,5 \text{ m}$), 150 fois si elle est faite sur le bord.

Une injection de fluorescéine au centre de l'effluent, à 25 mètres ($> L_{\text{BM}}$) en amont de la section de mesure, a permis de chronométrer, de manière visuelle, un temps de passage T_p de 75 secondes, ce qui permettra de déterminer l'ordre de grandeur de la masse de traceur à injecter.

e) Ordre de grandeur de la masse de traceur à injecter:

On peut estimer la masse M_{INJ} de traceur à injecter dans l'écoulement à partir de plusieurs paramètres, avec la formule suivante :

$$M_{\text{INJ}} = \frac{C_{\text{MAX}} S \sqrt{4 \pi K_x t_{\text{CMAX}}}}{e^{\left(- \frac{(x - Ut_{\text{CMAX}})^2}{4 K_x t_{\text{CMAX}}} \right)}}$$

On peut utiliser pour valeur du coefficient de dispersion longitudinale $K_x = 6 h \sqrt{ghI}$

Avec : M masse de traceur à injecter (g)

C_{max} concentration maximale que l'on souhaite mesurer (g/m^3)

S section de l'écoulement (m^2)

h hauteur d'eau dans l'écoulement (m)

g accélération de la pesanteur (= 9.81 m.s^{-2})

I pente du radier (m/m)

x distance depuis le point d'injection (m)

t_{CMAX} le temps de passage du traceur (s)

U vitesse estimée dans l'écoulement (m/s).

Avec les valeurs citées dans les points précédents, la masse de sel à injecter est de 2 311 grammes.

f) Préparation et injection de la solution mère :

Pour avoir un minimum de volume pour une injection rapide, il est conseillé d'avoir une solution mère à une concentration $C_0 = 300$ g/L, qui est inférieur à la limite de solubilité (360 g/L environ, variable avec la température).

2400 grammes de sel ont donc été dissous dans 8 litres ou 8 kilogrammes d'eau potable dans 2 bonbonnes, pour faire éventuellement 2 injections si l'on veut vérifier le résultat ou recommencer en cas de problème.

On peut aussi se servir de la balance pour connaître non pas un volume de solution salée (1 litre de solution saline est plus lourd que 1 kg), mais la masse exacte de traceur injecté, en procédant de la façon suivante:

- peser une masse de sel = m_1 et la diluer dans une masse d'eau = m_2 ;
- calculer la concentration en sel $C_0 = m_1/m_2$ (g/kg) de solution mère ;
- injecter une masse m_3 de solution mère dans un récipient de masse = m_4 à vide ;
- peser la masse m_5 du récipient avec les quelques gouttes qu'il contient encore ;
- déduire la masse M de traceur introduite qui est égale à M exacte = $(m_5 - m_4) \times C_0$.

Voici ci-dessous l'évolution de la conductivité pour une injection d'une masse de sel de 2 400 g soit 8 L de solution mère à 300 g/L d'un poids de 10,4 kg.

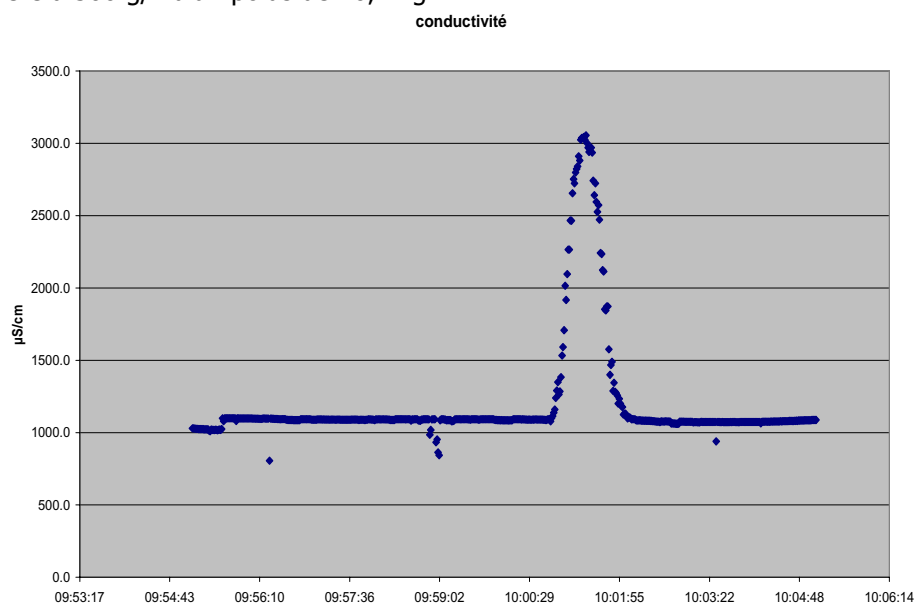


Figure 3 : Évolution de la conductivité après injection de 2.4 kg de sel (source Grand Lyon)

g) Calcul du débit obtenu par traçage et son incertitude, comparaison avec le débitmètre :

En utilisant la formule avec le bruit de fond (voir 4.1) et en validant au préalable les valeurs de conductivité, on peut calculer le débit obtenu par traçage:

$$Q = \frac{M}{\Delta t \cdot \sum C_i - C_n}$$

Avec : M masse de sel = 2400 g

Δt pas de temps d'acquisition des conductimètres = 1 s

$\sum(C_i - C_n)$ Somme des concentrations pendant 97 secondes = 36,0175 kg/m³ (ou g/L)

Le débit Q calculé par traçage est donc de 41,65 L/s.

Au moment du traçage, le débitmètre sur site, équipé d'une sonde de hauteur piézométrique et d'une vitesse doppler va permettre de comparer les débits mesurés.

Avec $H = 0,258 \pm 0,012$ m alors $S(H) = 0,12167 \pm 0,0121$ m²

$V = 0,33 \pm 0,1$ m/s.

Le débit Q calculé par le débitmètre est de $40,15 \pm 13,8$ L/s (voir fiche méthodologique n° 3 : Calcul d'incertitude du débit dans un collecteur non circulaire)

La différence de 1,5 L/s est très faible entre les débits mesurés par traçage et par le débitmètre. Pour savoir si elle est significative, il faut calculer également les incertitudes lors du traçage.

L'intervalle de confiance à 95% ΔQ du débit Q obtenu par traçage, correspondant à 2 incertitudes type $u(Q)$, est égal à:

$$\Delta Q = 2 \sqrt{u(C_0)^2 \left(\frac{V_0}{\Delta t \cdot \sum C_i} \right)^2 + u(V_0)^2 \left(\frac{C_0}{\Delta t \cdot \sum C_i} \right)^2 + u(\sum C_i)^2 \left(-\frac{C_0 V_0}{\Delta t \cdot (\sum C_i)^2} \right)^2}$$

Avec : $u(M) = 5 \cdot 10^{-4}$ g pour la masse de sel mesuré

$u(V_0) = 10^{-2}$ L = 10^{-5} m³ pour le volume d'eau de la solution mère

$u(C_0) = \sqrt{(u(M))^2 + (u(V_0))^2} = \pm 10^{-5}$ kg/m³ pour la concentration en sel de la solution mère

$u(C_{\text{ond}}) = 5$ µS/cm pour le conductimètre mesurant la concentration C_i du traceur

$u(C_i) = u(C_{\text{ond}}) \cdot \text{coefficient conductivité / concentration} = 5 \cdot 0,516 = 0,003$ kg/m³

$u(\sum C_i) = u(C_i) \cdot \text{nombre de pas de temps} = 0,003 \cdot 97 = \pm 0,251$ kg/m³ (ou g/L)

L'incertitude sur le débit mesuré par traçage est donc de 0,6 L/s (1,5%).

L'incertitude sur le débit mesuré par le débitmètre de 13,8 L/s (30,4%) est bien plus élevée.

Les intervalles de confiance des débits mesurés par traçage et par le débitmètre se recoupent partiellement (voir fiche méthodologique n° 2 : comparaison de 2 valeurs).

Les débits mesurés par les deux méthodes ne sont donc pas significativement différents.

On peut dire que le débitmètre marche correctement pour un débit de 40 L/s.

On peut faire la même comparaison sur la vitesse.

h) Calcul de la vitesse obtenue par traçage et son incertitude, comparaison avec le débitmètre :

La vitesse V obtenue par traçage est calculée à partir du débit Q obtenu par traçage et de la surface S qui est fonction de la hauteur H, alors $V = Q / S(H)$

Avec les valeurs citées dans le point précédent, la vitesse obtenue par traçage est de 0,334 m/s. Elle est très proche de la valeur fournie par le débitmètre (0,33 m/s). Pour savoir si la différence est significative, il faut calculer les incertitudes de la vitesse lors du traçage.

En appliquant la loi de propagation des incertitudes à l'équation de vitesse, en considérant que les incertitudes sur S et H sont totalement corrélées entre elles et indépendantes de l'incertitude sur V, l'incertitude type au carré de la vitesse est:

$$u(V)^2 = \left(u(S) \left(\frac{\partial V}{\partial S} \right) + u(H) \left(\frac{\partial V}{\partial H} \right) \right)^2 + u(Q)^2 \left(\frac{\partial V}{\partial Q} \right)^2$$

En appliquant les valeurs citées dans le point précédent sur la version discrétisée de l'équation, l'incertitude sur la vitesse obtenue par traçage est de 0,056 m/s (16,3 %).

L'incertitude sur la vitesse obtenue pour un débitmètre équipé d'un doppler est plus élevée car elle est au minimum de 0,1 m/s (30,3 %) quand la hauteur est comprise entre 0,05 et 0,3 m.

Les intervalles de confiance des vitesses mesurées par traçage et par le débitmètre se recoupent partiellement.

Les vitesses mesurées par les deux méthodes ne sont donc pas significativement différentes.

➔ On peut conclure dans l'exemple détaillé que le débitmètre marche correctement pour une vitesse de 0,3 m/s.

5. BIBLIOGRAPHIE

Bertrand-Krajewski J.-L., Laplace D., Joannis C., Chebbo G. (2000). Mesures en hydrologie urbaine et assainissement. Paris (France) : éditions Tec&Doc, 808 p., ISBN : 2-7430-0380-4.

Partie 4 : Mesurage des flux polluants - Chapitre 13 : Mesurage du débit par traçage

En complément voir Fiche méthodologique n° 2 : comparaison de 2 valeurs ; n° 3 : Calcul d'incertitude du débit dans un collecteur; n°6 : Calcul du débit à partir de la hauteur d'eau

6. CONTACT

Billat C., Luchinacci P., Grand Lyon

Beranger Y., Graie

Bertrand-Krajewski J.-L., Lepot M., Insa Lyon



Fiche n°8 : Mesurage du débit transité ou déversé au niveau des postes de relèvement/refoulement

Les postes de relèvement peuvent être considérés comme des points caractéristiques d'un réseau de collecte. Ils sont souvent équipés de dispositifs d'acquisition et de télégestion qui peuvent permettre de mesurer en continu le débit d'eaux usées dans les principaux collecteurs et les déversements au niveau de leur trop plein éventuel.

Chaque poste de relèvement peut permettre d'atteindre, à moindre coût, les objectifs de surveillance sans la fourniture et la pose d'équipements complémentaires. Ils peuvent être facilement intégrés à un dispositif de surveillance et permettre une sectorisation et une connaissance plus détaillées du fonctionnement du réseau.

Nous excluons de cette fiche, la mesure de débit par pose de débitmètres électromagnétiques sur les colonnes de relèvement ou la conduite de refoulement. Il est intéressant de prévoir ce dispositif de mesure dès la conception de l'ouvrage. Cela permet de connaître avec précision les débits refoulés. Avec un investissement non négligeable et sous réserve des longueurs droites nécessaires, cette opération peut également être réalisée sur un poste existant.

1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT ET DONNEES NECESSAIRES AU CALCUL

Le poste de relèvement n'est pas un instrument de mesure, mais un ouvrage dont la connaissance des données de fonctionnement et des données structurelles permet de fiabiliser la mesure indirecte du débit à partir de procédures d'évaluation et de calcul.

Une station de pompage est constituée d'une bache de stockage, d'une colonne et d'une conduite de refoulement et à minima, d'une pompe (une deuxième en secours) ou, selon la capacité de l'ouvrage, de plusieurs pompes immergées ou en cale sèche. Les postes les plus rudimentaires sont régulés par des poires de niveau qui commandent les séquences de marche/arrêt des pompes. Par exemple :

- niveau bas : arrêt des pompes ;
- niveau haut : démarrage d'une pompe ;
- niveau très haut : démarrage d'une deuxième pompe ;
- niveau trop plein : début de fonctionnement du l'ouvrage de sécurité.

Afin d'utiliser un poste de relèvement comme point de mesure du débit transité et éventuellement déversé, il doit être équipé d'un satellite de télégestion (de type Perax, Sofrel, Napac, etc) avec raccordement au réseau Télécom, GSM ou GPRS. La télégestion permet en premier lieu d'avoir en temps réel une application d'alarming et de gérer les interventions de maintenance des installations sur un état de dysfonctionnement constaté de l'ouvrage de régulation.

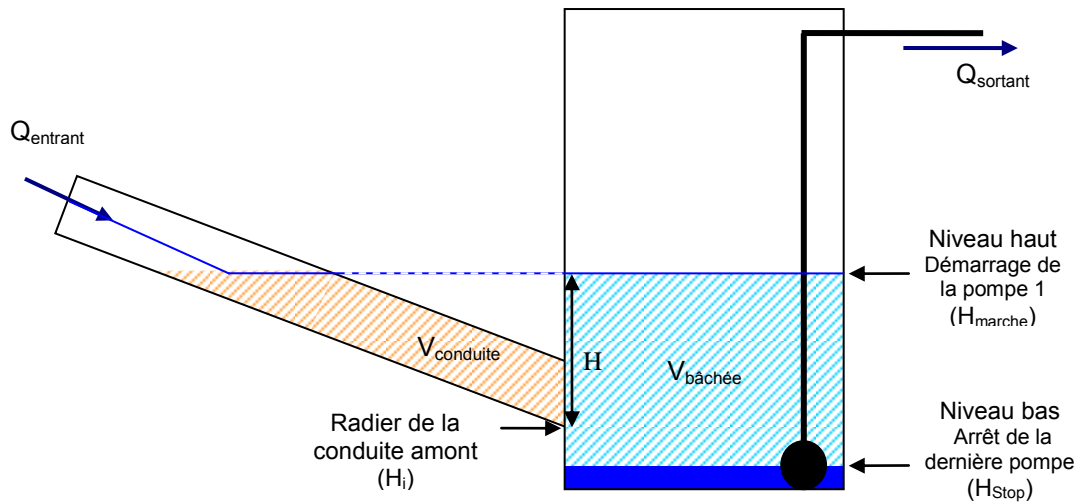
En complément de la télégestion, les postes sont généralement équipés d'une mesure de niveau dans la bache, soit par une sonde à ultrasons, soit une sonde piézométrique (les poires de niveau étant alors conservées en secours pour la commande des pompes).



Illust. 1: Équipements de mesure et de télégestion d'une station de pompage, Ville de Mâcon

La télégestion permet l'acquisition et la transmission des données de fonctionnement ou de mesure. Il est nécessaire de les archiver afin de les valoriser dans le cadre de l'autosurveillance et du diagnostic permanent :

- l'horodatage de marche et d'arrêt des pompes ou temps de fonctionnement ;
- la hauteur d'eau dans la bache du poste de relèvement.



Illust.2 : Schéma de principe d'un poste de relèvement

En complément des données fonctionnelles, il est nécessaire de connaître des données structurelles pour calculer le débit :

- hauteur du niveau bas H_{stop} et du niveau haut H_{marche} ;
- surface de la bache $S_{bâche}$;
- ces deux informations déterminent le volume de la bache ;
- le diamètre du collecteur d'arrivée et la hauteur de son radier ;
- le niveau du trop plein.

