

8^{EME} JOURNEE D'ECHANGES REGIONALE

Autosurveillance des réseaux d'assainissement

Retours d'expérience

Réglementation – Chaîne de production des Données

OUTILS ET RECOMMANDATIONS

PRODUITS PAR LE GROUPE DE TRAVAIL REGIONAL



Judi 21 mars 2013 de 9h30 à 17h00

Amphithéâtre 1 – IUT Lyon 1 - Campus de la Doua
VILLEURBANNE (69)

L'animation régionale est soutenue notamment sur cette thématique par :



GRANDLYON

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

Domaine scientifique de la Doua – 66, bd Niels Bohr
BP 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	15
Fiches Méthodologiques et Techniques	51
F0 : Terminologie	53
F1 : Validation du dispositif de mesure	55
F2 : Comparaison de 2 valeurs	57
F3 : Calcul d'incertitude de débit dans un collecteur non circulaire	59
F4 : Principales références réglementaires	67
F5 : Calcul des masses de polluants	69
F6 : Calcul du débit à partir de la hauteur d'eau	73
F7 : Vérification du débit et de la vitesse par la méthode de traçage	77
F8: Mesurage du débit transité ou déversé sur les postes de relèvement/refoulement	83
F9 : Mesurage des flux polluants de MES et de DCO par turbidimétrie	87
F10: Valorisation des données d'autosurveillance pour la gestion patrimoniale (2012)	89
F11 : Acquisition et transmission des mesures en réseaux d'assainissement (2012)	91
FT1 : Mesurage de la hauteur par capteur Ultrason	95
FT2 : Mesurage de la hauteur par capteur piézorésistif	99
FT3 : Mesurage de la pluie par des pluviomètres	101
FT4 : Mesurage de la vitesse par Corde de vitesse	103
FT5 : Mesurage de la vitesse par effet Doppler	105
FT6 : Préleveur automatique	107
Références bibliographiques	109

AU VERSO

**Programme
Supports d'interventions**



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 2012 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 et méthodologiques sur le thème du **suivi de la qualité des effluents et de ses objectifs**, ainsi que sur le **mesurage de la vitesse et de la hauteur sans contact par radar**.

Le groupe a recueilli plusieurs exemples de Cahiers des charges concernant la Modélisation et la Supervision des réseaux d'assainissement et seront prochainement mis en ligne à titre d'exemple.

Pour l'année 2013, 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'auto surveillance
- 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.

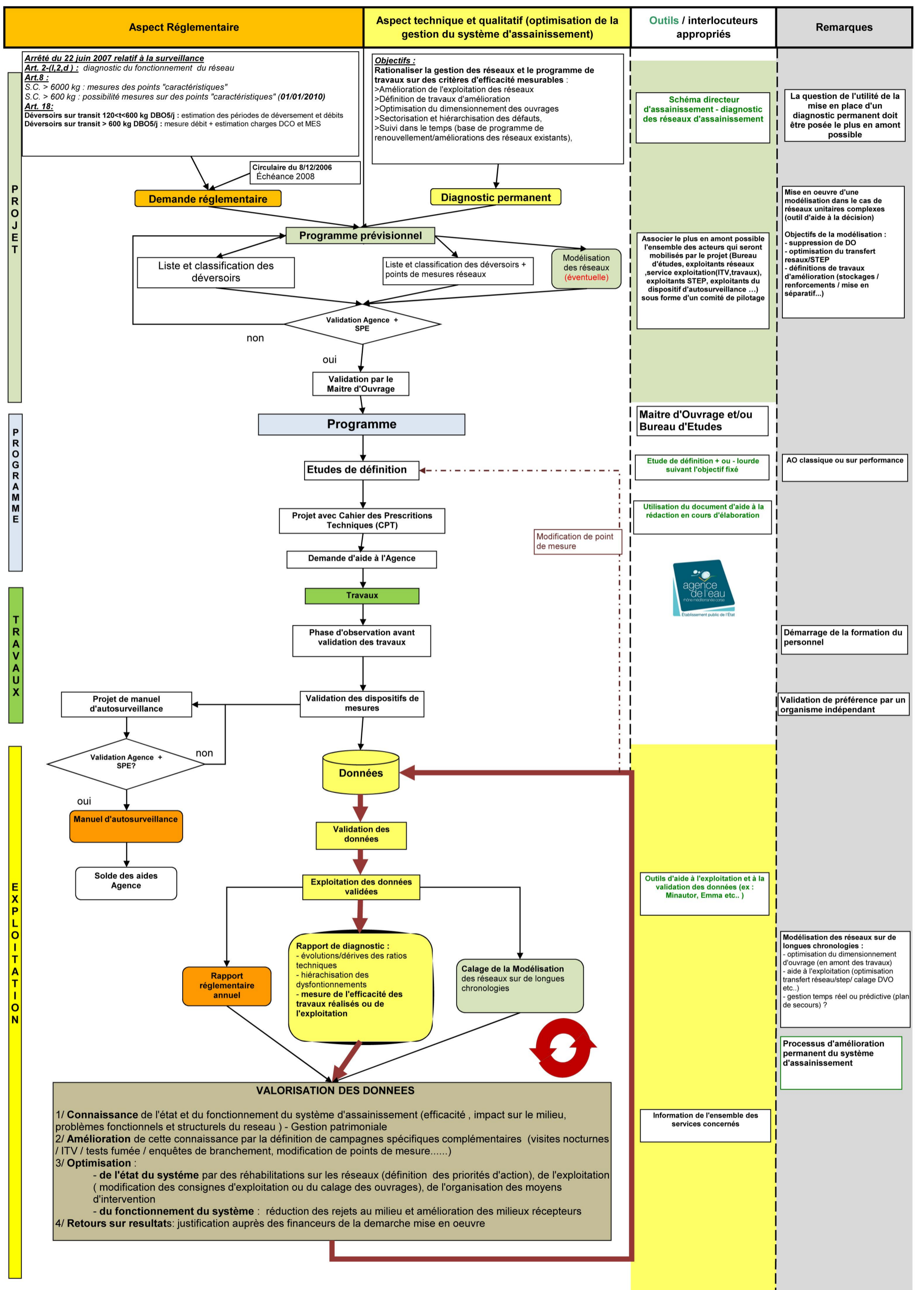
Mes objectifs sont alors de rationaliser la gestion des réseaux et les investissements sur des critères d'efficacité mesurables :

- 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*



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

1.2 Etat et connaissance des lieux

L'Entreprise est réputée s'être rendue compte sur les sites de l'importance et de la nature des travaux à effectuer, et de toutes les difficultés d'exécution liées notamment aux ouvrages existants, à l'exiguïté des lieux, à la disponibilité des fourreaux et chemins de câbles actuels, à l'obligation d'assurer la continuité du service pendant les travaux, à la nature du terrain.

Visites préalables des sites à équiper indispensables.

1.3 Connaissance du Dossier de Consultation

L'Entreprise est réputée avoir pris connaissance de l'ensemble des pièces du Dossier de Consultation. Elle ne pourra se prévaloir ultérieurement d'une connaissance insuffisante de son contenu.

L'Entreprise est tenue de prévoir, dans ses dépenses, tout ce qui doit normalement entrer dans le prix d'une réalisation au forfait pour l'ensemble des travaux et prestations qui la concernent, afin d'assurer un achèvement complet des travaux dans les règles de l'art.

La disposition est fonction du maître ouvrage

1.4 Dispositions générales pour le chantier

1.4.1 Planning des travaux

Afin d'optimiser les délais d'exécution, les travaux pourront se faire sur plusieurs sites simultanément.

Optimisation intéressante à condition de bien planifier les interventions de chacun : peut nécessiter une capacité de suivi importante

Prendre en compte les délais nécessaires pour la coordination entre les différents gestionnaires de réseaux (électricité, téléphone, voirie, ...)

1.4.2 Alimentation en énergie électrique pendant le chantier

1.4.3 Fonctionnement des installations existantes pendant le chantier

Il n'est pas prévu d'arrêter le fonctionnement des réseaux d'assainissement pendant la période du chantier. L'Entrepreneur prendra ses dispositions en conséquences afin de garantir un acheminement vers la station d'épuration de la totalité des eaux collectées pendant toute la période de travaux.

Disposition pour laquelle il convient d'impliquer fortement l'Exploitant des réseaux. Prestation difficile à évaluer a priori et à rendre forfaitaire

Pendant les interventions sur les collecteurs (sciage, soudure, percement pour les prises en charges, etc.) l'Entrepreneur mettra en place les procédures et les équipements nécessaires garantissant la continuité de service du collecteur considéré (isolement, stockage provisoire, pompage, dérivation des effluents, by-pass, etc.). Tous ces travaux sont à la charge de l'Entreprise. Avant toute opération sur un collecteur, la procédure décrivant le déroulement des travaux et plus particulièrement les mesures destinées à garantir la continuité du service sera rédigée par l'entrepreneur et validée par le Maître d'Oeuvre et l'Exploitant (Service des Eaux de XXX).