2. CALCUL DU DEBIT TRANSITE

De manière générale, il existe deux grands principes de calcul du débit. On détermine soit le débit sortant à partir des temps de fonctionnement, soit le débit entrant dans le poste à partir des horodatages marche/arrêt, éventuellement complétés du suivi du marnage par une mesure de niveau. Par ordres de précision et de complexité croissants, les calculs à réaliser sont :

- le produit du temps de fonctionnement journalier de chaque pompe séparément et en parallèle par le débit nominal des pompes selon les différentes configurations de pompage ;

$$Q_{\text{sortant}} : \sum \Delta t_{\text{fonctionnement}} (\text{Pompe } i) \times Q_{\text{nominal}} + \sum \Delta t_{\text{fonctionnement}} (\text{Pompes en parallèle}) \times Q_{\text{nominal}}$$

- idem que le calcul précédent avec un étalonnage local du débit des pompes, soit par une mesure sur la colonne de relèvement (débitmètre externe à temps de transit) soit avec une mesure par empotage. Dans ce dernier cas, le volume de la bache est rapportée à la durée de pompage, soit en considérant un débit entrant négligeable (hypothèse acceptable en période nocturne), soit en évaluant le débit sortant de chaque pompe selon la dernière procédure présentée ci-dessous.

$$Q_{\text{sortant}} : \sum \Delta t_{\text{fonctionnement}} (\text{Pompe } i) \times Q_{\text{étalonné}} + \sum \Delta t_{\text{fonctionnement}} (\text{Pompes en parallèle}) \times Q_{\text{étalonné}}$$

- Les horodatages marche/arrêt de chaque pompe permettent d'obtenir, la durée nécessaire Δt pour remplir le volume de marnage entre deux cycles de pompage. Ce volume rapporté à cette durée équivaut au débit entrant dans le poste durant cette période. Dans le cas où le niveau haut est supérieur au fil de la conduite amont, on peut compléter le volume de la bache par le volume d'eaux usées stocké dans la conduite ;

$$Q_{\text{entrant}} (\text{pompes à l'arrêt}) : ((H_{\text{marche}} - H_{\text{stop}}) \times S_{\text{bâche}}) / \Delta t$$

- Afin d'être le plus précis possible, notamment pour le calcul des eaux claires parasites par les méthodes de type « minimum nocturne » ou pour l'étalonnage régulier du débit sortant de chaque pompe, on peut suivre l'évolution ΔH du marnage, en période d'arrêt ou de marche, selon la mesure de niveau. Une acquisition de la hauteur d'eau de l'ordre de la minute, rapportée à la surface de la bache permet de calculer des incréments de volume à chaque pas de temps et de suivre l'évolution du débit entrant ou sortant. On peut alors intégrer dans le calcul du débit sortant que pendant une période de pompage, le débit entrant déterminé dans la période d'arrêt précédente est constant. Le calcul du débit sortant est alors effectué comme suit avec cette fois un Δt qui correspond à la durée de pompage :

$$Q_{\text{sortant}} : (\sum \Delta H (\text{pompes en marche}) \times S_{\text{bâche}}) / \Delta t + Q_{\text{entrant}}$$

Certains satellites de télégestion intègrent des programmes spécifiques qui permettent de réaliser localement ces différents calculs et d'étalonner quotidiennement en période nocturne chaque pompe par

empotage. Sinon, à partir des données brutes, des logiciels commerciaux peuvent être utilisés. De simples développements sur un tableur EXCEL permettent aussi de réaliser facilement ces calculs.

Il est important de rappeler que par temps de pluie, des débits à refouler importants ne permettront pas d'observer des bâchées. Un pompage constant sera alors observé. Dans ce cas, les deux grands principes de calcul sont obligatoirement combinés : débit entrant et sortant par temps sec et uniquement débit sortant par temps de pluie. Il s'agit de deux principes de mesures complémentaires et éventuellement contradictoires qui permettent un contrôle de cohérence des évaluations du débit. Il est fortement recommandé d'analyser les archives de fonctionnement d'une station de pompage avec les archives pluviométriques de la station de mesure la plus proche.

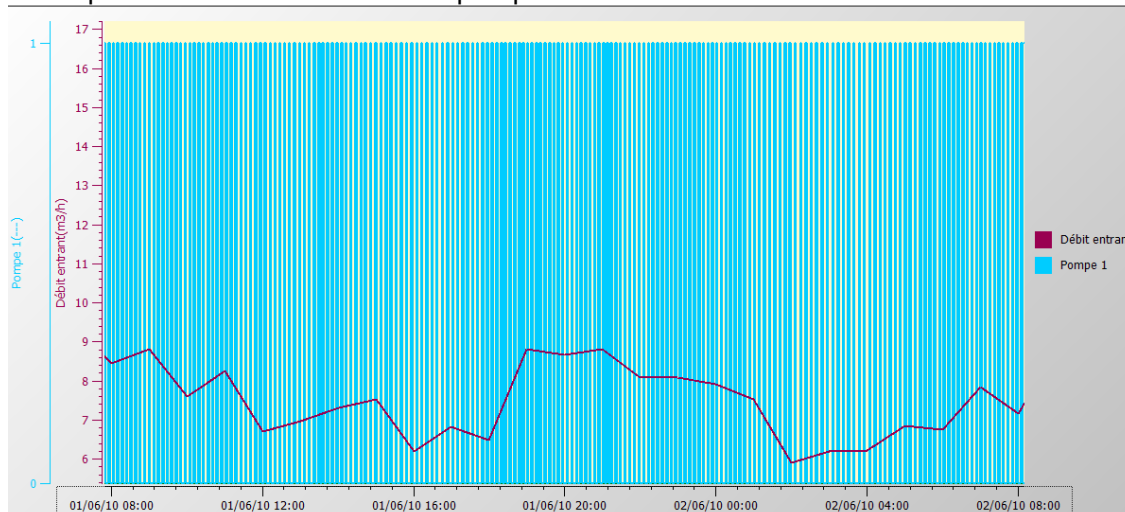
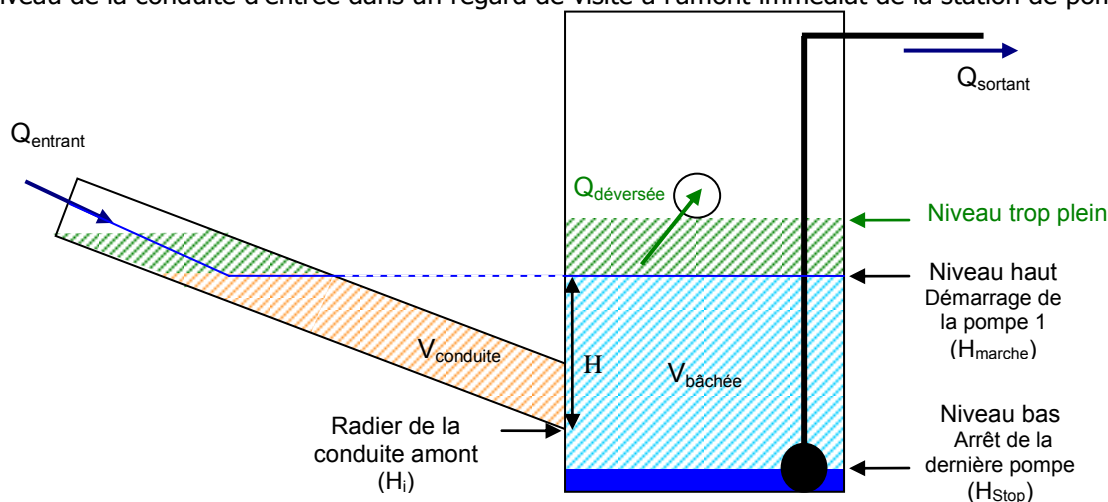


Fig.1: Exemple de transformation des horodatages marche/arrêt d'une pompe en débit entrant, Ville de Mâcon

La fiabilité des calculs dépend en premier lieu de la fiabilité des données archivées. Temps de fonctionnement et mesure de hauteur sont des données bien maîtrisées sous réserve d'éventuelles pannes électromécaniques, notamment par temps de pluie. Une méthodologie de validation des données acquises sur les postes de relèvement a été proposée dans la thèse de Raynaud (2010).

3. CALCUL DU DEBIT DEVERSE AU NIVEAU DU TROP PLEIN

De manière générale, un trop plein de poste de relèvement est constitué d'un orifice souvent circulaire dans la paroi du poste et d'une conduite de surverse pour rejet direct dans le milieu récepteur via ou non, selon le contexte, le réseau séparatif pluvial. Cet ouvrage de sécurité peut également être situé au niveau de la conduite d'entrée dans un regard de visite à l'amont immédiat de la station de pompage.



Illust.3 : Schéma de principe d'un poste de relèvement avec trop plein

L'utilisation et la valorisation des dispositifs de mesure et de télégestion existants sur certains postes de relèvement permet d'effectuer, tant par temps sec que par temps de pluie, un bilan volumétrique des effluents transités et déversés. Ainsi, il est possible d'utiliser la mesure de niveau dans le poste effectuée par la sonde ultrasons ou la sonde piézométrique. Dans le cas où le trop plein est situé en amont du poste, et que ce dernier est équipé d'un dégrilleur pouvant provoquer des mises en charge, il est recommandé d'équiper le trop plein d'une mesure de hauteur dédiée qui sera plus représentative de la ligne d'eau au droit de l'ouvrage de déversement.

L'objectif est de simplifier les équipements au niveau des postes en exploitant uniquement les mesures de hauteur d'eau dans le poste de relèvement (sans ajout d'un seuil contracté comme indiqué à l'illustration 4). Dans ce contexte, un guide a été produit par l'ENGEES, IFSTTAR, le GEMCEA et l'INSA de Lyon dans le cadre du projet national COACHS (méthodes innovantes de mesure de débit en réseau d'assainissement). Deux cas y sont traités : la modélisation générique et la modélisation spécifique. Pour tous les cas génériques décrits dans le guide, des relations mathématiques ont été établies en tenant compte de l'influence aval (influence de l'écoulement dans la conduite de déversement ou du milieu naturel sur la mesure de la hauteur d'eau dans le poste). Tous les autres cas sont considérés comme étant spécifiques et une modélisation particulière est donc nécessaire (présence d'un clapet, forme particulière de l'engouffrement dans la canalisation de décharge, etc.). Un exemple de mise en œuvre d'un modèle spécifique est également présenté dans le guide.

La relation générique suivante est applicable au niveau d'un poste de relèvement équipé d'une canalisation de trop plein circulaire, en l'absence d'influence aval.

$$Q_{\text{dénoyé}} = 0,7157 \cdot (9,81 \cdot \text{DN}^5)^{0,5} \cdot 0,5 \left(\frac{h_{\text{pr}}}{\text{DN}} \right) \left(\frac{h_{\text{pr}}}{\text{DN}} \right)^{2,1747}$$

$Q_{\text{dénoyé}}$: le débit au travers de l'orifice en dénoyé (m^3/s),

DN : le diamètre intérieur de la conduite (m), valable entre 0,200 et 0,600 m ,

h_{pr} : la hauteur d'eau dans la bache de reprise de la station de pompage avec pour référence le radier de l'entrée de la canalisation de décharge (m).

Conditions d'application de la relation proposée ci-dessus :

$$h_{\text{pr}} \leq h_{\text{pr dénoyé MAXI}}$$

$$\text{avec } h_{\text{pr dénoyé MAXI}} = 1,69 \cdot \text{DN}$$

et $h_{\text{av}} \leq 0,73 \cdot h_{\text{pr}}$ afin de garantir un fonctionnement en dénoyé (donc sans influence aval)

h_{av} représente hauteur à l'aval de l'orifice par rapport au plan de référence (hauteur par exemple au niveau du milieu naturel prise par rapport au radier de l'entrée de la canalisation de décharge).



Illust. 4: Équipement d'un trop plein, Ville de Mâcon

Pour toutes les autres situations, il faut se référer au guide COACHS qui sera disponible sur le site du GEMCEA au plus tard l'été 2014.

4. REFERENCES

BERTRAND-KRAJEWSKI J.L., LAPLACE D., JOANNIS C., CHEBBO G. *Mesures en hydrologie urbaine et assainissement*. Editions Tec & Doc, Paris (France), 2000.

OLLAGNON B., *Autosurveillance sur le Bassin Loire Bretagne*. Acte de la 4èmes journée sur l'autosurveillance des réseaux d'assainissement 11-22p., GRAIE, Villeurbanne, 2009.

RAYNAUD O. (2010). *Un modèle hydrologique conceptuel pour l'évaluation des rejets de réseaux séparatif d'eaux usées par temps de pluie*. Thèse de doctorat: École centrale Nantes, France Septembre 2009. 186 p.

Guide COACHS sur le calcul du débit déversé au niveau d'un trop plein de poste de relèvement - à venir sur le site du GEMCEA (<http://www.gemcea.org/>).



Fiche n°9 : Mesurage des flux polluants de MES et de DCO par turbidimétrie

L'utilisation de turbidimètres en continu installés aux points de déversements et aux points caractéristiques des réseaux de collecte permet de répondre aux exigences réglementaires (arrêté du 22 juin 2007) d'estimation des charges polluantes en MES et DCO transférées et déversées.

En utilisant des protocoles rigoureux d'étalonnage, de suivi et d'établissement des corrélations, et grâce aux séries de données obtenues à court pas de temps (de l'ordre de 1 à 2 minutes), l'estimation des charges en MES et DCO aux échelles événementielle et annuelle est connue avec un niveau de précision bien meilleur que celui qu'on peut espérer obtenir en ne procédant qu'à des prélèvements et des analyses classiques pour un nombre limité d'événements pluvieux.

La conversion des valeurs de turbidité en concentrations peut aussi présenter un intérêt pour d'autres applications plus techniques, par exemple pour établir des bilans de masses dans le cadre d'une modélisation ou pour évaluer des impacts sur une filière de traitement.

Ce sujet a été abondamment traité depuis le milieu des années 2000, et nous renvoyons le lecteur aux références suivantes pour des informations détaillées sur les principes, les méthodes, les résultats obtenus et des exemples d'applications.

- le numéro de la revue *TSM – Techniques Sciences Méthodes*, 2010, n° 1/2, qui contient les actes de la conférence ASTEE-SHF « Mesure en continu de la turbidité en réseaux d'assainissement » du 9 mars 2010.
- le site internet <http://www.turbidite-assainissement-cil.fr>, qui propose notamment :
 - o d'autres **références bibliographique** et
 - o un **film technique pédagogique** réalisé par le LCPC de Nantes « Capteurs en eau trouble ».



Film téléchargeable à l'adresse suivante :
<http://www.turbidite-assainissement-cil.fr/accueil/index.html>



Fiche n°10 : Valorisation des données d'autosurveillance pour la gestion patrimoniale

1. Pourquoi cette fiche ?

La mise en place de l'autosurveillance des systèmes de collecte doit être l'occasion pour les collectivités et leurs services de se pencher sur le fonctionnement de leurs réseaux d'assainissement.

L'autosurveillance peut donc contribuer à améliorer la gestion de leurs ouvrages tant en exploitation qu'en investissement,

à condition que les services en charge de la maintenance des ouvrages bénéficient des données d'autosurveillance... Cette fiche a pour but de montrer aux services en charge de l'autosurveillance ce qu'ils peuvent apporter aux services en charge de la gestion du patrimoine.

2. Qu'est-ce la gestion patrimoniale?

En France, les réseaux d'assainissement sont enterrés et connaître leur état de dégradation est toujours difficile. Pourtant, ils constituent des investissements importants, et ils nécessitent une gestion durable tout au long de leur cycle de vie, afin d'assurer la continuité du service aux usagers. L'objectif de la gestion patrimoniale est de maintenir l'aptitude du patrimoine à assurer le service au présent et dans le futur. Cela se traduit au niveau opérationnel par des opérations de maintenance ou de réhabilitation du patrimoine, par exemple la réparation ou le changement d'une conduite d'assainissement.

La question est en apparence simple : quelle conduite dois-je traiter en priorité (sachant que je n'aurai pas les moyens de réhabiliter toutes les conduites qui le nécessitent) ? Elle se complique ensuite car il est impossible de connaître l'état de santé de l'ensemble d'un patrimoine.

En France, chaque année, les collectivités observent, par des inspections télévisées¹, en moyenne l'état physique d'environ 10 % de leur réseau et réhabilitent autour de 1 % du linéaire du réseau. Dans ces conditions, il semble utopique de réhabiliter toutes les conduites en mauvais état !

Il s'agit donc surtout de réhabiliter en priorité les conduites dont la dégradation entraîne les conséquences les plus dommageables (ex : une conduite fissurée à proximité d'un captage, une conduite qui risque de s'effondrer située sous une chaussée à fort trafic, etc.).

3. Comment mettre en place un lien entre autosurveillance et gestion patrimoniale ?

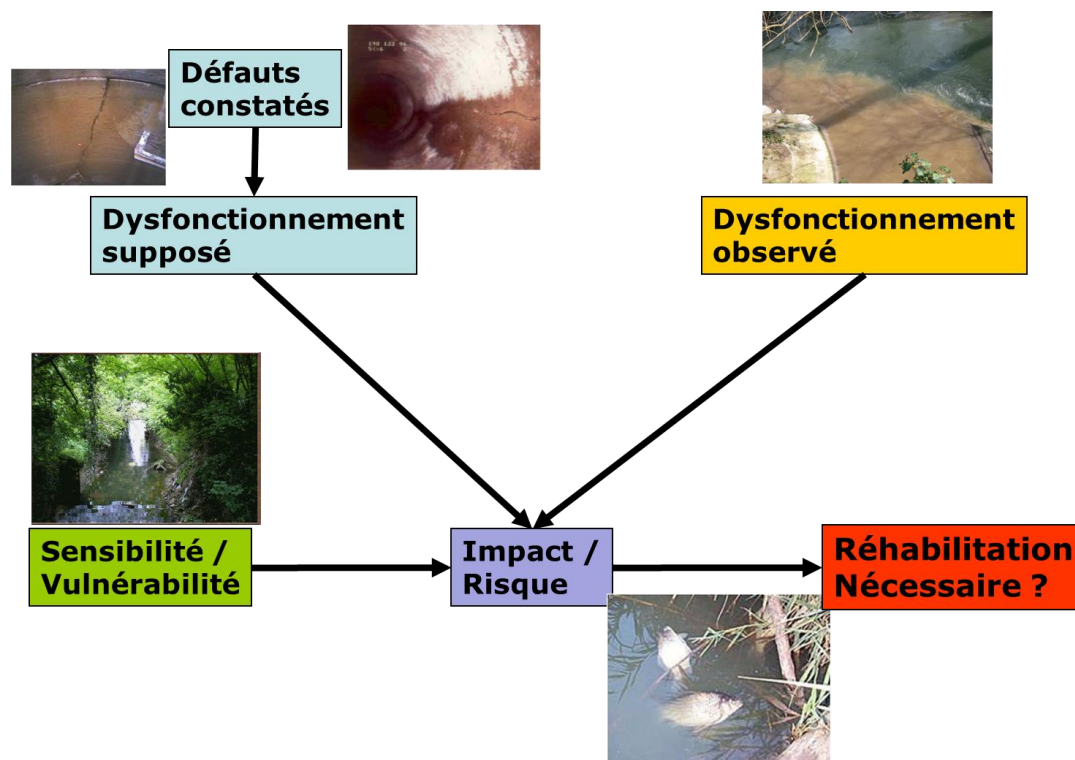
L'autosurveillance permet d'apporter des informations fondamentales pour bien cibler les réhabilitations. Par exemple, l'observation d'un débit important d'eaux parasites en entrée de STEP confirmera la nécessité de réhabiliter des conduites en amont sur lesquelles l'inspection télévisée a permis d'observer des fissures entraînant des infiltrations. D'autres informations peuvent être utiles, ce sont par exemple :

- les fréquences et les volumes déversés par temps sec pour chaque déversoir,
- les fréquences et les volumes déversés par temps de pluie pour chaque déversoir,
- les fréquences de curage (ou d'intervention de curage) par conduite d'assainissement,
- le niveau de la nappe par rapport aux conduites,
- les volumes transités (et déversés) par la STEP et les postes de refoulement,
- le surcoût d'exploitation de la STEP et des postes de refoulement dû aux apports d'eaux parasites.

¹ La gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement a évolué depuis ces dernières années. L'information élémentaire nécessaire est le rapport d'inspection télévisée : le matériel d'inspection s'est perfectionné et une norme (NF 13508-2) a permis d'uniformiser les rapports d'inspections télévisées (et donc le codage des défauts observés).

Détaillons un exemple de lien entre gestion patrimoniale et autosurveillance...

On constate à l'aide d'inspections télévisées la présence de fissures sur différentes conduites. Pour déterminer les besoins urgents de réhabilitation, on identifie parmi les conduites en mauvais état (fissures entraînant un apport d'eaux parasites), celles qui sont responsables de déversements dans le milieu naturel. L'autosurveillance permet donc dans ce cas d'affiner les priorités de réhabilitation en fonction d'informations sur les déversements (et la quantité d'eau parasite si les données sont en continu au niveau du réseau principal).



Le risque ou l'impact ne sera jugé élevé que si le dysfonctionnement est avéré (déversement dans le milieu) et que le milieu est vulnérable (faible débit par exemple).

Pour résumer...

La réponse dépend de la taille des services et des pratiques actuelles.

Cela peut aller de :

- la mutualisation des données d'inspections télévisées des conduites (permettant de juger de la dégradation des conduites) et des données d'autosurveillance au sein du même SIG. Cela permettra d'aider la collectivité à définir plus efficacement ses priorités de réhabilitation,
- à
- la mise en place d'un échange d'informations ou d'une discussion régulière entre le service en charge de l'autosurveillance et celui en charge de la gestion patrimoniale (souvent appelé exploitation) du réseau. Ces discussions permettront de mutualiser la recherche d'eaux parasites... mais également de cibler les conduites à inspecter et d'affiner l'identification des conduites à réhabiliter.

4. Contact

Frédéric CHERQUI, INSA de Lyon / UCBL, LGCIE – Email: frederic.cherqui@insa-lyon.fr



Fiche n°11 : Acquisition et transmission des mesures en réseaux d'assainissement

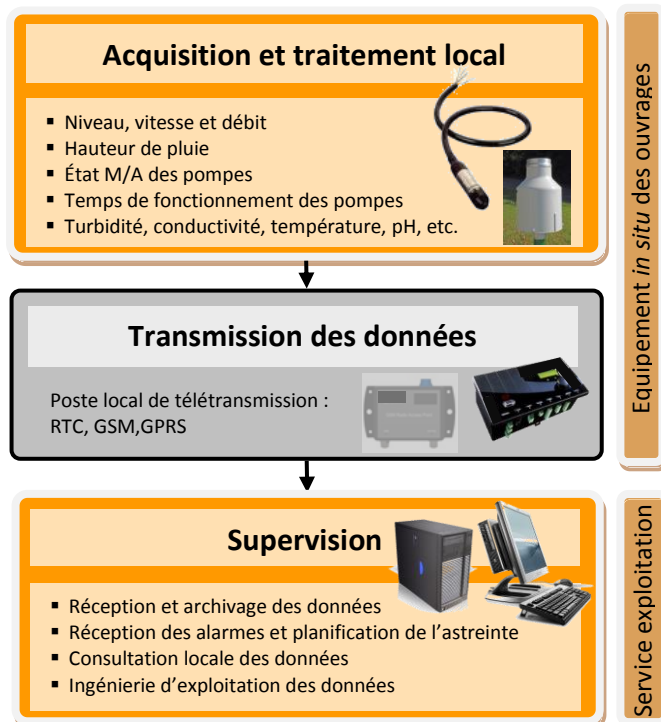
1. INTRODUCTION

Les exigences réglementaires liées à l'autosurveillance des réseaux d'assainissement et le développement du diagnostic permanent conduisent les gestionnaires à équiper les points de déversement ou les points de transit principaux de dispositifs métrologiques permettant d'en suivre le fonctionnement de manière continue.

Ce suivi requiert l'acquisition de données variées à pas de temps relativement fin (quelques minutes) telles que :

- la hauteur de pluie et l'intensité des précipitations ;
- la hauteur d'eau dans un ouvrage ;
- la vitesse d'un écoulement ;
- le débit transitant dans une canalisation ;
- les temps de fonctionnement de certains équipements (pompes, déversoirs, etc.) ;
- toute autre mesure dont la connaissance en continu permettrait d'améliorer la connaissance du fonctionnement de la collecte (turbidité, MES, T°, H₂S, pH, conductivité, etc.).

L'objectif de cette fiche technique est de conseiller les gestionnaires dans leur réflexion sur l'élaboration d'une chaîne de mesure (cf. schéma ci-dessous), de l'acquisition d'une grandeur in-situ à la transmission des données dans un outil de supervision centralisé (gestion des alarmes, archivage des données de mesure et traitement *a posteriori*).



Sont décrits principalement dans cette fiche, les éléments essentiels de l'acquisition et de la transmission de données : les fréquences de mesure (scrutation) et d'enregistrements (historisation), puis les différents modes de transmission de données avec leurs avantages et inconvénients respectifs. Le volet supervision « validation et valorisation des données d'autosurveillance » est traité dans une fiche technique dédiée.

Les principes de mesure *in situ* des grandeurs nécessaires à l'autosurveillance ont par ailleurs déjà été traités dans différentes fiches techniques (FT) ou méthodologiques (FM) spécifiques rédigées par le groupe de travail :

- [FT1](#) : Mesurage de la hauteur d'eau par capteur à ultrasons ;
- [FT2](#) : Mesurage de la hauteur d'eau par capteur piézorésistif ;
- [FT3](#) : Mesurage de la pluie par des pluviomètres ;
- [FT4](#) : Mesurage de la vitesse par cordes de vitesse ;
- [FT5](#) : Mesurage de la vitesse par effet Doppler ;
- [FM6](#) : Calcul du débit à partir de la hauteur d'eau ;
- [FM8](#) : Mesurage du débit transité ou déversé sur les postes de relèvement ;
- [FM9](#) : Mesurage des flux polluants de MES et de DCO par turbidimétrie.

Ces fiches sont toutes accessibles à partir de ce document en cliquant sur les liens hypertexte en bleu.

2. TYPES DE DONNEES

De manière générale on distingue trois types de données qui peuvent être acquises à l'aide de sondes ou de détecteurs :

- **État TOR (tout ou rien)** : cette information de type binaire peut être générée directement ou indirectement par le dispositif de mesure. Couramment, il peut s'agir de l'horodatage d'une impulsion électrique ou de l'horodatage d'un passage en tension ou hors tension d'un équipement électromécanique, comme lors **d'un basculement d'auget de pluviomètre, de l'activation d'un détecteur de surverse ou d'une mise en marche ou en arrêt d'une ou plusieurs pompes**. Ces états TOR sont souvent retranscrits sous la forme suivante : marche/arrêt, normal/défaut, 0/1, etc. La génération indirecte d'un état TOR s'effectue généralement lors du dépassement ou de l'abaissement par rapport à des valeurs de référence (analogiques ou numériques) d'un paramètre mesuré. A ces états sont souvent associés des niveaux d'alarmes. Dans le cas particulier des transmetteurs de débitmètre, une impulsion peut être émise tous les X m³ écoulés pour incrémenter un index de comptage ou piloter un préleveur en mode débit.
- **Valeurs analogiques** : la majorité des instruments de mesure permet via un transducteur de retranscrire une grandeur physique en une grandeur électrique qui lui est directement proportionnelle. Le signal analogique fourni par le capteur peut être soit une tension 0-5 V, soit une intensité 0-20 mA ou 4-20 mA. Le signal 4-20 mA constitue le standard. Couramment, on associe au capteur la fonction de transmetteur de **ces signaux analogiques qui peuvent être enregistrés dans la mémoire interne du capteur et dans la mémoire d'un poste local de télégestion en charge de l'historisation et de la transmission des données en supervision**. On associe souvent au transmetteur la fonction de convertisseur, de l'analogique en numérique pour affichage de la valeur mesurée (un signal 4-20 mA correspondra par exemple à une pleine échelle de mesure de hauteur d'eau de 0-3 m), puis de la valeur numérique en une autre valeur numérique par une table de correspondance ou une relation mathématique (formule hydraulique ou polynôme). C'est le cas fréquent par exemple de la conversion de hauteur d'eau en débit.
- **Valeurs numériques** : selon les capteurs les différents éléments ou fonctions qui le composent (transmetteur, afficheur, enregistreur, convertisseur, processeur, etc.) **sont soit intégrés, soit en modules séparés. Les progrès récents en miniaturisation et en traitement du signal ont conduit à raccourcir la chaîne de mesure en la rapprochant au plus près du mesurande afin de fiabiliser le traitement du signal et de réduire les pertes et interférences possibles. Les capteurs sont « numérisés » et directement raccordable (« plug and play ») à un afficheur ou à un poste local de télégestion via des connectiques RS-485, Modbus, etc.** Le poste local de télégestion a aussi évolué en incluant les fonctions de convertisseur, d'afficheur et d'automate.

3. ACQUISITION DES DONNEES

Les états TOR sont simplement horodatés. Un traitement simple permet de déterminer les durées sur état TOR (par exemple temps de fonctionnement de pompes, durée de déversement, etc.).

Les signaux analogiques et numériques sont rafraîchis selon le pas de temps de mesure du transducteur (de l'ordre de la milliseconde). Une scrutation et une historisation sont effectuées généralement à un pas de temps fixe de l'ordre de la minute, paramétrable par l'utilisateur. Les valeurs sont moyennées sur ce pas de temps.

Les informations ou types de données à remonter et les paramétrages standards à réaliser dans le cadre d'une chaîne de mesure d'un équipement d'auto-surveillance sont proposés dans le tableau ci-dessous. Nous nous sommes basés sur un pas de temps d'historisation de 6 minutes qui est généralement utilisé par référence au suivi de la pluviométrie à 6 minutes de Météo France.

	Capteurs ou types de données	Poste de télégestion et prétraitement
	Pluviomètre	
Déversoir d'orage	Basculements d'augets ou incréments de poids équivalent à 0.1 ou 0.2 mm	Historisation à pas de 6 min de la hauteur d'eau
	Sonde de niveau	
Déversoir d'orage	Scrutation sur 6 min de la hauteur d'eau déversée	Historisation à pas de 6 min de la hauteur d'eau
	Sonde de niveau et si besoin de vitesse	
Collecteur gravitaire	Scrutation sur 6 min de la hauteur d'eau et de la vitesse de l'écoulement dans le collecteur	Historisation à pas de 6 min de la hauteur d'eau, de la vitesse et du débit.
ou	Calcul du débit équivalent à partir de la hauteur, de la vitesse et de la relation hauteur/surface mouillée propre à la section de l'ouvrage	Possibilité de convertir la hauteur en débit à partir d'une table de correspondance
Conduite de surverse	Possibilité de convertir la hauteur en débit à partir d'une table de correspondance	Création d'un index sur le volume écoulé. Possibilité de générer une impulsion tous les X m ³ pour prélèvement proportionnel au volume écoulé (méthode de référence).
	Contacteurs de Pompes	
Poste de relevage	Temps de fonctionnement	Historisation à pas de temps horaire des index de temps : <ul style="list-style-type: none"> ▪ pour chaque pompe individuellement, ET ▪ pour chaque combinaison de pompes fonctionnant en parallèle.
	Horodatages de leurs états Marche/Arrêt	Journalisation de tous les évènements M/A des pompes
	Sonde de niveau	
Si poste équipé d'un DO amont ou d'un TP	Scrutation sur 6 min de la hauteur d'eau dans la bêche	Historisation à pas de 6 min de la hauteur d'eau Possibilité de convertir la hauteur en débit à partir d'une table de correspondance Création d'un index sur le volume écoulé. Possibilité de générer une impulsion tous les X m ³ pour prélèvement proportionnel au volume écoulé (méthode de référence).

4. TRANSMISSION DES DONNEES

Le poste de télétransmission, dit couramment satellite local de télégestion, permet l'acquisition de données provenant de différents types de capteur. Ces données sont soit brutes, soit déjà prétraitées par les éléments processeur ou convertisseur compris ou non dans le capteur lui-même. Le satellite de télégestion effectue également des prétraitements de type index, différence d'index ou conversion d'une variable en une autre variable. Il peut également faire une analyse locale en temps réel des données en générant des alarmes sur seuils haut et bas (début et fin de déversement par exemple). Ces alarmes

peuvent générer un appel en supervision et un envoi non programmé des données acquises depuis le dernier envoi programmé.

Généralement, les gestionnaires planifient un envoi journalier à heure fixe des informations (entre 6h00 et 8h00). Les satellites envoient successivement leurs informations archivées à heure fixe ou sont interrogés sur demande par la supervision. Ces envois plus ou moins fréquents ou interrogations planifiées ou provoquées permettent de distinguer un mode de gestion classique des données « *a posteriori* » d'un mode de gestion plus opérationnel dit en « temps réel » qui permet de mieux gérer les ouvrages, notamment par temps de pluie (gestion dynamique des flux : stockage, restitution, déversement, vitesse de pompage variable, pourcentage d'ouverture de vanne mobile, etc.).