Une formation du personnel de l'entreprise aux interventions dans les réseaux d'assainissement peut s'avérer nécessaire

Accompagnement par le personnel d'exploitation indispensable

Dans tous les cas, la continuité du service devra être garantie, même en cas de défaut électrique. Aucun rejet d'effluent dans le milieu naturel ne sera toléré. Dans le cas où XXX se verrait poursuivie

pour de tels faits liés à l'intervention de l'Entrepreneur, les frais tels d'amende, remise en état, ... seraient intégralement à la charge de l'Entrepreneur.

Les plannings particuliers d'intervention à établir par l'Entreprise, lors de la période de préparation, devront notamment faire état des délais prévisibles de perturbations (intervention sur les collecteurs). Ces plannings seront mis à jour régulièrement, au minimum une fois par quinzaine, en fonction des besoins, et en concertation avec le Maître d'Oeuvre et l'Exploitant.

Dans tous les cas, chaque intervention sur les ouvrages devant donner lieu à une perturbation devra être programmée au minimum dans un délai de 15 jours avant son exécution, et sera toujours discutée et soumise à l'approbation préalable du Maître d'Oeuvre et de l'Exploitant. L'Entreprise devra alors préciser la nature de la perturbation (arrêt total ou partiel), sa durée prévisionnelle, les dispositions proposées pour en limiter l'importance, et selon les cas préciser les entreprises (co-traitantes, sous-traitantes, etc.) appelées à intervenir dans ce cadre. L'Entreprise s'engage par ailleurs à limiter la durée des perturbations aux durées prévisionnelles acceptées par le Maître d'Oeuvre et l'Exploitant.

Le cas échéant, le Maître d'Oeuvre pourra imposer à l'Entrepreneur toutes les dispositions complémentaires s'avérant indispensables pour le respect de ses engagements en la matière, sans que celui-ci puisse pour autant prétendre à une quelconque remise en cause de son forfait initial de rémunération.

1.4.4 Vérifications pendant le chantier

Disposition non spécifique à ce type d'opération

1.4.5 Protection des ouvrages

Disposition non spécifique à ce type d'opération

1.4.6 Gestion des déchets de chantier

Disposition non spécifique à ce type d'opération

2- Article 2

Consistance des travaux

Le programme des travaux est défini par le Projet, pièce n° 4 du présent Dossier de Consultation des Entreprises et ses annexes.

Solutions techniques à définir au préalable permettant de concerter l'ensemble des acteurs techniques, administratifs et financiers (maître d'ouvrage, exploitant, maître d'œuvre, police de l'eau, agence de l'eau, etc.)

Le projet pourra être établi en s'inspirant des fiches techniques du groupe de travail du GRAIE.

3- Article 3

Mode d'exécution des travaux

Qualité des matériaux et matériels

3.1 Domaine d'application

Les présentes modalités d'exécution s'appliquent aux pièces techniques du marché, soit :

- les textes législatifs et réglementaires relatifs aux travaux d'électrification, et plus particulièrement :
 - l'arrêté ministériel du 13 février 1970 (J.O. du 05/03/1970),
 - le décret n° 88-1056 du 14 novembre 1988, relatif à la protection des travailleurs,
- le Cahier des Clauses Techniques Générales, et en particulier aux fascicules suivants, sans que la liste soit exhaustive :
 - n° 2 : terrassements,
 - n° 3 : fourniture de liants hydrauliques,
 - n° 4 : aciers pour béton armé,
 - n° 61 : actions climatiques,
 - n° 62 : conception et calcul des ouvrages en béton armé (BAEL - 91),
 - n° 64 : maçonnerie d'ouvrages de génie-civil,
 - n° 65 : exécution des ouvrages de génie-civil en béton armé et précontraint,
 - n° 70 : assainissement,
 - n° 73 : équipements hydrauliques, mécaniques et électriques des stations de pompage,
 - n° 74 : construction en béton armé de réservoirs et châteaux d'eau,
 - n° 81 : équipements hydrauliques, mécaniques et électrique des stations de pompage.

Veiller à la mise à jour des textes réglementaires

Mise à jour à janvier 2007

- les normes et prescriptions de l'Union Technique de l'Electricité (U.T.E.) relatives aux installations, et en

Mise à jour à janvier 2007

particulier :

- NFC 15.100 : installations électriques à Basse Tension
 - NFC 15.103 : choix des matériels électriques en fonction des influences externes,
 - Guide NFC 15.105 : détermination des sections des conducteurs et des dispositifs de protection,
 - NFC 15.531 : protection contre les surtensions d'origine atmosphérique – installations de parafoudre,
 - NFC 17.100 : protections contre la foudre, installations de paratonnerre,
 - NFC 17.300 : conditions d'utilisation des diélectriques liquides,
 - NFC 20.010 : symbole de définition relatif au degré de protection du matériel électrique,
 - NFC 20.030 et additif : matériel électrique à Basse Tension. Protections contre les chocs électriques : règles de sécurité.
- les Documents Techniques Unifiés (D.T.U.) du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment applicables à la nature des travaux et notamment :
- DTU 12 : terrassements,
 - DTU 13.11 : fondations superficielles,
 - DTU 13.2 : fondations profondes,
 - DTU 14.1 : cuvelage,
 - DTU 20.1 : ouvrages en maçonnerie,
 - DTU 21 : exécution des travaux en béton,
 - DTU 23.1 : parois et murs en béton banché,
 - DTU 26.2 : charges et dalles de liant hydraulique,
 - DTU 60.2 : canalisations.
 - DTU 70.1 : installations électriques des bâtiments
- les normes françaises AFNOR :
- En cas de contradiction entre deux documents, il sera toujours choisi le document où la valeur est la plus contraignante.
- Conformité aux normes et Avis Techniques des fournitures essentielles :
- En ce qui concerne plus particulièrement les matériaux, matériels, fournitures et éléments préfabriqués essentiels, ne pourront être mis en oeuvre que ceux répondant aux normes ou Avis Technique définis ci-dessous.

Mise à jour de janvier 2007

Mise à jour de janvier 2007

Tuyaux et pièces complémentaires en béton non armé, béton fibré acier et béton armé	NF EN 1916
Tuyaux et pièces complémentaires en béton non armé, béton fibré acier et béton armé	NF P16-345-2
Regards de visite et boîtes de branchement en béton non armé, béton fibré acier et béton armé	NF EN 1917
Evacuations, assainissement – Eléments fabriqués en usine pour regards de visite en béton sur canalisations d'assainissement	NF P16-342
Evacuations, assainissement – Eléments fabriqués en usine pour boîtes de branchement en béton sur canalisations d'assainissement	NF P16-343
Regards de visite et boîtes de branchement ou d'inspection en béton non armé, béton fibré acier et béton armé	NF P16-346-2
Echelons pour regards de visite	NF EN 13101
Tuyaux, raccords et accessoires en fonte ductile et leurs assemblages pour l'assainissement – prescriptions et méthodes d'essai	NF EN 598
Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et les collecteurs d'assainissement enterrés sous pression Polychlorure de vinyle non plastifié (PVC-U), polypropylène (PP) et polyéthylène (PE)	NF EN 13598
Plastiques – tubes en polychlorure de vinyle non plastifié	NF T54-003
Tuyaux et accessoires en grès et assemblages de tuyaux pour les réseaux de branchement et d'assainissement	NF EN 295
Eléments pour bordures de trottoir en béton	NF EN 1340
Dispositif de couronnement net de fermeture des zones de circulation utilisées par les piétons et les véhicules	NF EN 124
Mise en œuvre et essais des branchements et collecteurs d'assainissement	NF EN 1610

- les normes et prescriptions de la Commission Electrotechnique Internationale (C.E.I.), et en particulier celles du comité d'étude n° 57 (téléconduite, téléprotection et télécommande connexes pour les systèmes électriques de puissance) ou par la Commission française U.T.E./C.E.F. correspondante du précédent comité ;
- les normes et prescriptions de l'Organisation International de Standardisation (I.S.O.), et en particulier celles relatives aux télécommunications et au modèle de référence O.S.I. ;

ou autres normes reconnues équivalentes à celles-ci.

Les références aux documents énoncés ci-avant ne constituent pas une liste limitative. Elles sont un rappel des principaux textes applicables en vigueur.

Dans tous les cas, l'Entrepreneur devra respecter les préconisations de mise en œuvre des équipements de mesure indiquées par les différents fournisseurs.

Pour chaque type de matériel à fournir, l'Entrepreneur indiquera dans son mémoire technique les références produits et fournisseurs qu'il proposera à l'agrément du Maître d'ouvrage et du Maître d'œuvre.

Il sera particulièrement veillé à la compatibilité des matériels proposés avec l'existant et à l'homogénéité de l'ensemble du projet (standardisation souhaitée).

Disposition permettant de faciliter une maintenance performante du dispositif.

Homogénéité des matériels et Standardisation souhaitables, mais pas au détriment de l'efficacité et de la qualité de la mesure

3.2 Travaux relatifs aux points de mesure sur les déversoirs d'orage et réseaux unitaires pluviaux

Commentaires généraux

Mesures et calcul de débits :

Il est essentiel d'enregistrer et de renvoyer les données brutes. Le calcul de débit peut n'être fait qu'en supervision.