Le mode de communication (RTC, GSM, GPRS, ADSL, CPL, radio, etc.) de l'information conditionne aussi les vitesses de transfert des données à la supervision et donc la possibilité de pratiquer une gestion en temps réel de l'information et des ouvrages télégerés.

Selon les ouvrages ou installations électromécaniques, les grandeurs à suivre et les capteurs utilisés ainsi que la proximité des réseaux EDF et TELECOM ou la bonne couverture des réseaux mobiles, un point de mesure peut être entièrement autonome en énergie et en communication. Dans le cadre de l'autosurveillance des réseaux d'assainissement, ce type d'instrumentation peut uniquement être réalisé pour un pluviographe à augets, une sonde de niveau piézométrique et plus récemment pour une sonde de niveau ultrasons avec conversion locale ou non en débit. Les satellites de télégestion autonomes en énergie et en communication utilisent généralement les réseaux GSM ou GPRS et l'envoi de SMS ou de fichiers. Il existe également des satellites « mixtes » : autonomes en communication mais alimentés par le réseau EDF ou autonomes en énergie et raccordés au réseau TELECOM.

Les avantages et inconvénient des différents modes de communication de l'information sont résumés dans le tableau ci-dessous.

	Avantages	Inconvénients
RTC	Facile, répandu	Fil, modem analogique
GSM-SMS	Pas de fil	Réseau, nombre de données
GPRS	Plus grand nombre de données Communication avec supervision possible (réception-émission)	Réseau
ADSL	Facile, répandu, numérique	Sécurité
Radio	Sécurité	Coût (sauf dans le cas d'une architecture radio mutualisée)
CPL		Difficile
WI-FI, autres,...		Sécurité, réseau

5. CONTACT

Jérôme DE BÉNÉDITTIS, Veolia Eau – Email : jerome.debeneditis@veoliaeau.fr



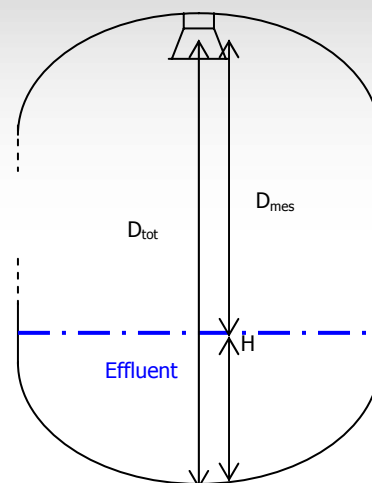
Fiche Technique n° 1 : Mesurage de la hauteur par capteur Ultrason

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le capteur, placé au-dessus de l'écoulement, émet par intermittence des ondes ultrasonores qui se propagent vers la surface de l'eau. Une partie des ondes est réfléchiée vers le capteur qui fonctionne alors en récepteur. On mesure le temps mis par l'onde pour descendre et remonter. Ce temps est fonction de la hauteur d'eau. Connaissant la hauteur total de l'ouvrage, on retrouve la hauteur d'effluents.

On sait que l'onde ultrasonore se déplace à la vitesse de 330 m/s, donc $D_{mes} = 330 * T_{ps}$ de transit.

La sonde donne D_{mes} , connaissant D_{tot} , on trouve H (hauteur d'effluents), car $H = D_{tot} - D_{mes}$.



CRITÈRES DE CHOIX

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Facile à installer (en contrôlant soigneusement l'horizontalité de la face inférieure du capteur) et à maintenir - N'est pas au contact avec l'effluent - Ne perturbe pas l'écoulement - Dérive peu au cours du temps - Faible coût 	<ul style="list-style-type: none"> - Présente une zone morte (environ 30cm) qui peut être réduite par un renvoi d'angle - Ne permet pas de mesurer les mises en charge éventuelles lorsque la sonde est placée en voûte de l'ouvrage - Des gradients de température importants entre sonde et niveau d'eau peuvent perturber la mesure

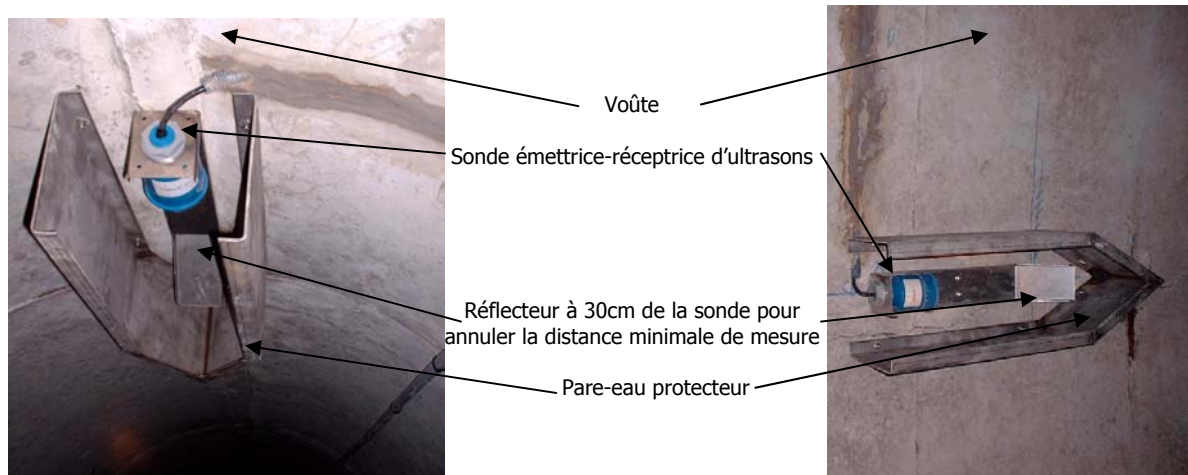
INSTALLATION

Le capteur est positionné verticalement au dessus du point à mesurer, ou parallèlement à l'axe d'écoulement dans la cunette avec un renvoi d'angle. Pour une bonne réception de l'onde, le faisceau doit être strictement perpendiculaire à la surface des effluents.

Pour mesurer la mise en charge du réseau il est possible de l'installer dans une cheminée au droit de l'écoulement



*Illust. 1: Exemple d'installation d'un capteur à US sous la voûte d'un collecteur sans renvoi d'angle
(Photo Direction de l'eau et de l'assainissement de la ville de Marseille – SERAM)*



*Illust. 2: Exemple d'installation d'un capteur à US sous la voûte d'un collecteur avec renvoi d'angle
(photo Exploitation Métrologie - Grand Lyon)*

MAINTENANCE

La maintenance consiste uniquement à nettoyer la sonde et l'éventuel réflecteur.

Lorsque les sondes de niveau sont installées en voûte, il faut utiliser une perche munie d'un plumeau. Un simple chiffon suffit si la sonde est facilement accessible.



*Illust. 3: nettoyage d'une sonde installée en voûte
(Photo Exploitation Métrologie - Grand Lyon)*

VERIFICATION

Pour réaliser une vérification ou un ajustage, il est nécessaire de se munir d'un système constitué de : cales avec plusieurs hauteurs connues (par exemple : 50, 100, 150 et 250 cm), voire une cale spéciale pour un site bien défini, d'un niveau à eau et d'un moyen de communication en réseau.

Les cales seront adaptées aux dimensions du collecteur et doivent être vérifiées périodiquement.

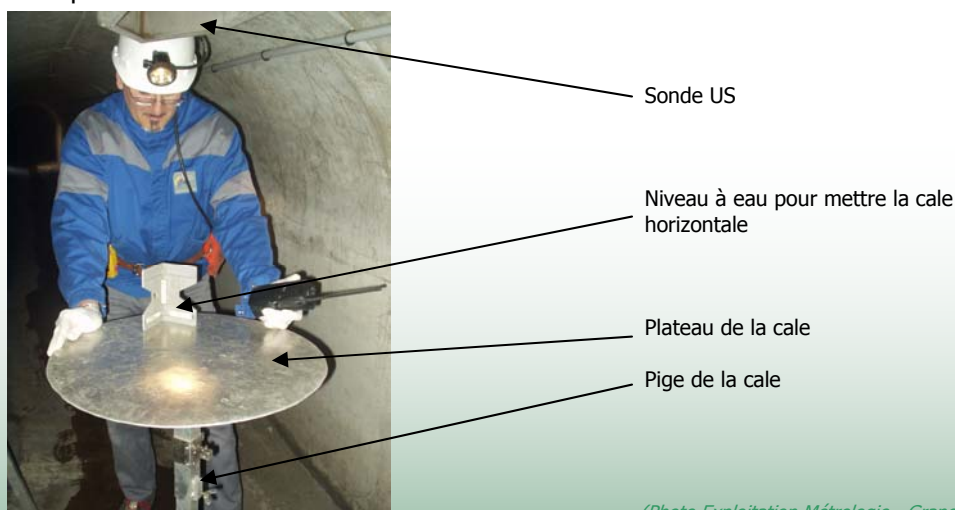
A chaque passage, une vérification simple est effectuée en comparant sommairement la mesure affichée par le transmetteur et la hauteur approximative réelle en égout. Cela permet d'apprécier les dérives importantes.

Pour évaluer plus précisément la mesure, il faut vérifier, selon une fréquence établie propre à la station, que la chaîne de mesure transmette bien la valeur de la cale.

Système classique en réseau visitable : Positionnement en dessous de la sonde possible

Pour ce faire, placer les cales horizontalement sous le capteur, au fond du radier dégagé. Faire les vérifications à la montée puis à la descente (de la cale la plus basse à la plus haute puis inversement).

Attendre que l'opérateur en surface ait lu une valeur stable sur l'afficheur du transmetteur de hauteur avant de passer à la cale suivante.



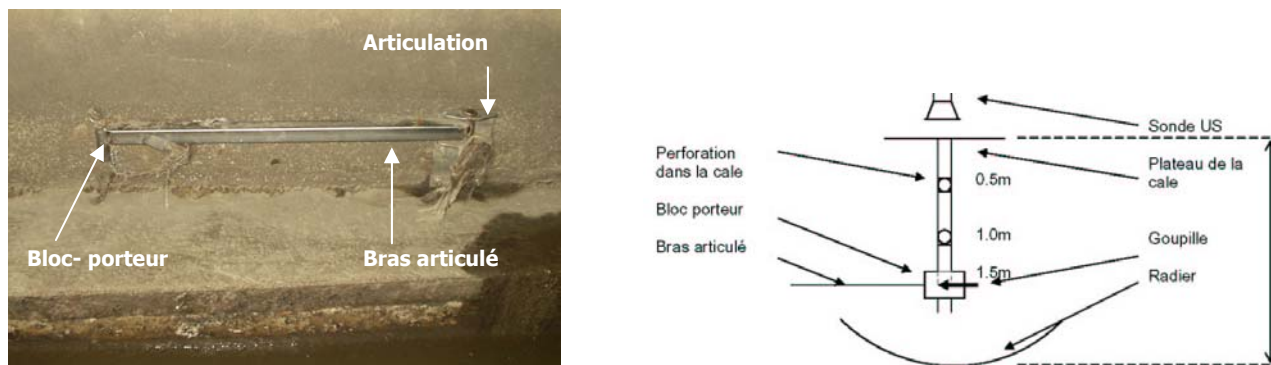
(Photo Exploitation Métrologie - Grand Lyon)

Système Particulier : Système à bras articulé ou sur rail

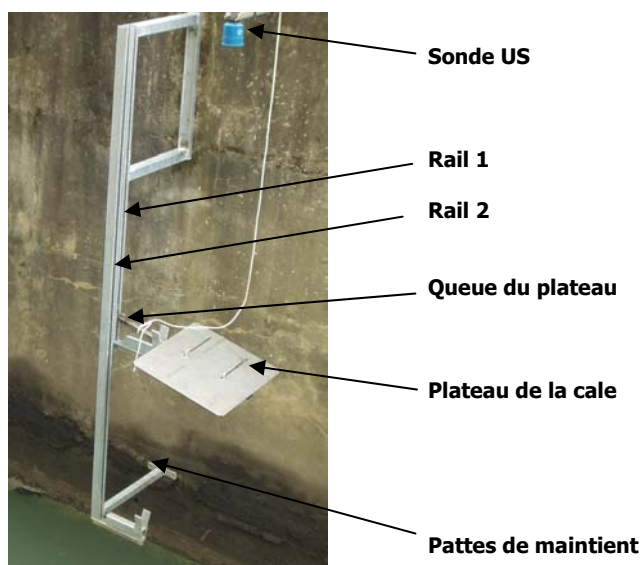
Lors qu'il est impossible de poser la cale correctement au fond du radier et sous la sonde, des bras articulés sont parfois nécessaire (Cf. photos ci-dessous).

La cale est équipée de perforations à des hauteurs pré-définies tenant compte de la profondeur du radier. Ces hauteurs seront vérifiées périodiquement à l'aide d'un lasermètre.

Pour prendre des mesures, il convient de faire coulisser la cale dans le bloc porteur et de la bloquer avec une goupille au niveau des hauteurs pré-définies (autre système avec un rail et des crans).



Illust. 4: Exemple de système à bras articulé avec goupille (photo Exploitation Métrologie- Grand Lyon)



Illust. 5: Exemple de système à rails (photo Exploitation Métrologie - Grand Lyon)

RÉGLAGE :

Les valeurs sont enregistrées et analysées conformément à la Fiche Technique 2 : Comparaisons de deux valeurs

BIBLIOGRAPHIE

Mesure en hydrologie urbaine et assainissement", BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., LAPLACE D., JOANNIS C., CHEBBO G., coord. , Éditions Tec&Doc, 808 p., 16 x 24,5, ill., 2000, relié, ISBN : 2-7430-0380-4

CONTACT

Patrick Lucchinacci - Communauté urbaine de Lyon – Direction de l'eau - Exploitation Métrologie
Tel : 04 72 76 76 30 - Mail : plucchinacci@grandlyon.org



Fiche Technique n° 2 : Mesurage de la hauteur par capteur piézorésistif

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le capteur comprend une membrane souple qui se déforme sous l'effet du poids de l'eau qui la surplombe. Cette déformation mécanique est transformée en grandeur électrique par un transducteur de pression relié mécaniquement ou hydrauliquement à la membrane. Les transducteurs les plus utilisés en hydrologie urbaine sont de type piézorésistif, mais d'autres types sont également mis en œuvre en réseau d'assainissement (de type résistif ou capacitif) ou dans d'autres domaines techniques ou industriels (de type piézo-électrique, transformateur différentiel, etc.). On convertit ainsi une pression en signal électrique.

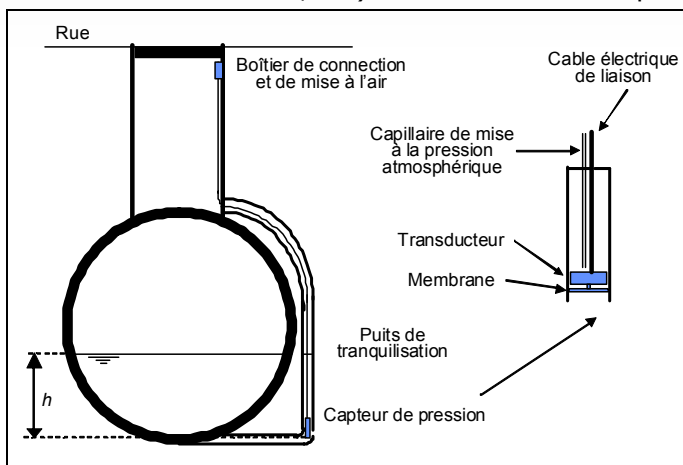


Fig.1: Schéma de Principe issu de l'ouvrage "Mesures en hydrologie urbaine et assainissement", BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., LAPLACE D., JOANNIS C., CHEBBO G

CRITÈRES DE CHOIX

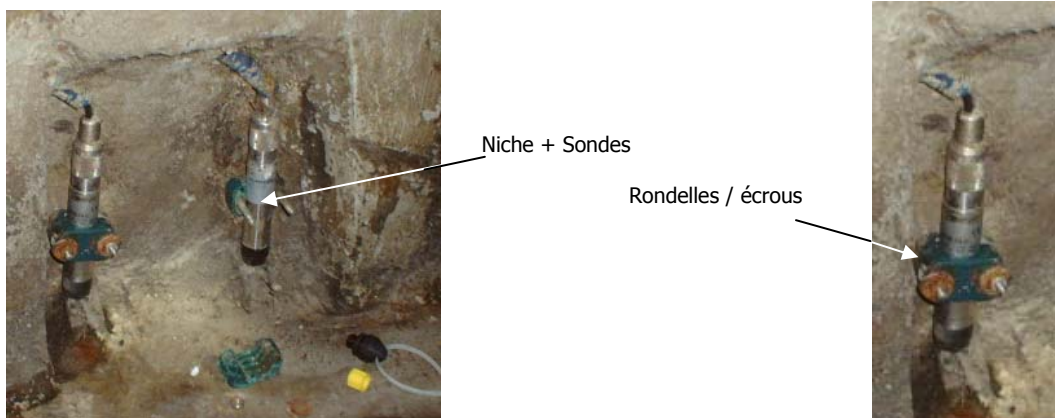
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Permet de mesurer les mises en charge éventuelles - Pas de zone morte sur la mesure - Coût d'investissement moyen - Faible consommation électrique possibilité de les équiper avec une alimentation autonome 	<ul style="list-style-type: none"> - Sujet à la dérive au cours du temps nécessite des vérifications - En contact avec l'effluent, donc nécessite un entretien fréquent - Plus contraignant sur le génie civil

Conseil

- Prendre des sondes adaptées à l'assainissement (membrane au silicium conseillée)
- Utiliser des sondes avec une tête d'embout dévissable pour être adaptable au générateur de pression (cf. Vérification)

INSTALLATION

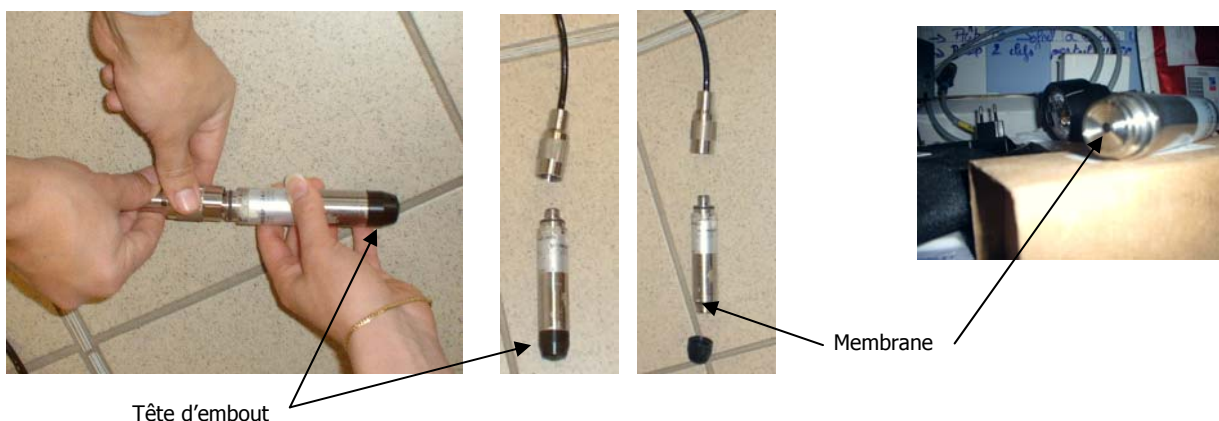
- Concevoir des installations permettant la maintenance et les vérifications régulières dans des conditions faciles pour les intervenants en égout.
Par exemple : Limiter le nombre de petites pièces (écrous, rondelles ...). Favoriser un système de clips ou de plaque amovible. (cf *Illust. 1*).
- Anticiper sur le remplacement du matériel (câbles extractibles, éventuellement sondes débouchables ...).
- Prévoir (lorsque c'est réalisable) une niche ou un décaissement pour placer la sonde verticalement.
- Privilégier le positionnement vertical (pour le réglage du zéro).
- Le chemin de câble doit être relativement linéaire (pas d'angle vif) afin de ne pas détériorer le capillaire de mise à la pression atmosphérique



Illust. 1: Exemple d'installation d'un capteur piézométrique (Photo Chambéry Métropole)

MAINTENANCE

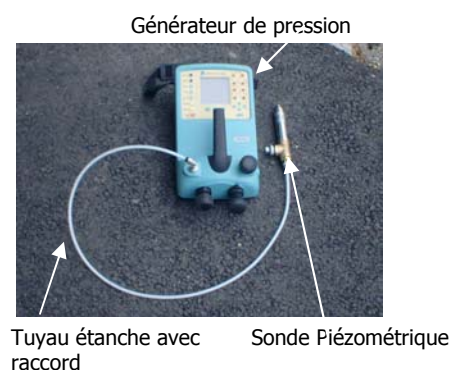
- Prévoir d'enlever la tête d'embout pour le nettoyage de la membrane (présence de vers, de dépôts...) avec un pulvérisateur d'eau.
- Si présence de sels dessiccants, les remplacer régulièrement (évitent l'intrusion d'humidité dans les tuyaux capillaires, humidité susceptible de condenser dans le capillaire et de perturber les mesurages).
- Prévoir une longueur de câble suffisante dans les fourreaux pour faciliter la manipulation
- Sondes débrochables: intéressant pour remplacer une sonde HS avec un câble en bon état, mais système relativement fragile. Nécessitent 2 personnes pour effectuer le débrochage en égout.



Illust. 2: Exemple de sonde débrochable (photo Chambéry Métropole)

VÉRIFICATION

- Fréquence à minima : une fois par an
- Il est nécessaire de faire les essais, à la montée puis, à la descente en pression, pour 5 points minimum sur l'étendue de la mesure.
- Effectuer les vérifications in situ au moyen d'un générateur de pression (qui devra lui-même être ré-étalonné une fois par an).
- Prévoir un tuyau souple, étanche à l'air et à l'humidité, facile à fixer sur la sonde.



RÉGLAGE :

Les valeurs sont enregistrées et analysées conformément à la Fiche Technique 2 : Comparaisons de deux valeurs

BIBLIOGRAPHIE

"Mesures en hydrologie urbaine et assainissement", BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., LAPLACE D., JOANNIS C., CHEBBO G., coord. , Éditions Tec&Doc, 808 p., 16 x 24,5, ill., 2000, relié, ISBN : 2-7430-0380-4

CONTACT

Service assainissement – Chambéry Métropole - Tel : 04 79 96 87 21 - Email : sde.collecte@chambery-metropole.fr



Fiche Technique n° 3 : Mesurage de la pluie par des pluviomètres

Le mesurage de la pluie consiste à déterminer la hauteur des précipitations atmosphériques qui ont atteint le sol sur une surface donnée et pendant un intervalle de temps donné. Généralement, les pluviomètres ou pluviographes permettent de mesurer localement la hauteur d'eau totale précipitée au pas de temps journalier et d'accéder à l'intensité des précipitations en fonction de la hauteur d'eau mesurée sur un pas de temps défini par l'utilisateur. La hauteur d'eau est exprimée en mm et peut être également rapportée en unité de surface L/m^2 ou m^3/ha .

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La pluie est interceptée par un récipient de surface connue. La quantité d'eau collectée est ensuite mesurée soit par lecture directe si le récipient est gradué en mm, soit par pesée ou jaugeage. Ces différentes méthodes de mesure conduisent à la distinction de deux grandes familles :

- le pluviomètre dit totalisateur ou journalier, exploité par un opérateur qui effectue une lecture de la pluie cumulée ;
- le pluviomètre dit " pluviographe ", exploité par un automate qui permet de mesurer et d'enregistrer l'évolution dans le temps de la pluie cumulée, soit la mesure de l'intensité des précipitations en mm/h. Deux types de pluviographes sont classiquement utilisés :
 - le pluviographe à augets basculants ;
 - le pluviographe à pesée.

La pluie est collectée par l'intermédiaire d'un cône de réception ou « impluvium ». A travers un orifice calibré, l'eau est recueillie dans un auget. Ce dernier bascule pour une masse d'eau donnée et permet ainsi le remplissage du second auget. Chaque basculement ferme un contact électrique. Les impulsions électriques émises sont horodatées et enregistrées (pas de temps variable). Dans le cas d'un pluviographe à pesée, la masse du récipient et de son contenu est mesurée en continu (pas de temps fixe). Pour une masse d'eau donnée, correspondant à une hauteur d'eau précipitée, une impulsion électrique est émise, horodatée et enregistrée.

Le choix de la surface du cône, de la masse d'eau qui génère un basculement d'auget ou une impulsion permet d'associer une hauteur d'eau à un basculement ou une impulsion, généralement 0,2 ou 0,1 mm.



Illust. 1: Pluviographe à pesée
(système à jauge de contrainte, OTT)



Illust. 2: Pluviographe à augets basculants
(Hydreka PL2)



Illust. 3: Pluviographe à augets basculants
en situation Corbas (69) (Crédit Photo Univ.Lyon 3)

CRITÈRES DE CHOIX

	Avantages	Inconvénients
Pluviomètre totalisateur	- Simplicité	- Trop simple pour des études en hydrologie - Le pas de temps trop longs - Pas d'information sur l'intensité des précipitations
Pluviographe à augets	- Cout relativement faible - Très utilisé - Forme en verre à pied moins sensible aux turbulences	- Obstruction de l'ajutage - Sous-estimation des fortes intensités - Étalonnage complexe - Acquisition des données à pas de temps variable / risques de problème pour l'utilisation des données
Pluviographe à pesée	- Mesure en continu de l'évènement pluvieux - Risque réduit d'obstruction de l'ajutage - Mesure des intensités très élevées - Etalonnage, vérification et réglages relativement simples	- Coût plus important à l'achat - Consommation électrique - Forme cylindrique plus sensible aux turbulences

Conseil : Il est intéressant de disposer de deux pluviomètres par bassin versant. Par exemple un pluviomètre sur site et un sur la STEP

INSTALLATION

Les conditions d'installation d'un pluviomètre ou d'un réseau de pluviomètres sont essentielles afin de garantir la représentativité des pluies mesurées à des échelles spatiotemporelles variables. Les conditions idéales peuvent ne pas être réunies. De plus, dans un milieu densément urbanisé, la variabilité de l'altitude des surfaces soumises au ruissellement est source d'erreur. Les principales recommandations sont :

- horizontalité du sol et du cône ;
- positionné à 1 m du sol ;
- placé sous les vents dominants ;
- éloigné à plus de 4 fois la hauteur d'arbres ou de bâtiments à proximité ;
- facilité d'accès ;
- densité de 1 pluviomètre par km² ;
- discrétisation à un pas de temps de la minute.



*Illust. 4: Exemple d'installation d'un Pluviographe à augets basculants installé au niveau d'un poste de relèvement
(Photo SIARP, Portes les Valence)*

MAINTENANCE

Les actions de maintenance d'un pluviomètre ou d'un pluviographe consistent à réaliser à une fréquence bimensuelle :

- un contrôle du fonctionnement hydraulique du pluviomètre du cône aux tuyaux d'écoulement et d'évacuation (par exemple obstruction, pincement, coudes) ;
- un nettoyage avec précaution du cône et des augets afin d'éviter la rétention des gouttes d'eau sur une surface sale

ETALONNAGE ET VÉRIFICATION

A une échelle annuelle le dispositif de mesure devra faire l'objet d'une vérification d'étalonnage. L'étalonnage préconisé par Météo France comporte deux phases :

- statique : le tarage des augets
- dynamique : l'étalonnage en intensité

La première phase est essentielle pour garantir la fiabilité de la mesure, la seconde est plus lourde à mettre en œuvre en exploitation car elle est difficilement applicable in situ. Il est alors recommandé de recueillir le volume d'eau à la sortie du pluviographe et de le comparer au volume mesuré. Cette vérification est très simple et pratique à utiliser en exploitation. Ce mode opératoire peut servir de protocole d'étalonnage simplifié en vidant lentement un volume d'eau connu dans le cône de réception. Ce protocole simplifié peut également être appliqué avec un pluviomètre à pesée en considérant une masse d'eau et non un volume. Toutefois, pour ce type de pluviomètre, il est recommandé de procéder à une vérification en utilisant des étalons de masse certifiés.

Le protocole d'étalonnage est détaillé dans l'ouvrage « Mesure en hydrologie urbaine et assainissement » p 127-137.

BIBLIOGRAPHIE

"Mesures en hydrologie urbaine et assainissement", BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., LAPLACE D., JOANNIS C., CHEBBO G., coord. , Éditions Tec&Doc, 808 p., 16 x 24,5, ill., 2000, relié, ISBN : 2-7430-0380-4
"Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement", CHOCAT B., EURYDICE 92, Edition Tec & Doc, Lavoisier, Paris, 1997, 1124 p.



Fiche Technique n° 4 : Mesurage de la vitesse d'écoulement par cordes de vitesse

Domaine d'application : préconisé pour des collecteurs de grandes dimensions
(de 1 à 10 m de large)

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

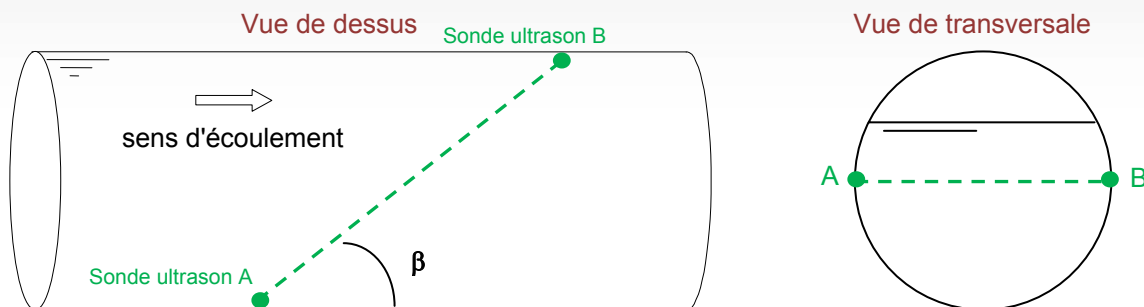


Fig. 1: Principe de mesure de la vitesse d'écoulement par temps de transit des ultrasons sur une corde

Une corde de vitesse est constituée de deux sondes ultrasonores émettrices et réceptrices installées sur les bords opposés du collecteur avec un angle β par rapport à la direction principale de l'écoulement. Elles émettent alternativement l'une vers l'autre. Le signal qui se propage dans l'eau est reçu par la sonde opposée. La différence de temps de transit des ultrasons d'une sonde à l'autre permet de connaître la vitesse moyenne v de l'écoulement sur la ligne fictive (appelée corde) qui relie les deux sondes. L'appareil mesure les vitesses v_i sur plusieurs cordes (typiquement de 2 à 6 cordes réparties verticalement) afin de déterminer, par interpolation, la vitesse moyenne U de l'écoulement à travers la totalité de la section mouillée.

Le recours à des mesures de vitesse sur plusieurs cordes permet de diminuer l'incertitude sur la vitesse moyenne mesurée malgré de fortes variations de la hauteur d'eau (temps sec et temps de pluie). Le choix du nombre de cordes dépend de la forme de l'ouvrage, des particularités amont et aval ainsi que de la précision souhaitée.