Calibrage de la plage de débit à mesurer :

Il est nécessaire de préciser et de choisir la plage de mesure précise de débit souhaitée : les débits faibles (eaux parasites) ou les débits forts (temps de pluie)

Evolutivité du système :

Il est prudent de prévoir par exemple des fourreaux vides supplémentaires ou des longueurs droites amont/aval maximales avec valeurs supérieures aux préconisations des fournisseurs pour l'installation de nouveaux matériels: retenir des longueurs importantes, tout comme des maxi: Evolutivité garantie

Câblage et connexion :

Il faut prendre des précautions particulières pour protéger les fourreaux contre l'arrachement et l'intrusion d'eau et de rongeurs

3.2.1 Spécifications relatives aux stations de mesure débitométriques par cordes à ultrasons

3.2.1.1 Généralités

Ces stations comprendront chacune :

- **mesure de la vitesse** : 3* cordes à ultrasons
- **mesure de la hauteur d'eau** : 2* sondes piézométriques redondantes (éventuellement capteurs ultrasons aériens avec renvoi d'angle)
- **station d'acquisition** : celle-ci sert en particulier au paramétrage des sondes et au calcul du débit à partir de la hauteur d'eau et de la vitesse moyenne ; elle permet par ailleurs d'asservir un préleveur d'échantillons.

La station d'acquisition, propre au fournisseur des sondes, est reliée, via une sortie analogique 4-20mA, à une sous-station de supervision (=satellite) sur toutes les stations débitométriques. Les sous-stations sont reliées à leur tour, via modem RTC ou radio, au poste central de contrôle et d'exploitation des données implanté dans les locaux de XXX.

La localisation et les conditions spécifiques d'installation des stations sont détaillées dans la notice de présentation du projet d'autosurveillance, pièce n°4 du présent Dossier de Consultation des Entreprises.

Il s'agit bien ici d'un exemple. Les spécifications résultent d'une étude de définition précise (pour établir les solutions de référence)

Il peut s'avérer intéressant de laisser l'ouverture à des solutions variantes, limitées sur certains points, sous réserve des justifications argumentées.

** nombres à adapter en fonction du site et de l'objectif*

La sonde redondante permet de faciliter l'exploitation du point de mesure (maintenance, qualification de la donnée, etc.)

3.2.1.2 Cordes à ultrasons

- fonctionnement bidirectionnel des sondes,
- portée minimale des sondes : 6 mètres en eau usée (15 mètres en eau claire)
- amplitude minimale de mesure : - 2 m/s à + 5 m/s
- précision sur mesure de la vitesse $< \pm 0,5 \%$
- températures de fonctionnement : - 5 °C à + 60 °C
- matériau métallique constitutif assurant une protection à long terme parfaite contre la corrosion
- câbles résistant à la corrosion
- distance maximale entre les sondes et la station d'acquisition : > 300 mètres
- sorties analogiques : 4-20 ma en direction de la station d'acquisition
- fourniture d'un outil d'alignement des sondes

3.2.1.3 Capteurs de niveau piézorésistifs ou piézocapacitifs

- échelle de mesure : 0 à X m
- précision de la mesure $< \pm 0,10 \%$ de la plage programmée
- températures de fonctionnement : - 5 °C à + 60 °C
- matériau métallique constitutif assurant à long terme une protection parfaite contre la corrosion
- câbles résistant à la corrosion
- point zéro : 0,1 % de la plage programmée
- sortie analogique : 4-20 ma en direction de la station d'acquisition

Prévoir une longueur de câble suffisante pour pouvoir démonter le capteur et le nettoyer fréquemment sans le débrancher (les capteurs débouchables ne sont pas adaptés à une manutention fréquente)

Privilégier la sortie analogique 4-20mA, qui permet de mieux distinguer une rupture d'alimentation électrique (zéro mA) d'une valeur minimale (4 mA)

3.2.1.4 Capteurs de niveau ultrasoniques aériens

- échelle de mesure : 0,25 m à 4 m
- précision de la mesure : $< \pm 0,10 \%$ de la plage programme
- Température de fonctionnement : - 5 °C à + 60 °C
- matériau constitutif assurant à long terme une protection parfaite contre la corrosion
- câbles résistant à la corrosion
- sortie analogique 4-20 mA
- retour d'angle pour limiter la composante verticale de la zone morte

3.2.1.5 Station d'acquisition

- **Alimentation électrique** : 230 V AC + batterie de secours ; protection de surtension intégrée
- **Etanchéité** : protection totale contre la poussière ; protection contre l'immersion : 30 minutes sous 1 mètre d'eau
- **Température de fonctionnement** : - 20 °C à + 60 °C
- **Entrées / sorties.**
 - entrées : câbles des sondes + deux entrées analogiques 4-20 mA redondantes pour la mesure de niveau
 - sorties : au moins une sortie analogique 4-20 mA pour le transfert de la mesure de débit à la sous-station de supervision + 1 sortie numérique RS232 ou RS485 ou Jbus/Modbus
 - transfert des deux mesures de hauteur à la sous-station de supervision soit directement, soit via la station d'acquisition débitométrique (auquel cas deux sorties supplémentaires 4-20 mA sont nécessaires sur celle-ci)
 - relais statiques programmables : au moins 3 relais (notamment pour seuil sur le débit, la hauteur d'eau ou la vitesse moyenne, pour impulsion de comptage de volume, pour tests de défauts, etc.)
- **Fonctions mesures**
 - calcul du débit à partir de la hauteur d'eau et des vitesses sur chaque corde
 - précision de la mesure de débit : < 4 % (avec 3 cordes et une précision de description des sections de collecteur < $\pm 0,25$ %)
 - enregistrement des mesures
 - affichage graphique du débit, de la vitesse moyenne, de la vitesse sur chaque corde, de la hauteur, etc..en fonction du temps
 - affichage numérique simultané d'un ensemble de grandeurs mesurées en valeurs instantanées ou moyennes le jour de la mesure ou les jours précédents : débit, vitesse, vitesse sur chaque corde, hauteur d'eau, valeur des totalisateurs, etc.

- **Fonctions paramétrages**
 - code d'accès, désignation du débitmètre
 - unités de débit, vitesses, hauteurs d'eau ; constantes de temps
 - définition des cordes : nombre de cordes, distances entre sondes, cotes des cordes, longueur des trajets acoustiques, etc.
 - description des sections hydrauliques : au minimum 20 couples hauteur/largeur
 - profil hydraulique : au minimum 20 couples hauteur-coefficient de débit pour le calcul du débit
 - expression de la courbe niveau/vitesse lorsque le niveau est inférieur à la corde la plus basse
 - paramétrage de l'affichage graphique
 - paramétrage des relais
 - possibilité de tests de simulation : simulation d'une vitesse d'écoulement et d'un niveau d'eau et génération du courant de sortie correspondant
- correction de dérive du zéro en cas des capteurs piézométriques
- **Fonction d'analyse de l'écho**

Visualisation graphique du signal acoustique sur chaque corde pour :

 - contrôle du raccordement des sondes et de leur bon fonctionnement
 - vérification du bon positionnement des sondes
 - recherche de l'origine d'un incident de mesure (obstruction du collecteur, encrassement des sondes, rupture d'un câble, etc.)
- **Asservissement d'un préleveur automatique d'échantillons**

Cet asservissement intégrera les fonctionnalités suivantes :

 - démarrage du préleveur sur dépassement de seuil de hauteur ou débit dans le collecteur
 - asservissement des prélèvements à un pas de temps ou à un volume écoulé dans le collecteur
 - possibilité d'augmentation de la cadence de prélèvement sur dépassement de seuil de hauteur ou de débit

3.2.2 Spécifications relatives aux stations de mesure débitométriques par sondes Doppler

3.2.2.1 Généralités

Ces stations comprendront chacune :

- **mesure de la vitesse** : sonde ultrasonique Doppler
- **mesure de la hauteur d'eau** : 2 sondes piézométrique redondantes
- **station d'acquisition** : celle-ci sert en particulier au paramétrage des sondes et au calcul du débit à partir de la hauteur d'eau et de la vitesse moyenne ; elle permet par ailleurs d'asservir un préleveur d'échantillons

La station d'acquisition, propre au fournisseur des sondes, est reliée, via une sortie analogique 4-20 mA, à une la sous-station de supervision identique sur toutes les stations débitométriques. Les la sous-station de supervision sont reliées à leur tour, via modem RTC ou radio, au poste central de contrôle et d'exploitation des données implanté dans les locaux de XXX.

La localisation et les conditions spécifiques d'installation des stations sont détaillées dans la notice de présentation du projet d'autosurveillance.