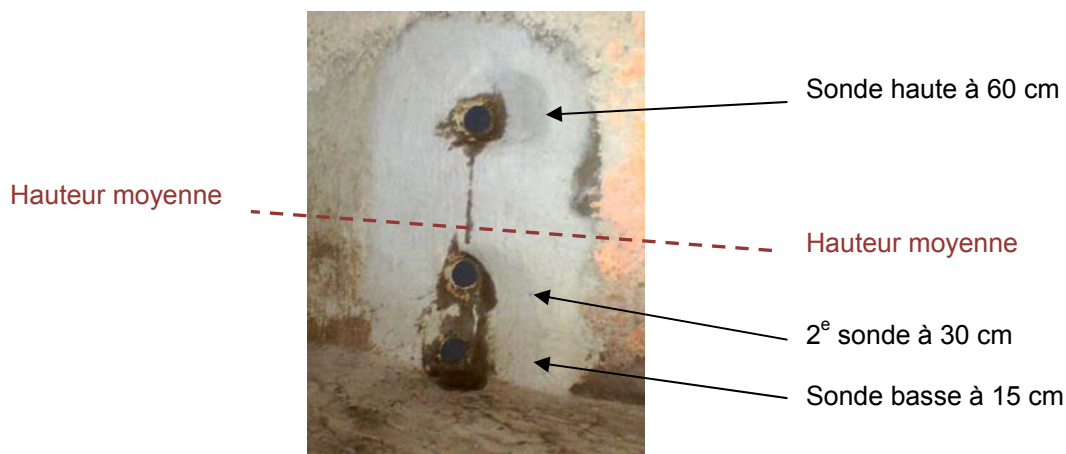
CRITÈRES DE CHOIX

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> - Pas d'étalonnage - Mesure précise sur les cordes - Utilisé pour des collecteurs de grandes dimensions (jusqu'à 10 m de large) - Moins sensible à l'encrassement que les capteurs Doppler - Agrément en zone EX (explosion) 	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux de génie civil importants * - Ne convient pas aux collecteurs de petites dimensions (< 1m) - Installation délicate pour l'alignement des sondes* - Sensible à la présence de bulles dans l'écoulement - Les sondes sont fixes et indémontables*

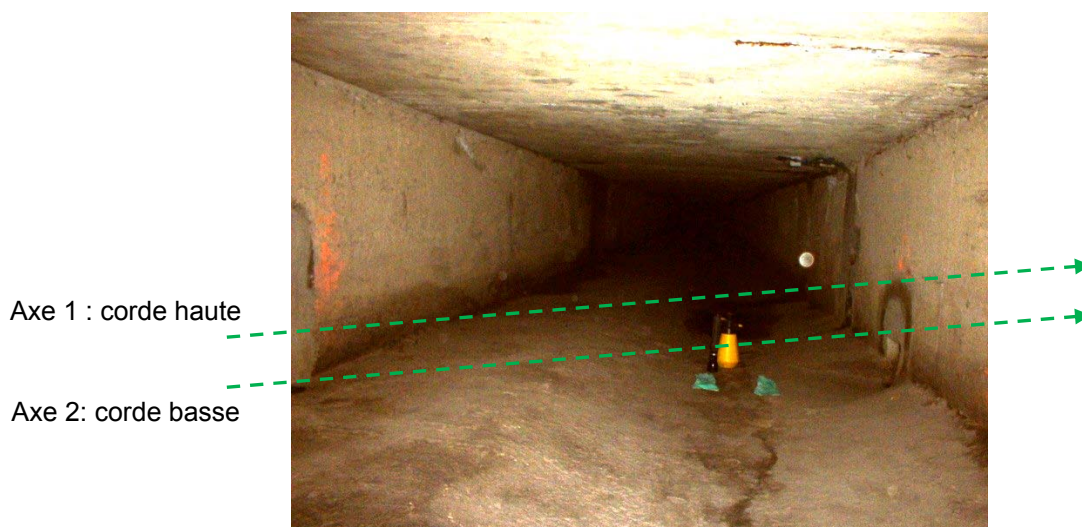
(*) Ce type de matériel peut être monté sur des rails, plus faciles à installer, mais peu de retours d'expériences pour l'instant.

INSTALLATION

- Au préalable, faire une campagne pour choisir le site d'installation le plus adapté et effectuer des mesures de hauteurs d'eau dans le collecteur pour déterminer le nombre de cordes et leurs hauteurs d'implantation appropriées en fonction des fonctions des objectifs visés.
- Éviter les zones de turbulence et les zones de dépôts.
- Sur des collecteurs à débits très variables, on préconise de 3 à 6 cordes, avec un minimum de deux sondes en dessous de la hauteur d'eau la plus fréquente (de l'ordre de 80 %).
- Pour une corde, les 2 sondes doivent être strictement de niveau, dans le même axe et installées selon un angle prescrit par le constructeur. Les cordes doivent être strictement parallèles.
- Mettre la corde basse le plus près possible du radier, mais au dessus d'éventuels dépôts sédimentaires.
- La mise en place doit se faire hors d'eau.



Illustr. 1 – Chambéry Métropole : positionnement de 3 sondes dans un collecteur rectangulaire de 1.2m de haut et 2.5m de large. Hauteurs des sondes : 15, 30 et 60 cm



Illustr. 2– Chambéry Métropole : vue latérale de 2 cordes situées dans un collecteur rectangulaire

MAINTENANCE

Un nettoyage régulier à l'eau à l'aide d'un pinceau (mensuel ou bimestriel) est nécessaire. La fréquence sera adaptée en fonction de l'encrassement des sondes.

VÉRIFICATION

Pour réaliser une vérification, on peut utiliser un courantomètre ou une méthode de traçage chimique lorsque cela est possible.

RÉGLAGE

Les sondes ne nécessitent a priori pas de réglage. Les informations relatives aux collecteurs doivent être saisies sur le boîtier (calculateur et transmetteur).

BIBLIOGRAPHIE

Bertrand-Krajewski J.-L., Laplace D., Joannis C., Chebbo G. (2000). *Mesures en hydrologie urbaine et assainissement*. Paris (France): Éditions Tec&Doc, 808 p. ISBN 2-7430-0380-4.

CONTACT

Service assainissement – Chambéry Métropole - Tel : 04 79 96 87 21 – email : sde.collecte@chambery-metropole.fr



Fiche Technique n° 5 : Mesurage de la vitesse d'écoulement par effet Doppler

Domaine d'application : préconisé pour des hauteurs d'eau inférieures à 1 mètre maximum

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Il existe plusieurs types de capteurs et de technologies utilisant l'effet Doppler, dont la description dépasse le cadre de cette fiche. De manière générale, le capteur comprend deux céramiques ultrasonores : l'une fonctionne en émission et l'autre en réception.

Le principe de mesure consiste à déterminer la vitesse d'écoulement V dans le volume exploré par le capteur à partir du décalage de fréquence entre l'onde émise et l'onde réfléchie : ce décalage de fréquence est l'effet Doppler produit par l'écoulement de l'eau dans le collecteur. La vitesse moyenne U de l'écoulement à travers la section mouillée est ensuite estimée, par diverses techniques, à partir de la vitesse V mesurée par le capteur.

Le capteur émet tout d'abord une onde ultrasonore avec une fréquence connue F . Cette onde est réfléchie par les particules ou les bulles d'air transportées par l'écoulement avec une fréquence différente F' . L'écart $(F-F')$ entre ces deux fréquences est proportionnel à la vitesse de déplacement des particules, qui est considérée comme égale à la vitesse de l'eau.

Le signal réfléchi reçu par la céramique réceptrice est issu de la superposition de l'ensemble des signaux renvoyés par les particules traversant le cône d'émission/réception exploré par le capteur. Différentes techniques de traitement du signal, plus ou moins élaborées selon les constructeurs, permettent de déterminer la vitesse moyenne U de l'écoulement. Certains capteurs fonctionnent différemment et explorent séparément différentes hauteurs ou tranches de l'écoulement.

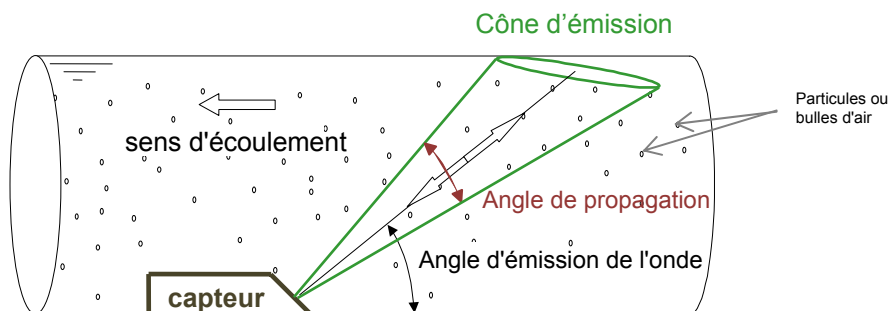


Fig. 1: Principe général de mesurage de la vitesse d'écoulement par effet Doppler

CRITÈRES DE CHOIX

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> - Convient pour des hauteurs d'eau entre 10 cm minimum et 1 m maximum, parfois moins (50 cm) dans certains cas - Peu de génie civil et installation rapide - Prix et grand nombre de fournisseurs avec des technologies et des traitements du signal différents - Non perturbé par les bulles d'air dans l'écoulement - Un même appareil peut mesurer simultanément la vitesse d'écoulement et la hauteur d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> - Risque de recouvrement (graisses, sables, etc.) ou détérioration par les déchets ou objets transportés par l'écoulement - Nécessite un étalonnage avec une autre technique de mesure pour valider la transformation de V en U - Méthode de traitement du signal mise en œuvre par le constructeur souvent non détaillée - Prévoir plusieurs capteurs pour des collecteurs de grandes dimensions

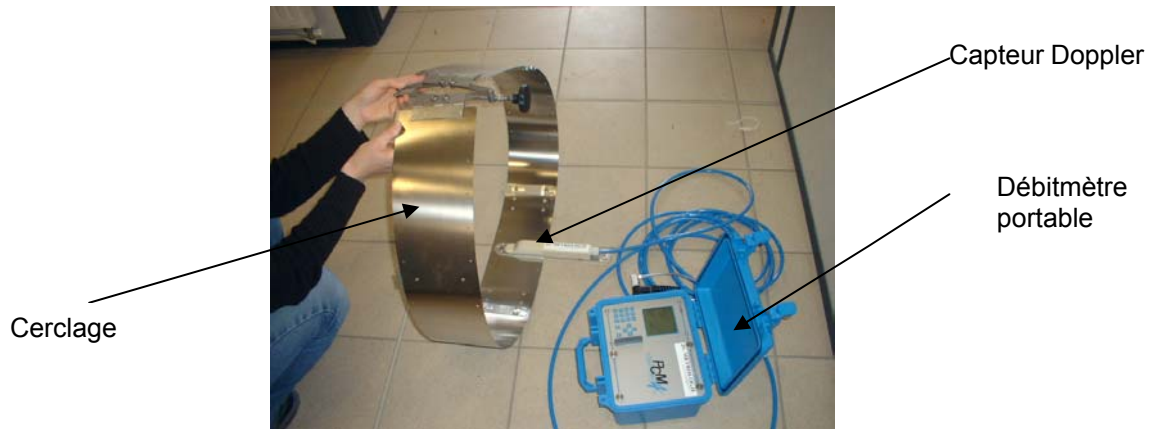
INSTALLATION

Les contraintes d'installation sont peu importantes si l'écoulement peut être détourné pour travailler à sec. Dans le cas contraire, l'installation sous eau est plus laborieuse car il est nécessaire de contrôler la position et l'orientation exactes du capteur.

Pour résoudre ce problème, les fournisseurs proposent des cerclages métalliques préfabriqués pour les sections circulaires inférieures à 1 m de diamètre (cf. *Illust. 1*). On peut également fabriquer un support sur mesure, sur lequel on fixe soigneusement le capteur et ensuite installer l'ensemble dans le collecteur. Des repères sur les parois permettent de garantir la bonne position du support et donc du capteur. Pour

faciliter la maintenance du capteur, il peut être fixé sur un système à charnières permettant de le sortir de l'écoulement.

Le capteur est généralement fixé sur le radier mais peut parfois être décalé sur le côté pour éviter les dépôts (par exemple à environ 20 cm du fond de la cunette). Une correction de la vitesse mesurée est alors parfois nécessaire. Les zones de dépôts permanents sont évidemment à proscrire. Un soin particulier doit être apporté à la fixation et au passage des câbles dans le collecteur pour éviter l'accrochage des déchets, les tractions et les dégradations.



Illust. 1: Exemple de cerclage métallique préfabriqué pour fixation d'un capteur Doppler dans les collecteurs circulaires (Crédit photo Chambéry Métropole)

MAINTENANCE

La maintenance est principalement liée au risque de recouvrement du capteur par des dépôts ou autres déchets. La fréquence du nettoyage est donc liée à la dynamique d'encrassement du lieu d'installation. Le capteur étant proéminent par rapport au radier ou à la cunette du collecteur, il risque également d'être détérioré par exemple lors de l'entretien des collecteurs par les outils de curage. Son emplacement doit donc être repéré de manière visible dans le collecteur (marquage peinture, panneau, etc.).

VÉRIFICATION

Vérification avec un courantomètre électromagnétique

Dans la pratique, il n'y a pas de vérification simple possible de la vitesse mesurée *in situ* par un capteur Doppler. Toutefois, un courantomètre électromagnétique peut permettre d'explorer la section d'écoulement assez rapidement et de calculer une valeur du débit que l'on peut comparer ensuite à celle fournie par le capteur Doppler. Cela permet de détecter des biais éventuels, mais ne constitue pas un étalonnage au sens strict.

Vérification à l'aide d'un traçage

Une possibilité plus précise pour vérifier la vitesse fournie par un capteur Doppler consiste à réaliser un mesurage direct du débit par traçage (traçage au sel ou avec un traceur fluorescent par exemple).

Réétalonnage

Si la vérification est mauvaise, la sonde est expédiée au fournisseur pour étalonnage sur banc d'essai.

REGLAGE

Généralement, il n'y a pas de possibilité de réglage des capteurs Doppler. Par contre, si on dispose de mesurages indépendants de U (par exploration du champ de vitesse ou traçage), il est possible, sur certains appareils ou au niveau du traitement ultérieur des données brutes, de modifier le coefficient qui permet de passer de V à U . Cela implique de toujours conserver un enregistrement séparé de la vitesse mesurée par le capteur Doppler et de ne pas stocker uniquement la valeur du débit Q . Cette recommandation est générale en métrologie et toujours indispensable pour la validation des données.

BIBLIOGRAPHIE

Bertrand-Krajewski J.-L., Laplace D., Joannis C., Chebbo G. (2000). *Mesures en hydrologie urbaine et assainissement*. Paris (France): Éditions Tec&Doc, 808 p. ISBN 2-7430-0380-4.

CONTACTS : Nombreux fournisseurs.



Fiche Technique n° 6 : Préleveur automatique

L'utilisation du préleveur vise à faire une évaluation de la qualité des effluents.

Les préleveurs automatiques peuvent être fixes ou portables. Ils peuvent comporter un ou plusieurs flacons (4 à 24). Les prélèvements peuvent être asservis au débit ou au temps (prélèvements à fréquence fixe).

Dans le contexte de l'autosurveillance, deux stratégies sont possibles :

- soit un suivi systématique (à chaque événement pluvieux) : on travaillera alors plutôt avec un préleveur monoflacon, à déclenchement et fréquence de prélèvements asservis à des données extérieures.
- soit une évaluation de la qualité par campagnes de mesures ponctuelles : on utilisera alors plutôt des préleveurs multi-flacons.

Conseil : si l'on souhaite faire une mesure par jour, week-end compris, on pourra utiliser des préleveurs disposant de 4 gros flacons, (par exemple 4 fois 20 litres) pour faire 4 x 24 heures

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Un préleveur automatique est composé de plusieurs sous-systèmes ayant chacun une fonction spécifique.

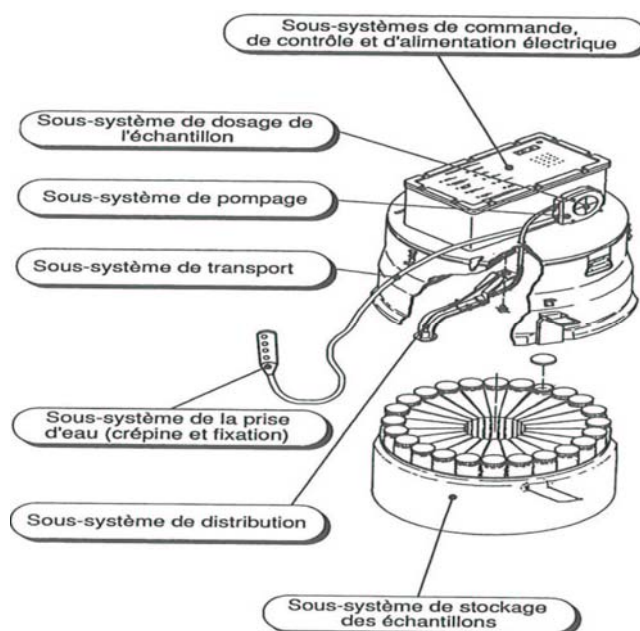


Fig. 1: Les sous-systèmes d'un préleveur portable

(source : "Mesures en hydrologie urbaine et assainissement", Bertrand-Krajewski & al., 2000)

Le but est d'aspirer l'eau à analyser pour remplir un ou plusieurs flacons et mesurer ensuite la qualité de l'eau (analyses n laboratoire) sur un échantillon moyen ou sur les échantillons individuels selon les objectifs visés (valeur moyenne ou pollutogramme). La prise d'eau est effectuée dans le flux d'eau du réseau d'assainissement grâce à un pompage via un tuyau de prélèvement. Chaque volume d'eau prélevé est distribué et conservé dans le ou les flacons selon la stratégie programmée.

PRECAUTIONS DE PRELEVEMENT

Les caractéristiques du matériel doivent répondre à la norme ISO 5667-10 en vigueur. En assainissement, il est préconisé de travailler avec un tuyau de diamètre intérieur supérieur à 12 mm et une vitesse de prélèvement supérieure à 0.6 m/s. De plus, le tuyau de prélèvement doit avoir une pente constante, sans goulots d'étranglement ni courbures prononcées.

Pour une bonne représentativité des échantillons, il faut placer la prise d'eau sans crépine, au milieu et dans le sens de l'écoulement. La prise d'eau peut être constituée d'une canne plastique lestée, lui permettant de se déplacer verticalement avec la hauteur d'eau dans le réseau tout en restant à peu près à mi-hauteur (idéalement à 40 % de la profondeur en partant du radier pour avoir une concentration proche de la concentration moyenne de l'effluent sur la verticale). La prise d'eau ne doit pas être dans les zones de dépôts ou de biofilm, les zones de faible écoulement ou juste à l'amont d'un déversoir. Elle doit être éloignée des parois. Une purge du tuyau avant et après prélèvement est nécessaire.

INSTALLATION ET CRITÈRES DE CHOIX

La température de conservation des échantillons dans le préleveur est importante pour la qualité des résultats des analyses ultérieures.

Dans le cas d'une installation fixe, il est recommandé d'utiliser un préleveur réfrigéré.

Pour les portables, un préleveur portable isotherme est acceptable pour un lieu sans électricité, à l'abri de la chaleur, mais les échantillons devront être rapidement récupérés. Il existe des versions réfrigérées sur batterie ; il faut alors s'assurer que le préleveur passe par le regard et, en cas de risque d'explosivité, une version EX (très coûteuse) devra être envisagée.

Les techniques de pompage et de dosage du volume d'échantillon sont de deux types : par pompe à vide ou par pompe péristaltique.

	Avantages	Inconvénients
Pompe à vide	- bonne reproductibilité des volumes prélevés	- moins efficace en aspiration - 500 mL maximum par échantillon unitaire
Pompe péristaltique	- hauteur d'aspiration importante - pompage d'eaux très chargées - pas de limite de volume unitaire	- volumes un peu moins reproductibles - étalonnage régulier des volumes à effectuer



Illust. 1 : préleveur fixe réfrigéré avec pompe à vide (à gauche, source : documents Dr Lange), préleveur circulaire isotherme avec pompe péristaltique (à droite, source : documents Hydreka)

En fonction des événements étudiés, **le programmeur** doit avoir plusieurs options pour permettre :

- un démarrage reporté dans le temps (horloge), commandé à distance par un opérateur ou, pour les événements pluvieux, grâce à un contact sec lié à une mesure de seuil de pluie, hauteur, débit ou départ de pompe par exemple.
- des prélèvements selon différents modes : i) asservis au temps, ii) proportionnellement au débit (voir fiche prélèvements) ou iii) asservis à une information externe (débitmètre, centrale d'acquisition...).
- plusieurs prélèvements par flacon ou plusieurs flacons par prélèvement pour de grands volumes.

MAINTENANCE - NETTOYAGE

La clé du succès des prélèvements réside dans la définition claire des procédures, tel que le contrôle du fonctionnement et de la propreté des équipements, ainsi que dans la formation du personnel. Les préleveurs automatiques demandent une maintenance assez réduite sur les parties mécaniques (une fois par an : vérification de l'étanchéité, état des bras distributeurs, etc.), au contraire de l'entretien courant qui consiste à nettoyer les flacons après chaque prélèvement et à vérifier régulièrement les autres éléments du préleveur (prise d'eau, tuyau, bol).

VÉRIFICATION ET REGLAGE

Un contrôle garantissant un bon fonctionnement doit être fait au minimum une fois par an, notamment sur :

- la vitesse de prélèvement, l'exactitude et la répétitivité des volumes prélevés ;
- l'horloge interne pour les départs reportés ou l'horodatage (archivage horaire des prélèvements) ;
- la conservation des échantillons (température du préleveur).

BIBLIOGRAPHIE

Bertrand-Krajewski J.-L., Laplace D., Joannis C., Chebbo G. (2000). *Mesures en hydrologie urbaine et assainissement*. Paris (France): Éditions Tec&Doc, 808 p. ISBN 2-7430-0380-4.

Partie 4 : Mesurage des flux polluants, Chapitre 20 : Etudes préalables, choix des sites et des paramètres

Chapitre 21 : Mesurage des polluants par analyses sur prélèvements

CONTACT

OTHU/ GRAIE / INSA LYON LGCIE Eaux Urbaines : info@othu.org



Fiche Technique n°7 :

Mesurage de la vitesse sans contact par radar

Domaine d'application : Préconisé pour des collecteurs en régime torrentiel

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le radar est un système qui utilise les ondes radio pour détecter la présence et déterminer la position ainsi que la vitesse d'objets.

En réseau d'assainissement, pour mesurer la vitesse, un émetteur envoie des ondes radio, qui sont réfléchies par la surface d'écoulement et détectées par un récepteur, souvent situé au même endroit que l'émetteur. La vitesse d'écoulement ou de surface (V) est calculée à partir du décalage de fréquence produit par l'effet Doppler entre l'onde émise et l'onde réfléchie.

Il faut lui coupler un 2ème capteur qui va mesurer la hauteur d'eau (h) et donc la section mouillée (S) pour calculer le débit (Q) selon $Q = V.S$.

Un coefficient correcteur théorique ou calée sur site est appliqué à la vitesse de surface afin de déterminer la vitesse moyenne d'écoulement.

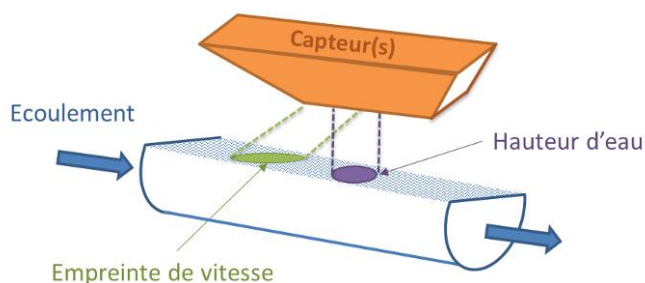


Fig. 1: Principe de mesurage de la vitesse et de la hauteur par radar

Remarques: selon l'appareillage, le mesurage de la hauteur peut être intégré (Système compact) ou non (système modulable avec capteur de hauteur distinct)

CRITERES DE CHOIX

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> - Mesure sans contact avec l'effluent : Entretien réduit - Convient pour toute nature effluent chargé ou clair - Accepte de fortes amplitudes de mesures. - mesure de débit effective à partir d'une hauteur égale à 3 à 5 cm - Installation rapide (définir uniquement le profil de section). Un kit est fréquemment fournis pour sa fixation - Un même appareil peut coupler les mesures de vitesse et de hauteur ou selon le modèle disposer de mesure de hauteur d'eau distincte - Permet de mesurer des vitesses importantes entre 6 et 10 m.s-1 	<ul style="list-style-type: none"> - Cout d'achat important - Encombrant ne convient pas au réseau de petite taille (Φ variable de 40/90 cm selon fournisseur) - Nécessite un écoulement de type torrentiel et une vitesse d'écoulement minimale (0.3 à 0.5 m.s⁻¹) - Ne fonctionne qu'en présence d'irrégularités sur la surface sinon risque effet miroir. - Pas de mesure précise en cas de fonctionnement en charge sauf si couplage à un capteur immergé type doppler afin de mesurer la vitesse moyenne - La représentativité du coefficient de correction entre la vitesse à la surface et la vitesse moyenne de l'écoulement. Nécessite un calage avec une autre mesure

INSTALLATION

Les contraintes d'installation sont peu importantes si l'on se trouve en régime torrentiel, cependant le capteur doit être très précisément positionné et installé

Afin d'éviter les erreurs de mesures dues à un écoulement trop peu irrégulier (effet miroir), l'installation d'un dispositif perturbateur de l'écoulement en amont (chaîne par exemple) est envisageable.

Pour faciliter la maintenance du capteur, celui-ci peut être fixé sur un système de plateau.
A défaut de l'utilisation d'un regard existant approprié (accès au droit du fil d'eau dans une conduite sans modification significative de direction ou de pente), la pose d'un tel dispositif nécessite à minima la création d'un regard 2000x2000 mm et le décalottage partiel de la génératrice supérieure de la canalisation.

La dimension de cette ouverture est fonction de la distance des capteurs par rapport à la voûte du collecteur. Les dimensions de l'ouverture prennent en compte la zone morte des capteurs de hauteur et de vitesse ainsi que la largeur des faisceaux radars et ultrasons afin d'éviter les phénomènes d'échos qui perturbent la mesure.



*Illust. 1: Exemple d'installation en réseau système compact
(Photo OTHU- Site expérimental Ecully)*



*Illust. 2: Exemple d'installation en réseau ville de Mâcon –
système compact (Photo Veolia eau)*



*Illust. 3: Exemple d'installation en réseau Agglomération Villefranche Beaujolais – système modulable
(Photo Agglomération Villefranche)*

MAINTENANCE

La maintenance liée au risque de recouvrement du capteur par des dépôts ou autres déchets est réduite vu la localisation du capteur. La fréquence du nettoyage est donc peu importante.

Cependant le capteur étant proéminent par rapport à la voûte s'il est installé dans le collecteur, il risque également d'être détérioré par exemple lors de l'entretien des collecteurs par les outils de curage.

VERIFICATION : Sur banc d'étalonnage

REGLAGE : Du fait de la difficile vérification de la sonde de vitesse, le réglage est éventuellement possible si la valeur exacte de la vitesse est connue (par technique de traçage au sel ou avec traceur fluorescent en réseau).

Il est également possible de réaliser une vérification locale à l'aide d'un courantmètre.

L'objectif de ces vérifications est de caler le coefficient correctif sur la mesure de vitesse de surface permettant d'obtenir la vitesse moyenne d'écoulement.

CONTACTS – RETOURS D'EXPERIENCES

OTHU – Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine – info@othu.org
Agglomération Villefranche Beaujolais - G.LORINI@agglomeration-villefranche.fr



Fiche Technique n°8 :

Mesurage d'un débit en conduite pleine par un débitmètre électromagnétique

*Domaine d'application : Préconisé pour les installations en charge permanente
(Exple : siphons, postes de refoulement et relèvement)*

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La loi d'induction de Faraday établit que le déplacement d'un conducteur dans un champ électromagnétique génère une tension. Dans le cas du débitmètre électromagnétique c'est le fluide en mouvement qui représente le déplacement du conducteur.

Le champ électromagnétique constant est généré par 2 bobines, une de chaque côté du tube de mesure. Deux électrodes de mesure sont montées à l'intérieur du tube, à 90° par rapport aux bobines, pour mesurer la tension générée par le déplacement du fluide dans le champ électromagnétique.

La tension est proportionnelle à la vitesse du fluide, cette vitesse qui permet donc de calculer le débit volumique.

Dans le cas d'une conduite pleine, sans présence d'air, le débit est égale $Q = SV$, S c'est la section de conduite et V vitesse est mesuré par le champ électromagnétique.

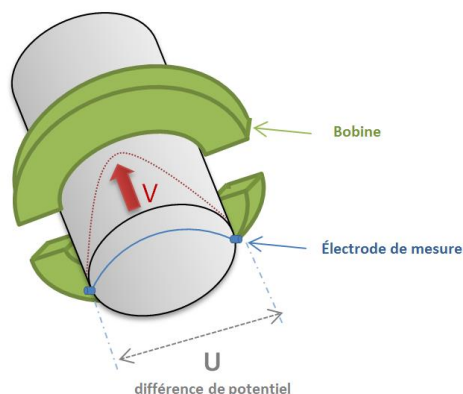


Fig. 1: Principe de mesurage du débit par un débitmètre électromagnétique

CRITERES DE CHOIX

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> - Aucun entretien - Pas de pertes de charges - Mesure sur tous diamètres - Peut mesurer des fluides très chargés - Certains modèles permettent le suivi de la conductivité et de la température - Bonne précision de la mesure - Certaines technologies permettent de mesurer des débits très faibles 	<ul style="list-style-type: none"> - Risque de recouvrement ou détérioration par les déchets - Sensible aux bulles d'air - Contraintes d'installation, nécessite parfois la construction d'une chambre de mesure donc du génie civil important - Coût d'achat important pour des collecteurs de grand diamètre

Conseils Pratiques :

En réseaux d'assainissement, il est préférable d'employer des électrodes capacitives, ce qui évite tout problème d'encrassement. Colmatage et condensation sont sources d'incertitudes de mesure.

Une bonne mise à la terre du fluide est indispensable à la qualité de la mesure, afin d'éviter les courants parasites.

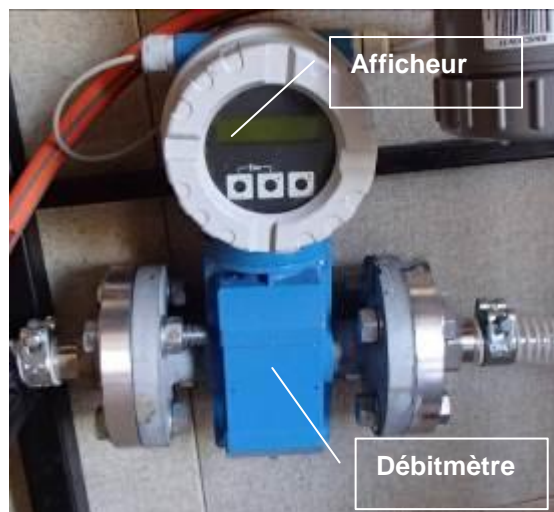
INSTALLATION

Bien choisir son débitmètre en fonction de la gamme à mesurer.

Le Choix de l'emplacement est très important, afin d'éviter les coups de bélier, la présence d'air et de bien respecter les longueurs droite amont /aval débitmètre préconisées par la norme (10 D amont (D=Diamètres du réseau) et 5 D aval) ou par les fournisseurs. Pour information, il existe des modèles ne nécessitant pas de longueurs droites : installation de manchettes à contractions rectangulaires.



Illust. 1: Exemple d'installation en réseau (Photo Chambéry métropole)



Illust 2 : Exemple d'installation sur petite canalisation (Bungalow prototype OTHU Villeurbanne)

MAINTENANCE

Le débitmètre électromagnétique ne nécessite quasiment aucun entretien. Le nettoyage des électrodes standards peut être effectué soit à l'aide de dispositifs intégrés (Ultrasons), soit par démontage sans dépose du capteur.

La maintenance est liée au risque d'encrassement des électrodes (risque peu élevé). Une maintenance curative est alors mise en place afin de nettoyer les électrodes.

VERIFICATION

La seule vérification possible est de mettre le débitmètre électromagnétique sur banc afin de faire valider sa mesure. Il est préconisé une vérification tous les 5 ans.

Une méthode alternative à l'étalonnage consiste à la vérification sur site des débitmètres et de la section de mesure par le constructeur ou un organisme habilité. Cette vérification conduit à l'établissement d'une attestation ou d'un certificat de vérification au sein desquels figureront les résultats des mesures effectuées et une conclusion sur la conformité de fonctionnement du débitmètre vis-à-vis des données d'origine de l'appareil. Fréquence préconisée par l'agence de l'eau RMC tous les 7 ans. Etalonnage sur banc tous les 9 ans si la méthode précédente n'est pas retenue.

REGLAGE

Ces débitmètres ne nécessitent pas de réglages particuliers, seuls des informations pour la transmission sont nécessaires.

CONTACT

Veolia EAU – Théo MALZIEU - theo.malzieu@veolia.com

OTHU – Observatoire de terrain en Hydrologie Urbaine Lyon – info@othu.org



Fiche Technique n°8b : Mesurage d'un débit en conduite non pleine par un débitmètre électromagnétique

Domaine d'application : Préconisé pour la mesure de débit dans un écoulement à surface libre

LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Le principe de mesure identique à celui des débitmètres électromagnétiques en conduite pleine FT 8. Cependant, dans le cas d'une conduite non pleine (présence d'air dans la conduite), il est nécessaire de disposer d'une donnée de hauteur permettant ainsi de déterminer la surface mouillée. En combinant cette surface mouillée avec une mesure de vitesse, il est alors possible de déterminer un débit.

Selon les fabricants, la donnée de hauteur provient d'une mesure réelle (capacitive) ou d'une estimation à partir de la répartition des électrodes sollicitées ou non sur la pleine section de mesure.