3.2.2.2 Sondes Doppler

- amplitude de mesure : - 2 à + 5 m/s
- précision sur mesure des vitesses des particules élémentaires : à fournir
- température de fonctionnement : - 5 °C à + 60 °C
- matériau métallique constitutif assurant une protection à long terme parfaite contre la corrosion
- câbles résistant à la corrosion
- distance maximale entre les sondes et la station d'acquisition : > 300 mètres
- sorties analogiques : 4-20 ma en direction de la station d'acquisition
- fourniture d'une semelle de fixation du capteur

3.2.2.3 Capteurs de niveau piézorésistifs ou piézocapacitifs

- échelle de mesure : 0 à 4 m
- précision de la mesure $< \pm 0,10$ % de la plage programmée
- températures de fonctionnement : - 5 °C à + 60 °C
- matériau métallique constitutif assurant à long terme une protection parfaite contre la corrosion
- câbles résistant à la corrosion
- point zéro : 0,1 % de la plage programmée
- sortie analogique : 4-20 mA en direction de la station d'acquisition

3.2.2.4 Station d'acquisition

- **Alimentation électrique** : 230 V AC + batterie de secours ; protection de surtension intégrée
- **Étanchéité** : protection totale contre la **poussière** ; protection contre l'immersion : 30 minutes sous 1 mètre d'eau
- **Température de fonctionnement** : - 20 °C à + 60 °C
- **Entrées / sorties**
 - entrées : câbles des sondes + deux entrées analogiques 4-20 mA redondantes pour la mesure de niveau
 - sorties : au moins une sortie analogique 4-20 mA pour le transfert de la mesure de débit à la sous-station de supervision + 1 sortie numérique RS232 ou RS485 ou Jbus/Modbus
 - transfert des deux mesures de hauteur à la sous-station de supervision soit directement, soit via la station d'acquisition débitométrique (auquel cas deux sorties supplémentaires 4-20 mA sont nécessaires sur celle-ci)
 - relais statiques programmables : au moins 3 relais (notamment pour seuil sur le débit, la hauteur d'eau ou la vitesse moyenne, pour impulsion de comptage de volume, pour tests de défauts, etc.)

- **Fonctions mesures**

- calcul du débit à partir de la hauteur d'eau et de la vitesse moyenne.

Le candidat indiquera de manière réaliste la précision présumée de la mesure du débit

Le calcul de la vitesse moyenne sera effectué de préférence à partir de la **vitesse maximale**.

En cas d'évaluation directe de la vitesse moyenne, le mode d'évaluation de ce paramètre à partir des mesures élémentaires sera obligatoirement et précisément indiqué de telle sorte qu'il soit possible d'estimer le biais de cette évaluation par rapport à la vitesse moyenne réelle, cela en fonction des conditions hydrauliques.

- enregistrement des mesures
- affichage graphique du débit, de la vitesse moyenne, **de la vitesse maximale** et de la hauteur en fonction du temps ; **affichage graphique du profil vertical des vitesses à tout instant**
- affichage numérique simultané d'un ensemble de grandeurs mesurées en valeurs instantanées ou moyennes le jour de la mesure ou les jours précédents : débit, vitesse moyenne, **vitesse maximale**, hauteur d'eau, valeur des totalisateurs, etc.

- **Fonctions paramétrages**

- code d'accès, désignation du débitmètre
- unité de débit, vitesses, hauteurs d'eau constantes de temps
- description des sections hydrauliques : au minimum 20 couples hauteur/largeur
- paramétrage de l'affichage graphique
- paramétrage des relais
- possibilité de tests de simulation : simulation d'une vitesse d'écoulement et d'un niveau d'eau et génération du courant de sortie correspondant
- correction de dérive du zéro en cas de capteurs piézométrique

- **Asservissement d'un préleveur automatique d'échantillons**

Cet asservissement intégrera les fonctionnalités suivantes :

- démarrage du préleveur sur dépassement de seuil de hauteur ou débit dans le collecteur
- asservissement des prélèvements à un pas de temps ou à un volume écoulé dans le collecteur
- possibilité d'augmentation de la cadence de prélèvement sur dépassement de seuil de hauteur ou de débit

Privilégier l'enregistrement et le renvoi de mesures brutes avec le calcul de débit en supervision.

3.2.3 Spécifications relatives à la station de mesure débitométrique par seuil jaugeur

3.2.3.1 Généralités

L'unique station de ce type comprendra :

- **mesure de la hauteur d'eau** : 2 sondes piézométriques redondantes
- **station d'acquisition** : celle-ci sert en particulier au paramétrage des sondes et au calcul du débit à partir de la hauteur d'eau au-dessus du seuil ; elle permet par ailleurs d'asservir un préleveur d'échantillons.

La station d'acquisition est reliée, via une sortie analogique 4-20mA, la sous-station de supervision (cf. paragraphe 1.2 et 2.1).

Les conditions spécifiques d'installation de la station sont détaillées dans la notice de présentation du projet d'autosurveillance.

3.2.3.2 Capteurs de niveau piézorésistifs ou piézocapacitifs

- échelle de mesure : 0 à 4 m
- précision de la mesure $< \pm 0,10$ % de la plage programmée
- températures de fonctionnement : $- 5$ °C à $+ 60$ °C
- matériau métallique constitutif assurant à long terme une protection parfaite contre la corrosion
- câbles résistants à la corrosion
- point zéro : 0,1 % de la plage programmée
- sortie analogique : 4-20 mA en direction de la station d'acquisition

3.2.3.3 Station d'acquisition

- **Alimentation électrique** : 230 V AC + batterie de secours ; protection de surtension intégrée.
- **Etanchéité** : protection totale contre la poussière ; protection contre l'immersion : 30 minutes sous 1 mètre d'eau.
- **Température de fonctionnement** : $- 20$ °C à $+ 60$ °C.

- **Entrées / sorties.**

- entrées : câbles des sondes + deux entrées analogiques 4-20 mA redondantes pour la mesure de niveau
- sorties : au moins une sortie analogique 4-20 mA pour le transfert de la mesure de débit à la sous-station de supervision + 1 sortie numérique RS232 ou RS485 ou Jbus/Modbus
- transfert des deux mesures de hauteur à la sous-station de supervision soit directement, soit via la station d'acquisition débitmétrique (auquel cas deux sorties supplémentaires 4-20 mA sont nécessaires sur celle-ci)
- relais statiques programmables : au moins 3 relais (notamment pour seuil sur le débit, la hauteur d'eau ou la vitesse moyenne, pour impulsion de comptage de volume, pour tests de défauts, etc.)

- **Fonctions mesures**

- calcul du débit à partir de la hauteur d'eau au-dessus du seuil déversant
- enregistrement des mesures
- affichage graphique du débit et de la hauteur d'eau en fonction du temps
- affichage numérique simultané du débit et de la hauteur d'eau en valeurs instantanées ou moyennes le jour de la mesure ou les jours précédents

- **Fonctions paramétrage**

- code d'accès, désignation du débitmètre
- unité de débit et de hauteur d'eau ; constantes de temps
- description géométrique du seuil jaugeur
- paramétrage de l'affichage graphique
- paramétrage des relais
- possibilité de tests de simulation : simulation d'une vitesse d'écoulement et d'un niveau d'eau et génération du courant de sortie correspondant
- correction de dérive du zéro en cas de capteurs piézométriques

- **Asservissement d'un préleveur automatique d'échantillons**

Cet asservissement intégrera les fonctionnalités suivantes :

- démarrage du préleveur sur dépassement de seuil de hauteur ou de débit dans le collecteur

- asservissement des prélèvements à un pas de temps ou à un volume transité dans le collecteur
- possibilité d'augmentation de la cadence de prélèvement sur dépassement de seuil de hauteur ou de débit

3.3 Travaux relatifs aux points de mesure sur les réseaux séparatifs d'eaux usées

Commentaires généraux

Mesures et calcul de débits :

Il est essentiel d'enregistrer et de renvoyer les données brutes. Le calcul de débit peut n'être fait qu'en supervision.

Calibrage de la plage de débit à mesurer :

Il est nécessaire de préciser et de choisir la plage de mesure précise de débit souhaitée : les débits faibles (eaux parasites) ou les débits forts (temps de pluie)

Evolutivité du système :

Il est prudent de prévoir par exemple des fourreaux vides supplémentaires ou des longueurs droites amont/aval maximales avec valeurs supérieures aux préconisations des fournisseurs pour l'installation de nouveaux matériels: retenir des longueurs importantes, tout comme des maxi: Evolutivité garantie

Câblage et connexion :

Il faut prendre des précautions particulières pour protéger les fourreaux contre l'arrachement et l'intrusion d'eau et de rongeurs

3.3.1 Spécifications relatives aux mesures de débit par Canal Venturi

3.3.1.1 Généralités

Les points de mesure de type Canal Venturi sont, soit :

- des points de mesure permanents comprenant :
 - le génie civil : Canal Venturi (calibré selon les données fournies au projet) et canal d'approche permettant la tranquillisation de l'écoulement, le canal de dégagement, le génie civil nécessaire à la mise en place du canal et les trappes d'accès,
 - la sonde de mesure de la hauteur d'eau : capteur de niveau ultrasonique aérien,
 - la station d'acquisition : elle sert au calcul du débit ; elle permet par ailleurs d'asservir un préleveur d'échantillons. La station d'acquisition, propre au fournisseur de la sonde est reliée, via une sortie analogique 4-20 mA, à une sous-station de supervision identique sur toutes les stations débitométriques. Les sous-stations sont reliées à leur tour, via modem RTC ou radio, au poste central de contrôle et d'exploitation des données implanté dans les locaux de XXX. La localisation et les conditions spécifiques d'installation des stations sont détaillées dans la notice de présentation du projet d'autosurveillance.
- des points de mesure non permanents, comprenant seulement les installations de génie civil.

Le matériel et les conditions de mise en œuvre répondront aux exigences de la norme ISO 4359 (mesure de débit des liquides dans les canaux découverts).

Précautions nécessaires

Les contraintes de sites peuvent être importantes pour un bon fonctionnement (pertes de charge, fil d'eau, canal d'approche, rupture de charge aval).

Certains matériels permettent d'élargir la plage de mesure.

3.3.1.2 Génie civil

- reprise éventuelle de la canalisation d'assainissement à l'amont ou à l'aval du canal de mesure pour créer les conditions de pente et de fil d'eau nécessaires
- canal d'approche : longueur ≥ 10 fois largeur du canal, et ≥ 20 fois largeur du canal si la pente à l'entrée du canal d'approche est $\geq 1\%$. Cet élément aura une pente de 0,5 %
- canal de mesure Venturi : canal à contraction latérale (élément préfabriqué). Installation à pente nulle. Matériau garantissant une protection parfaite contre la corrosion

- canal de dégagement : longueur ≥ 1 fois largeur du canal. Cet élément permettra l'écoulement libre des effluents, il sera suivi d'une chute qui empêchera toute influence aval des conditions d'écoulement sur la mesure
- chambre de mesure : le canal de mesure sera installé dans une chambre de génie civil, comportant selon la longueur du canal 2 ou 3 trappes d'accès pour l'entretien courant (curage du canal d'approche et de la section contractée, montage : démontage et alignement de la sonde de mesure de niveau).

3.3.1.3 Capteurs de niveau ultrasoniques aériens

- échelle de mesure : 0,25 m à 2 m,
- précision de la mesure : $< \pm 0,10\%$ de la plage programme,
- Température de fonctionnement : $- 5\text{ °C}$ à $+ 60\text{ °C}$,
- matériau constitutif assurant à long terme une protection parfaite contre la corrosion,
- câbles résistant à la corrosion,
- sortie analogique 4-20 mA,
- retour d'angle pour limiter la composante verticale de la zone morte si nécessaire

3.3.1.4 Station d'acquisition

- **Alimentation électrique** : 230 V AC + batterie de secours ; protection de surtension intégrée
- **Étanchéité** : protection totale contre la poussière ; protection contre l'immersion : 30 minutes sous 1 mètre d'eau
- **Température de fonctionnement** : $- 20\text{ °C}$ à $+ 60\text{ °C}$
- **Entrées / sorties**
 - entrées : câbles des sondes + deux entrées analogiques 4-20 mA redondantes pour la mesure de niveau
 - sorties : au moins une sortie analogique 4-20 mA pour le transfert de la mesure de débit à la sous-

station de supervision + 1 sortie numérique RS232 ou RS485 ou Jbus/Modbus

- transfert des deux mesures de hauteur à la sous-station de supervision soit directement, soit via la station d'acquisition débitmétrique (auquel cas deux sorties supplémentaires 4-20 mA sont nécessaires sur celle-ci)
- relais statiques programmables : au moins 3 relais (notamment pour seuil sur le débit, la hauteur d'eau ou la vitesse moyenne, pour impulsion de comptage de volume, pour tests de défauts, etc.)

▪ **Fonctions mesures**

- calcul du débit à partir de la hauteur d'eau au niveau de la section de mesurage
- enregistrement des mesures
- affichage numérique du débit et de la hauteur d'eau en valeurs instantanées ou moyennes le jour de la mesure ou les jours précédents

▪ **Fonctions paramétrage**

- code d'accès, désignation du débitmètre
- unité de débit et de hauteur d'eau ; constantes de temps
- description géométrique du canal jaugeur
- paramétrage des relais

3.3.2 Spécifications relatives aux mesures de débit par débitmètre électromagnétique

3.3.2.1 Généralités

Ces stations sont réparties de la manière suivante :

- mesures sur conduite en charge : canalisations des postes de refoulement
- mesures sur conduite partiellement remplie : canalisation aval de la vis de relevage et canalisation gravitaire d'eaux usées

Chaque station de mesures comprendra :

- le génie civil : chambre de comptage, le cas échéant reprise ponctuelle de la conduite de refoulement, mise en place d'une vanne de sectionnement à l'aval du compteur et raccords nécessaires
- le débitmètre électromagnétique
- la station d'acquisition : elle permettra de paramétrer le capteur. La station d'acquisition, propre au fournisseur du débitmètre, est reliée via une sortie analogique 4-20 mA à une sous-station de supervision identique sur toutes les stations débitmétriques. Les sous-stations de supervision sont reliées via modem RTC ou radio, au poste central de contrôle et d'exploitation des données implanté dans les locaux de XXX

La localisation et les conditions spécifiques d'installation des stations sont détaillées dans la notice de présentation du projet d'autosurveillance.

3.3.2.2 Débitmètres électromagnétiques en conduites non pleines

- montage sur longueur droite minimale 10 x DN à l'amont et 5 x DN à l'aval*
- températures de fonctionnement : -20°C à +60°C
- montage séparé : capteur dans le regard compteur, transmetteur déporté dans le local technique ou le coffret électrique
- gamme de mesures de la vitesse : 0,1 à 5 m/s
- précision sur la mesure :
 - ≤ 1% sur la conduite en charge pour une gamme de vitesse de 0,5 à 20 m/s
 - ≤ 5% sur conduite gravitaire
- borne de mise à la terre

En vue de l'exploitation ultérieure (entretien des débitmètres), l'entreprise fournira un jeu de manchettes + raccords permettant, pour chaque site, la dépose du débitmètre et le fonctionnement du poste durant l'entretien.

** dans cet exemple, la marge de sécurité retenue est supérieure à celle préconisée par certains équipementiers, de façon à permettre une évolution de l'installation.*

Selon le diamètre de la canalisation, prévoir un piquage permettant de vérifier la hauteur d'eau dans la canalisation, voire la vitesse

Fourniture très utile pour l'exploitation future : démontage - étalonnage, en complément d'un dispositif de dérivation ou d'isolement à l'amont

3.3.2.3 Station d'acquisition

- **alimentation électrique** : 230 V AC + batterie de secours ; protection de surtension intégrée
- **étanchéité** : protection totale contre la poussière ; protection contre l'immersion : 30 minutes sous 1 mètre d'eau
- **températures de fonctionnement** : -20°C à +60°C
- **sorties** : au moins une sortie analogique 4-20 mA pour le transfert de la mesure de débit à la sous-station de supervision + 1 sortie numérique RS232 ou RS485 ou Jbus/Modbus + 1 sortie impulsion ; alarme sur défaut

- **fonction mesures** :
 - calcul du débit à partir de la tension induite par le liquide traversant le capteur (mesure électromagnétique)
 - affichage numérique : débit et volume cumulé
 - enregistrement des mesures
- **fonctions paramétrage** :
 - unité de débit, constantes de temps

Privilégier la récupération des valeurs brutes de hauteurs et vitesses

3.3.3 Spécifications relatives à la mesure de pluviométrie

Comme défini au Mémoire Projet, l'opération prévoit la fourniture d'un pluviomètre, d'une chaîne d'acquisition et d'un module de télétransmission vers la supervision.

Il sera veillé à la compatibilité des matériels proposés avec l'ensemble du programme. En particulier, la sous-station de supervision sera identique à celles installées sur les autres points de mesure.

Les spécifications de la station d'acquisition seront décrites dans le Mémoire Technique de l'Entreprise.

Le nombre de pluviomètre est à définir en fonction du bassin versant et des objectifs fixés.

Pour des mesures de hauteurs d'eau un pluviomètre suffit ; pour une mesure d'intensité il est nécessaire d'utiliser un pluviographe à pesée ou à auget basculant

Cf " Mesures en hydrologie urbaine et assainissement" BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., LAPLACE D., JOANNIS C., CHEBBO G., coord. , Éditions Tec&Doc - Partie 2:" mesurage des précipitations"

3.4 Travaux relatifs à la télésurveillance et à la supervision

3.4.1 Consistance des travaux

3.4.1.1 But du système

Le système de télésurveillance (ou encore de télémesures) devra assurer différentes fonctions :

- permettre de centraliser vers un poste central l'ensemble des informations (états, grandeurs analogiques, compteurs,...) des différents points de mesures implantés dans le cadre de ce projet sur les réseaux d'assainissement
- permettre de centraliser les informations (états, compteurs, surverse,...) relatives au fonctionnement des différents postes de relèvement existants de XXX, mais aussi de la station d'épuration
- permettre de récupérer des informations externes issues de matériels d'autres organismes
- effectuer la mise en forme et le traitement des informations reçues
- gérer d'un point de vue fonctionnel les équipements de XXX raccordés (paramétrage, maintenance, astreinte,...)
- Mettre à disposition les informations collectées et traitées à disposition de personnes externe (consultation distante)

Il peut être intéressant de prévoir une interface permettant l'échange de données avec d'autres organismes (gestionnaires de cours d'eau et exploitants de systèmes d'assainissement) (import, export)

3.4.1.2 Structure principale

Le système de télésurveillance sera bâti autour d'un poste central, lequel sera relié aux sous-stations par l'intermédiaire, soit du réseau téléphonique commuté (solution de base), soit par un réseau radio privé (solution variante). Le poste central se chargera de la réalisation des bilans quotidiens, mensuels et annuels. Il sera susceptible de retransmettre une alarme au personnel d'astreinte (panne d'un équipement,...).

Le **poste central** supervise l'ensemble des installations qui lui sont attachées : à partir d'une console d'exploitation, l'utilisateur peut accéder à toutes les ressources du système, y compris en modifier le

paramétrage. C'est la base du système de contrôle/commande.