Une hauteur d'eau minimale et une vitesse de circulation minimum sont nécessaires. Elles varient sensiblement d'un constructeur et d'un matériel à l'autre tout comme la garantie d'une bonne précision de mesure. Généralement, en dessous de 10 % de remplissage de la manchette, la mesure de vitesse ne s'effectue pas.

CRITERES DE CHOIX

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> - Mesure sur conduite non pleine - Aucun entretien – maintenance simple - Peut mesurer des fluides très chargés - Certains modèles permettent le suivi de la conductivité et de la température - Bonne précision 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de mesure de vitesse en dessous de 10% de remplissage - Contraintes d'installation, nécessite parfois la construction d'une chambre de mesure donc du génie civil important - Performances dégradées en cas de changements fréquents de régime de charge - Cout d'achat important

Conseils Pratiques :

Une bonne mise à la terre du fluide est indispensable à la qualité de la mesure, afin d'éviter les courants parasites.
Colmatage et condensation sont sources d'incertitudes de mesure.

Remarques : ce type de matériel peut également être utilisé dans la mesure de débit de rejets industriels au réseau d'assainissement en effet sa faible maintenance augmente la sécurité des personnels techniques face à ces effluents.

INSTALLATION

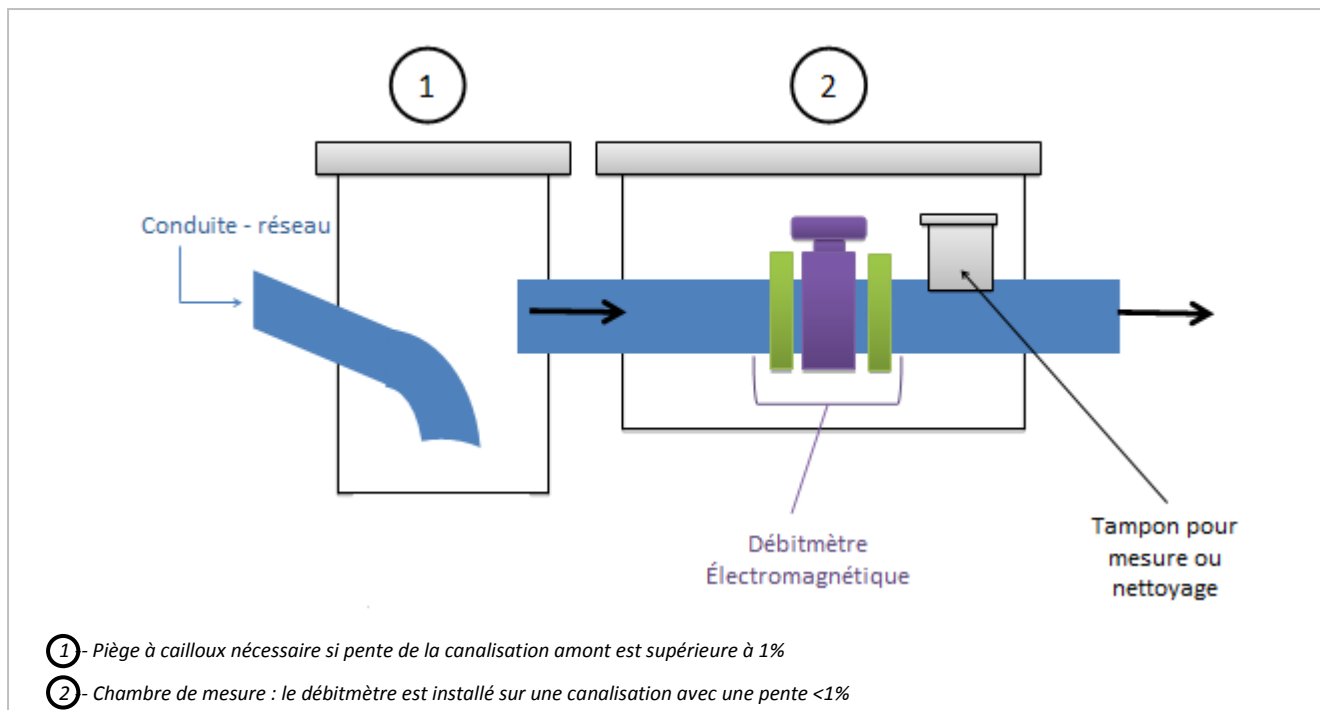
L'installation est plus complexe qu'un débitmètre sur section pleine car il faut que l'écoulement soit tranquilisé, le réseau peu pentu ($\leq 1\%$) et il faut respecter des longueurs droites amont/aval (ne doit pas être inférieure à 10 D amont (D=Diamètres du réseau) et 5 D aval).

Si la hauteur d'eau minimale observée sur site est trop faible ou le diamètre de la canalisation sur laquelle doit être installé le débitmètre est trop important pour obtenir notamment les conditions de vitesses mesurables, il faut choisir un débitmètre de diamètre nominal plus petit et utiliser des cônes de réduction.

Toutefois en réseau unitaire il n'est pas conseillé de réduire la section d'écoulement afin de maintenir la capacité de transport par temps de pluie.

Il est fréquemment recommandé d'aménager la chambre de mesures avec des regards de visite, des vannes ou des tampons permettant de réaliser facilement les opérations d'exploitation de ces ouvrages :

- vanne murale en amont pour isoler le point de comptage avec aménagement éventuel d'un by-pass vers l'aval ;
- regard avec piège à cailloux qui permet de l'aspiration des déchets de la surface avec un camion autocureur ;
- tampon de contrôle de la hauteur ou de nettoyage a l'aval immédiat de la manchette



Illust. 1: Exemple de Chambre de mesure Type



Illust. 2 Exemple d'installation dans une chambre de comptage – Romans-sur-Isère

MAINTENANCE

La maintenance est principalement liée au risque d'encrassement du lieu d'installation.

Afin d'anticiper la maintenance ou de caractériser les conditions d'encrassement u site, il est intéressant de suivre en supervision les dérives des minimums nocturne de hauteur 'eau et de vitesse d'écoulement.

VERIFICATION

La hauteur d'eau mesurée par le débitmètre électromagnétique pourrait être comparée à une mesure de niveau par une sonde ultrasons au niveau du tampon de contrôle ou de nettoyage.

Comme toutes autres sondes de vitesse, il est impossible de simuler des vitesses lors de l'étalonnage. La vérification ne peut se faire que par comparaison avec des mesures directes de vitesse de l'écoulement. Il est conseillé de réaliser un étalonnage local au courantomètre ou par technique de traçage.

Une méthode alternative à l'étalonnage consiste à la vérification sur site des débitmètres et de la section de mesure par le constructeur ou l'organisme habilité. Cette vérification conduit à l'établissement d'une attestation ou d'un certificat de vérification au sein desquels figureront les résultats des mesures effectuées et une conclusion sur la conformité de fonctionnement du débitmètre vis-à-vis des données d'origine de l'appareil. Fréquence préconisée tous les 7 ans. Etalonnage sur banc tous les 9 ans si la méthode précédente n'est pas retenue.

REGLAGE

Ces débitmètres ne nécessitent pas de réglages particuliers, seuls des informations pour la transmission sont nécessaires.

CONTACT

Veolia EAU – Théo MALZIEU - theo.malzieu@veolia.com

Références bibliographiques

Sites internet

- <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/>
Portail d'information du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie consacré à l'assainissement communal
- <http://www.graie.org> - Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau
Documents de référence et documents produits par le groupe de travail régional
- <http://www.othu.org> – Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine sur l'agglomération Lyonnaise.
Laboratoire hors murs d'observation des rejets urbains et de leurs impacts sur les milieux récepteurs - notamment par temps de pluie - pour proposer de nouvelles solutions de conception et de gestion de l'assainissement.
- <http://www.turbidite-assainissement-cil.fr>
Mesure de la turbidité dans les réseaux d'assainissement : méthodes, exemples et outils
- http://www.eau-loire-bretagne.fr/collectivites/espace_informations
Club métrologie et journées d'informations autosurveillance Agence de l'eau Loire Bretagne
- <http://www.eaurmc.fr>
Site de l'Agence de l'eau RMC avec notamment un panorama de l'assainissement dans les bassins Rhône-Méditerranée et Corse, et de nombreux guides et synthèses à l'attention des collectivités.

Guides et documents de références

- **"Mesures en hydrologie urbaine et assainissement"**
BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., LAPLACE D., JOANNIS C., CHEBBO G., coord. , Éditions Tec&Doc, 808 p., 16 x 24,5, ill., 2000, relié, ISBN : 2-7430-0380-4, 125€
- **"La ville et son assainissement - Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau"** - MEDAD - CERTU, cédérom, 2003. Téléchargeable : http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/Ville_assainissement_so.pdf
- **"Guide technique sur le fonctionnement des déversoirs d'orage"**, ENGEES, Veolia, FNDAE, 218 pp., 2005, <http://www-engees.u-strasbg.fr/index.php?id=714>
- **"Dictionnaire pratique de la métrologie : Mesure, essai et calculs d'incertitudes"**, Christophe BINDI, Afnor, 380 p., janvier 2006, ISBN : 2124607227, 49 €
- **"Validation de résultats de mesure pour l'autosurveillance des réseaux d'assainissement - méthodologie et exemples"**, LCPC, Agence de l'eau Loire Bretagne, 112 p., Mars 2003, Réf. AELBN2254.
- **"Manuel d'autosurveillance type et le bilan annuel type, réalisés pour les agglomérations d'assainissement > 2000 EH"** proposé par le MEDDLT - <http://www.assainissement.developpement-durable.gouv.fr/doctype.php>
- **"Capteurs en eau trouble"** - Film sur le mesurage de la turbidité en réseau d'assainissement. (production LCPC 2010, réalisation Jean-François RINGOT) disponible en téléchargement sur <http://www.turbidite-assainissement-cil.fr>
- **Synthèse de l'étude "Optimisation des stratégies d'échantillonnage des eaux résiduaires industrielles et urbaines"** Agence de l'eau RM&C et INSA Lyon (2010) -<http://www.eaurmc.fr/espace-dinformation/guides-acteurs-de-leau/mesurer-la-pollution-de-leau-et-des-milieux-aquatiques.html>

Publications scientifiques et techniques

- **"Autosurveillance des systèmes d'assainissement: un pas vers une gestion active des réseaux d'assainissement"**, Tisserand B., Joannis C., Maugendre J.-P. , TSM, 2000, 6, 154-165. (ed. ASTEE)
- **"Autosurveillance en réseau d'assainissement"**, La Houille Blanche, mai 2001 (ed. SHF)
- **Dossier sur la métrologie en réseau d'assainissement**, Groupe de travail Métrologie en réseaux d'assainissement, TSM, février 2001, 18-104 pp. (ed. ASTEE)
- **Article sur l'enquête sur les caractéristiques des branchements domestiques de quelques villes françaises**, C.JOANNIS, B. POYCHICOT, Y. LE GAT, P. LABBE et P. CHANTRE, réalisée dans le cadre du programme RERAU , TSM, novembre 2001, 39-45 pp. (ed. ASTEE)
- **Dossier "Vers une mesure en continu fiable et opérationnelle"**, Groupe de travail ASTEE "Mesures en continu", TSM, décembre 2001, 68-102 pp. (ed. ASTEE)
- **"La mise en oeuvre de l'autosurveillance des réseaux d'assainissement: difficultés et méthode"**, Malrieu J., Environnement et Technique, 2002, 214, 44-48.
- **"Mesurage de la turbidité sur échantillons : application aux eaux résiduaires urbaines."** Ruban G., Joannis C., Gromaire M.-C., Bertrand-Krajewski J.-L., Chebbo G. (2008). TSM, 4, 61-74. (ed. ASTEE)

- **Dossier "Mesure en continu de la turbidité en réseaux d'assainissement"**, TSM N°1/2, février 2010, 19-86 pp. (ed. ASTEE)
- **"Validation et critique des résultats de mesure en hydrologie urbaine."** Bertrand-Krajewski J.-L., Joannis C. (2009). La Houille Blanche, 3, 60-67.
- **"Incertitudes sur un mesurande défini comme une valeur intégrée d'un signal continu discrétisé en fonction du temps - Application aux mesures hydrologiques enregistrées in situ."** Joannis C., Bertrand-Krajewski J.-L. (2009). La Houille Blanche, 3, 82-91. ISSN 0018-6368.
- **"Mise en œuvre de capteurs de turbidité en collecteurs d'assainissement."** Joannis C., Ruban G., Aumond M., Bertrand-Krajewski J.-L., Battaglia P., Lacour C., Saad M., Chebbo G. (2009). TSM – Techniques Sciences Méthodes, 1/2, 21-31.
- **"Comment utiliser la turbidité pour estimer en continu les concentrations en MES et/ou DCO ?"** J.-L. Bertrand-Krajewski, Joannis C., Chebbo G., Ruban G., Métadier M., Lacour C. (2010). TSM – Techniques Sciences Méthodes, 1/2, 36-46.
- **"Traitement de séries chronologiques de turbidité continues à court pas de temps pour l'estimation des masses de MES et de DCO rejetées en milieu urbain par temps de pluie."** Métadier M., Bertrand-Krajewski J.-L. (2010). La Houille Blanche, 2, 77-85.
- **"Vérification des mesures de débit en réseau d'assainissement par traçage à la Rhodamine WT."** Lepot M., Lipeme Kouyi G., Bertrand-Krajewski J.-L. (2011). La Houille Blanche, 4, 43-48. doi:10.1051/lhb/2011045.
- **"Autosurveillance des réseaux d'assainissement : fiabiliser la métrologie, les données et leur exploitation."** Bertrand-Krajewski J.-L. (2013). EIN - L'eau, l'industrie, les nuisances, n° 362, mai 2013, 84-89.
- **Communications dans le cadre de colloques et conférences sur la thématique**
- **"Autosurveillance, diagnostic permanent et modélisation des flux polluants en réseaux d'assainissement urbain"** Colloque SHF ASTEE GRAIE -MARNE LA VALLEE, 28 et 29 juin 2005. - Actes du colloque 264 pp. (Ed. SHF)
- **"Autosurveillance et mesures en réseau d'assainissement"** Colloque SHF GRAIE -LYON, 5 et 6 décembre 2000. Actes du colloque 262 pp. (Ed. SHF)
- **"Mesurages en continu des flux polluants particuliers en réseaux d'assainissement urbains : enjeux, méthodes, exemple d'application."** Bertrand-Krajewski J.-L., Barraud S., Lipeme Kouyi G., Torres A., Lepot M., Actes de la conférence SHF "Transports solides et gestion des sédiments en milieux naturels et urbains", Lyon, France, 28-29 novembre 2007, 5-16. ISBN 2-906831-71-9. (Ed. SHF)
- **"Traitement de séries chronologiques de turbidité continues à court pas de temps pour l'estimation des masses de MES et de DCO rejetées en milieu urbain par temps de pluie."** Métadier M., Bertrand-Krajewski J.-L. (2009). Actes des 27èmes Rencontres Universitaires de Génie Civil, AUGC, Saint-Malo, France, 3-5 juin, article AUGC2009 01/16, 15 p.
- **"Turbidimétrie en réseaux d'assainissement"**, (2010) Journée SHF-Astee, Marne La Vallée, 9 mars 2010. Interventions valorisées au sein du dossier spécial "Mesure en continu de la turbidité en réseaux d'assainissement", TSM N°1/2, février 2010, 19-86 pp. (ed. ASTEE)
- **"Comparaison de différents capteurs pour l'estimation des concentrations en MES, DCO brutes et filtrées en réseau d'assainissement."** (2013). Lepot M., Aubin J.-B., Bertrand-Krajewski J.-L. Actes des 31èmes Rencontres Universitaires de Génie Civil, AUGC, Cachan, France, 29-31 mai, 10 p.
- **"Vérification des mesures de débits en réseau d'assainissement par traçage à la Rhodamine WT."** (2013). Lepot M., Lipeme Kouyi G., Bertrand-Krajewski J.-L. Actes des 31èmes Rencontres Universitaires de Génie Civil, AUGC, Cachan, France, 29-31 mai, 12 p.
- **"Les micropolluants dans les eaux pluviales : méthodologie expérimentale, incertitudes et étude de cas."** (2013). Bertrand-Krajewski J.-L., Sandoval S. Actes de la 5^e conférence régionale GRAIE " Gestion des rejets d'eaux usées non domestiques au réseau d'assainissement ", Villeurbanne, France, 14 novembre 2013. [LIEN](#)