Le **satellite** (encore appelée sous-station ou coffret de télésurveillance) est lié à un ouvrage ou à un site. Sa première fonctionnalité est de transmettre les informations entre le poste central et le site qu'il permet de contrôler, sa seconde, d'assurer l'archivage local des informations de mesures et d'états.

3.4.1.3 Satellites ou sous-stations

a) Postes de relèvement et sites de mesures

La sous-station sera directement implantée sur le site exploité. Elle est raccordée soit en fil à fil (borniers) aux divers actionneurs et capteurs, soit par une liaison numérique à un automate local.

Son premier rôle est de faire l'interface entre le poste central et l'installation. Elle retransmet l'état des différents équipements auxquels elle est raccordée et délivre à l'installation les ordres de commande issus du poste central (dans le cadre d'une télégestion) ou d'un autre site.

Elle disposera en interne de fonctionnalités similaires à celles d'un automate, ce qui lui permettra de continuer à fonctionner en marche dégradée, même lors d'une rupture de communication avec le poste central. Il sera possible de lui faire exécuter localement des tâches plus ou moins complexes.

Dans la présente opération, la sous-station est physiquement matérialisée par le coffret de télésurveillance.

Les sous-stations de télésurveillance auront au minimum une capacité de stockage des données correspondant à 4 jours en période normale.

Les sites suivants seront équipés d'un coffret de télésurveillance :

▪ Postes de relèvement :

- les postes seront équipés d'un coffret de télétransmission. Les automatismes spécifiques aux postes (permutation des pompes, démarrage et arrêt, gestion des défauts,...) seront réalisés par les nouveaux coffrets. L'information issue du débitmètre électromagnétique installé localement sera aussi retransmise.

▪ Points de mesure :

- les points de mesures permanents sur le réseau décidés seront équipés d'un coffret identique ou du moins compatible avec ceux installés sur les postes de relèvement.
 - **Réseaux unitaires et pluviaux :**
 - les déversoirs d'orage, les exutoires pluviaux et les points sur réseau unitaire retenus dans le cadre de ce dossier seront équipés d'un coffret identique ou du moins compatible avec ceux installés sur les postes de relèvement.
 - **Pluviomètre :**
 - un pluviomètre sera équipé d'une station de télégestion pour l'archivage et le rapatriement des informations relatives aux précipitations.
 - **Station d'épuration :**
- un coffret de télégestion sera implanté à la station d'épuration pour la récupération des informations spécifiques à l'usine de dépollution. Le coffret existant pourra éventuellement être réutilisé.

Privilégier du matériel de même génération et compatible.

b) Pluviomètres externes

Ces pluviomètres externes devront être interrogés de façon automatique par le poste central. Les informations recueillies viendront enrichir automatiquement la base de données. Pour ce faire l'entreprise chiffrera en **option** la solution qui lui convient pour cette opération sachant qu'il existe trois pistes de solutions :

- soit le logiciel de supervision retenu dispose des pilotes relatifs à ces stations (compatible) ;
- soit les pluviomètres reçoivent une seconde station d'enregistrement sous la forme d'un coffret de télécomptage du même type que ceux mis en place sur les points de mesures.

3.4.1.4 Supports de communication

L'entreprise proposera une solution architecturée autour du réseau téléphonique (filaire et/ou GSM). Il est à noter que les postes de relèvement disposent déjà tous d'un accès local à ce réseau.

En solution **variante**, l'entreprise proposera la création d'un réseau radio privé pour raccorder l'ensemble des sites de mesures et les postes de relèvement. Si cette solution amène des contraintes ou des restrictions en terme de fonctionnalité des équipements raccordés à ce réseau, l'entreprise devra le signaler dans son mémoire technique. L'offre intégrera la totalité des équipements nécessaires à la mise en œuvre de ce réseau : mats, antennes, protection, câbles, fixations,... L'acquisition d'une fréquence d'émission (en terme d'autorisation) sera à la charge du Maître d'Ouvrage. Le phasage et les modalités de mise en œuvre de ce réseau feront l'objet d'une note spécifique

Le choix du support de communication est fonction des options retenues sur le territoire pour traiter les informations ; une infrastructure réseau radio est fiable y compris par temps d'orage

3.4.1.5 Poste central

a) Présentation

Ce système informatique s'acquittera automatiquement des tâches suivantes :

- collecte une fois par jour des données enregistrées par chaque sous-station
- mise en forme et traitement des données puis archivage automatique sur disque dur
- envoi éventuel de commande ou de consigne à partir de tâches programmées

De plus, l'opérateur pourra à partir du poste central :

- visualiser sous forme d'écrans synoptiques la totalité des informations prises en compte par le système (1 vue par point de mesure, plus une réserve de 10 vues au minimum pour des points à rajouter ultérieurement)
- envoyer des télécommandes ou des télé réglages
- consulter des informations archivées sous forme de tableaux ou de courbes
- valider les données de mesures « brutes »

Prévoir une réserve pour l'évolutivité et l'extension du système informatique, avec les standards du moment.

- éditer des bilans de fonctionnement et des bilans de mesures

En outre, le poste central s'occupera automatiquement de la **gestion des alarmes**. Lors de défauts ou d'incidents répertoriés, et si aucun agent n'est présent sur le site, le système disposera d'une liste de numéros à appeler. Après une procédure de reconnaissance, la personne d'astreinte contactée pourra consulter, avec un micro-ordinateur ou grâce à une messagerie vocale depuis son domicile, l'état général des installations.

Il devra être aussi possible de réaliser des **consultations à distance**, par exemple depuis les domiciles des personnels d'astreinte ou depuis les bureaux des services techniques de XXX, avec une interface identique à celle en service sur le poste central. Le support de communication utilisé sera le téléphone (filaire ou GSM). Selon l'identifiant (et le mot de passe) de la personne qui se connecte, il sera possible de limiter le nombre d'écrans de supervision accessibles et d'autoriser ou non l'envoi de télécommandes

b) Configuration matérielle

La supervision sera accessible depuis deux postes de conduite (**client**) installés l'un dans le local de supervision sur le site de la station d'épuration, l'autre dans les bureaux. Ces deux postes pourront accéder simultanément aux mêmes informations et aux mêmes fonctionnalités de supervision et donc se servir de secours mutuel. Les deux postes seront équipés d'écrans plats 19 pouces (type TFT mince). Une imprimante laser couleur (édition de tableaux, de rapports, de copies d'écran), et une imprimante noire et blanc listing (informations au fil de l'eau) compléteront ces matériels d'exploitation.

Il sera possible de réaliser des consultations à distance. L'interface lors de ces consultations sera la plus proche possible de celle en service sur les postes de l'usine. Le support de communication sera soit le réseau téléphonique (filaire et GSM), soit le réseau informatique inter-sites (fibres optiques) de XXX. Pour ce faire, le poste central hébergera un serveur de type **web** (avec publication de l'application de supervision et des fichiers bilan).

Pour obtenir un tel type de fonctionnement, l'entreprise proposera une solution de type client/serveur pour le logiciel de supervision. Cet applicatif et les bases de données associées seraient préférentiellement implantés dans un **serveur** dédié. Afin de maintenir une grande disponibilité du système le serveur serait obligatoirement sécurisé (redondance des alimentations, redondance des cartes réseaux, baie de disques durs en Raid 5, logiciel de réinstallation rapide ...) et sera accompagné d'un contrat de maintenance « remise en route sous 8 heures ouvrées ». Un système de sauvegarde automatique sur bandes ou cassettes serait associé à ces équipements. Sur l'usine, les postes de conduites hébergeant le « client » logiciel de supervision seront sur le même tronçon de réseau

Prévoir les équipements standards du moment

informatique (vitesse : 100 Mbits/s) que le serveur de supervision.

Pour les consultations distantes, du fait de la faible vitesse de communication (9,6 à 56 kBits/s), il n'est pas prévu l'installation d'un client standard de supervision. L'entreprise proposera une solution orientée client « léger » (navigateur web) implanté dans les postes de consultation, et serveur web (IIS,...) installé à l'usine.

En cas d'incident relevé par la supervision (défaut, dysfonctionnement d'un point, seuil d'alerte atteint...), le personnel d'astreinte pourrait être joint via le réseau téléphonique. Le défaut ayant engendré l'alarme (et donc l'appel) pourra être identifié à distance soit à l'aide d'un téléphone (synthèse vocale), soit grâce à un micro-ordinateur équipé d'un modem.

Un onduleur (autonomie > une heure) garantira le fonctionnement de l'ensemble des équipements (micro-ordinateurs, imprimante, serveurs, réseau, modem...) du poste central à l'usine, même en cas de coupure secteur.

Tous les ordinateurs fournis seront équipés d'un lecteur de DVD et d'un graveur de cédérom (sauvegarde de la configuration ou du poste sous forme de Ghost, sauvegarde ou récupération des bilans d'exploitation,...).

En résumé, parmi les équipements et prestations à la charge de l'Entreprise, on peut citer la fourniture (matériels + logiciels) et l'installation :

- de deux postes de conduite (client standard) au poste central à l'usine de dépollution
- de deux imprimantes (laser couleur et fil d'eau) au poste central
- de serveur(s) hébergeant l'application informatique de supervision et le dispositif de consultation de type web

De plus, tous les travaux relatifs aux réseaux informatiques sont à la charge de l'entreprise, à savoir, entre autres choses :

- la fourniture et la pose de la baie de brassage, et des éléments actifs des réseaux (hubs, switches, routeurs,...)
- la pose de tous les câbles de liaisons et de toutes les prises à l'intérieur de l'usine

La configuration matérielle du poste central fera l'objet d'un descriptif précis (marques, types, configuration,...) de la part de l'entreprise

c) Configuration logicielle

Le logiciel de supervision (implanté dans le serveur du poste central) devra être totalement compatible avec les équipements de télésurveillance mis en place. Il devra intégrer au minimum les fonctionnalités suivantes :

- la visualisation de toutes les informations et des alarmes (avec éventuellement l'édition de fiches d'intervention associées)
- la possibilité d'envoyer des télécommandes
- la visualisation sur des écrans synoptiques de plans schématiques de toute ou partie des installations ainsi que le report animé de l'état des équipements surveillés
- l'intégration d'images (caméras) ou de photos
- l'impression des informations sur imprimante (chargement d'états, alarmes, journaux de bord complet ou partiel, ...)
- l'édition de bilans journaliers ou mensuels synthétisant un ensemble de mesures, de comptages ou de fonctionnement
- l'archivage des données sur disque dur et sur des supports longue durée (Cédérom, DVD, cassette ou bande magnétique, ...)
- le tracé de courbes (historiques ou tendances)
- la génération et la retransmission des alarmes vers les agents d'astreinte en dehors des heures de présence du personnel
- la gestion du dialogue lors de la connexion d'un poste externe (serveur web)
- l'extraction ou l'échange d'informations pour leur utilisation avec des logiciels externes (Excel, Access, ...)

Le logiciel de supervision sera à compléter des logiciels « bureautiques » (Word, Excel) et des logiciels « utilitaires » (antivirus, nettoyage des disques, réseaux, système d'exploitation) nécessaires au bon fonctionnement du système.

Le poste central hébergera aussi :

- l'application informatique du constructeur des coffrets de télésurveillance permettant le paramétrage ou le téléchargement à distance des sous-stations (via le réseau téléphonique ou la

Prévoir les moyens pour la qualification et la validation des données.

3 solutions existent :

- applications du commerce,
- développement spécifique interne ou
- prestation de service externe.

liaison radio si cela s'avère possible).

- une application du commerce spécifique à la validation des données « brutes »

d) Autres fonctionnalités attendues

▪ Pages écrans

La consultation de l'état des différents équipements depuis le poste de supervision se fera sous forme d'écrans graphiques. L'opérateur pourra, depuis n'importe quelle vue, accéder à un menu d'exploitation.

Chaque ouvrage fera l'objet d'au moins une page écran avec éventuellement en incrustation une photo réelle du site. Sur les schémas affichés, tous les équipements repris en supervision seront symbolisés et identifiés. Les différents états des équipements (marche, arrêt, défaut, hors-service, ouvert, fermé, ...) seront représentés par des couleurs spécifiques. Les valeurs analogiques (mesures) seront affichées directement sur les schémas.

Les couleurs d'états, des zones de dialogues et des zones déclenchant une action (par la souris ou par une touche du clavier), respecteront une norme définie par l'intégrateur en concertation avec le Maître d'Ouvrage. La description et la réalisation de la totalité des écrans synoptiques seront à la charge de l'installateur.

De plus, dix vues supplémentaires au minimum seront réservées pour les points à rajouter ultérieurement.

▪ Bilans d'exploitation

L'application de supervision devra générer automatiquement des bilans d'exploitation (format et contenu à définir) de façon quotidienne, hebdomadaire, mensuelle et annuelle. Ces bilans seront tous sauvegardés sur le disque dur du poste central et consultables à la demande.

Les résultats des bilans seront présentés sous forme de tableaux, lisibles et compatibles avec le logiciel Microsoft Excel ou Access.

La réalisation et la mise au point des bilans sont à la charge de l'entreprise. Avant de développer cette fonctionnalité, l'entreprise transmettra au Maître d'Ouvrage et au Maître d'Oeuvre une maquette

(forme des tableaux et cadre de présentation vides de données) qui fera l'objet d'un visa avant réalisation des programmes de remplissage.

▪ Récupération des informations externes

Un certain nombre de données externes (en plus des informations relatives aux pluviomètres) seront récupérées et intégrées dans la base de données du poste central :

- données du laboratoire (analyses) : ces informations seront saisies dans la supervision de la station d'épuration, et ensuite transmises au poste central de télésurveillance avec les autres informations de l'usine (de façon automatique)
- limnigraphes: ces données sont gérées par un organisme extérieur, leur récupération se fera sous la forme de fichiers à un format prédéfini (par exemple text ou Access)
- station de mesures: les données de ces équipements gérées par un organisme extérieur, seront récupérées sous la forme de fichiers à un format prédéfini (par exemple text ou Access)

Le format texte est le plus répandu

e) Astreinte

Les fonctions d'astreinte consistent à mettre à la disposition des agents de garde les informations élaborées par le système de supervision à l'occasion d'événements importants (défauts, alarmes, ...). Le dispositif mis en place devra donc être susceptible de gérer l'exploitation et le renvoi des alarmes vers le personnel d'astreinte.

La totalité du dispositif mis en œuvre pour gérer l'astreinte devra être implantée (en fonctionnement normal) au poste central. Dès qu'un incident ou une alarme apparaîtra, l'information sera signalée sur les consoles de supervision (message écran, bip sonore, ...). Si aucun agent n'est présent au poste central pour acquiescer cette information, le système disposera d'une liste de numéros de téléphone à appeler (téléphone ou alphanpage ou autre). Après une procédure de reconnaissance, la personne d'astreinte contactée pourra consulter à l'aide d'un Minitel, depuis une messagerie vocale, ou grâce à un poste de consultation déporté, l'état général des installations et se renseigner sur la nature de l'incident, afin de savoir si elle nécessite une intervention immédiate de sa part.

Prévoir des moyens et une organisation d'astreinte avec l'exploitant : a minima, les débordements par temps sec doivent être signalés en vue de leur résolution rapide

3.4.1.6 Fournitures annexes

a) Pièces de rechange

L'Entreprise fournira, en plus des équipements prévus au marché, un ensemble de pièces de rechange. Ce lot de pièces de rechange comprendra les matériels ou éléments d'équipements que l'entreprise jugera utile pour assurer un fonctionnement continu des installations et plus particulièrement des automatismes. Un descriptif complet de ce lot de pièces sera transmis avec l'offre de l'Entreprise.

3.5 Formation du personnel

Dans le cadre de ce projet, les agents d'exploitation feront l'objet d'une formation pour l'ensemble du système, et plus particulièrement sur :

- le paramétrage des différents équipements et appareils mis en place
- une formation complète à l'utilisation du système et du logiciel de supervision
- l'utilisation quotidienne de l'installation et son suivi en supervision
- les procédures de premières urgences en cas de défaillance d'un équipement et l'utilisation des pièces de rechanges
- les procédures à respecter pour l'intégration de nouveaux ouvrages ou la modification d'ouvrages existants

La formation sera d'une durée minimum de cinq jours fractionnables pour 4 personnes. Si des pré-requis sont demandés, en terme de connaissance des personnes à former, l'Entreprise devra en faire part dans son offre.

Il est très important de prévoir et de préciser la formation du personnel du maître d'ouvrage et d'exploitation. Dans cet exemple, il n'y a pas de distinction. Est proposée ci-dessous une rédaction permettant de ne pas négliger la formation du maître d'ouvrage.

Formation du personnel

Formation du personnel du Maître d'Ouvrage

Le Maître d'Ouvrage désignera les personnes chargées de la gestion du système d'autosurveillance et de supervision.

L'entrepreneur sera chargé d'assurer une formation complète de ces personnes en ce qui concerne :

- le manuel opérateur complet du dispositif
- le fonctionnement du dispositif d'autosurveillance
- le fonctionnement de la supervision
- le fonctionnement des outils de validation des données

Formation du personnel d'Exploitation

Le Maître d'Ouvrage désignera les personnes chargées de l'exploitation du système d'autosurveillance et de supervision.

L'entrepreneur sera chargé d'assurer une formation complète de ces personnes en ce qui concerne :

- les interventions d'entretien général
- le fonctionnement des installations électriques
- le fonctionnement des organes de commande et de surveillance
- l'étalonnage des appareils
- le fonctionnement des outils de qualification des données

b) Aménagements du local poste central

L'entreprise prévoira dans son offre la fourniture du mobilier (meubles, tables, chaises,...) pour l'installation des deux postes de conduite et des deux imprimantes.

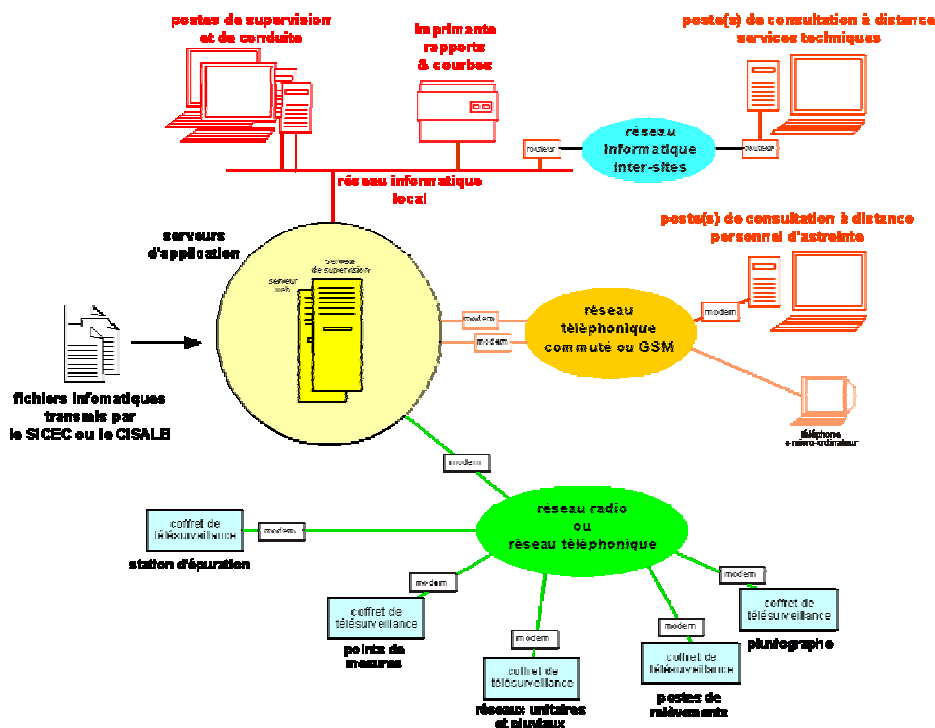
et plus particulièrement sur :

- le paramétrage des différents équipements et appareils mis en place
- les procédures de premières urgences en cas de défaillance d'un équipement et l'utilisation des pièces de rechanges
- les procédures à respecter pour l'intégration de nouveaux ouvrages ou la modification d'ouvrages existants

La formation sera d'une durée minimum de cinq jours fractionnables pour 4 personnes.

Point de détail à ne pas oublier

Schéma : Exemple d'architecture du futur système de télésurveillance



3.5.1 Exécution des travaux -Qualité des matériaux et matériels

Les textes et documents applicables aux travaux d'électricité et d'automatisme sont les suivants :

- les normes et prescriptions de la Commission Electrotechnique Internationale (C.E.I.), et en particulier celles du Comité d'Etude n° 57 (téléconduite, téléprotection et connexes pour les systèmes électriques de puissance) ou par la Commission française U.T.E./C.E.F. correspondante du précédent comité
- les normes et prescriptions de l'organisation International de Standardisation (I.S.O.), et en particulier celles relatives aux télécommunications et au modèle de référence O.S.I.

ou toutes autres normes reconnues équivalentes à celles-ci.

Les références aux documents énoncés ci-avant ne constituent pas une liste limitative. Elles sont un rappel des principaux textes applicables en vigueur.

3.5.1.1 Câblage

A l'intérieur des ouvrages, tous les câbles électriques sont placés soit dans des fourreaux ou dans des caniveaux fermés déjà existants, soit dans des chemins de câbles en PVC à la charge de l'Entreprise. Tous les câbles sont enterrés, aucun câble n'est visible à l'extérieur.

Les câbles utilisés sont de type industriel conformes à la norme NFC. Les câbles pour courants faibles utilisés en mesure sont blindés pour éviter toutes interférences parasites.

Précaution sur la protection des fourreaux en milieu agressif (déflecteurs inox), contre l'arrachement, l'intrusion d'eaux et de rongeurs

3.5.1.2 Pose des câbles électriques

Afin d'éviter les intrusions d'eau dans les ouvrages ou les coffrets par les fourreaux électriques, l'Entreprise étanchera, par un dispositif validé par le Maître d'Oeuvre (presse-étoupe, mousse polyuréthane, etc.), tous les fourreaux mis à sa disposition et en provenance de l'extérieur.

3.5.1.3 Nature et qualité des équipements

Tout le matériel fourni répond aux normes correspondant à sa fabrication et à sa catégorie. Il porte le label USE. Pour les matériels non encore agréés ou en cours d'agrément, une dérogation exceptionnelle peut être accordée sous réserve :

- de disposer de toutes les garanties
- qu'il n'existe pas de matériel équivalent agréé

3.5.1.4 Harmonisation des équipements

Tous les matériels électriques et électroniques similaires (afficheurs, boutonneries, signalisation, relais, automates, sous-stations, console d'exploitation, etc.) seront, dans la mesure du possible, de même marque et dans la même gamme de produits.

Dans un souci d'harmonisation et de standardisation des équipements électriques du Service de Eaux du Maître d'Ouvrage, mais aussi afin de limiter les formations et les stocks de pièces de rechange, les matériels seront obligatoirement compatibles avec les produits déjà existants sur sites.

3.5.1.5 Coffrets électriques

L'Entrepreneur devra la fourniture des coffrets et armoires électriques nécessaires. Celles-ci seront de couleurs, de tailles et de formes similaires. Elles seront toutes prévues montées sur socle (coffret au dessus du niveau des plus hautes eaux, même en période d'inondation) et prévues pour un usage en extérieur et en milieu urbain. De plus, elles disposeront individuellement d'un chauffage et d'une ventilation.

Les coffrets et armoires disposeront d'une réserve de place équivalente à 20 % de la place occupée par

les équipements du présent marché. Dans la mesure du possible, toutes les armoires seront identiques en termes d'installation intérieure des équipements.

Aucune prise de courant ne sera installée directement dans les regards. Par contre, il sera possible de disposer d'une alimentation 220V (outillage) et 24V (baladeuse) depuis chaque coffret électrique.

3.5.1.6 Protection contre les effets de la foudre

L'Entreprise veillera à installer des dispositifs de protection contre les effets de la foudre (parasurtenseurs, parafoudres), et plus particulièrement pour :

- les matériels d'automatismes (automates, terminaux, station de télésurveillance, etc..)
- tous les matériels de métrologie
- tous les réseaux de communications permanents ou temporaires, ainsi que les éléments actifs qui les composent

Tous les matériels seront mis en œuvre conformément à la législation et aux normes en vigueur.

3.5.1.7 Sous-stations de supervision

Les sous-stations de supervision (*encore appelés satellites ou coffrets de télésurveillance*) auront au minimum les caractéristiques suivantes :

- configuration logicielle complète y compris « automatismes locaux »
- capacité de stockage local des valeurs au minimum de 3 jours
- possibilité de créer un réseau local
- possibilité de déport des cartes Entrées/Sorties
- raccordement par modem RTC, GSM, LP, LS ou radio
- archivage des points analogiques et des événements
- fonctions logiques, arithmétiques et d'automatisme
- alimentations secteur et batterie
- possibilités variées de stockage des données (simple et double cadences, échantillonnage, auto-contrôle, seuil, etc.)

Les matériels proposés devront être évolutifs et modulaires. Afin d'assurer la fiabilité maximum des installations, le remplacement des matériels ou leur dépannage seront aisés et rapides. Chaque coffret installé disposera d'une réserve de 20 %, sur les borniers des signaux d'entrée et de sortie. Les

Prévoir une réserve suffisante pour permettre l'évolutivité et l'extension du

équipements de protections des sous-stations sont à la charge de l'Entreprise (entrées/sorties, alimentation électrique, communications).

système

La pérennité des matériels devra être assurée pendant une période au moins égale à cinq ans et, à ce titre, les pièces de rechange seront disponibles ou devront être compatibles avec les matériels qui pourraient être mis en service ultérieurement.

Les matériels auront une compatibilité totale avec le poste central à créer (procédures de dialogue et de transfert des données).

3.5.1.8 Poste central de supervision

Le logiciel de supervision (implanté dans le Poste Central) devra être totalement compatible avec les sous-stations. Il devra intégrer au minimum les modules suivants :

- programmation en ligne
- gestion des graphiques couleurs interactifs haute résolution
- représentation graphique des données en temps réel et historiques (courbes)
- gestion des alarmes et des défauts
- archivage et consultation des temps de fonctionnement et de mise en service (maintenance)
- gestion d'astreinte
- journal des événements (accès à la supervision, modifications, connexions, ...)
- gestion des communications
- compatibilité avec d'autres types de sous-stations et d'automates (protocoles de communication)
- interface avec un tableur (type Excel ou similaire, ...)
- fonctionnement en multi-postes selon une architecture de type client/serveur
- un fonctionnement totalement compatible avec un serveur d'application web ou métaframe

3.5.1.9 Analyses fonctionnelles et schémas électriques

Toutes les étapes de programmation ou de configuration de matériels ou de tâches informatiques feront, en préalable à leur réalisation, l'objet d'une analyse fonctionnelle détaillée. Selon le cas, ces analyses fonctionnelles seront complétées par des schémas électriques. Les travaux ne pourront être menés que lorsque l'Entreprise aura reçu la validation du maître d'œuvre pour l'analyse fonctionnelle correspondante.

Au minimum, chacune des étapes suivantes fera l'objet d'une analyse fonctionnelle :

- la réalisation de chaque coffret électrique
- l'architecture du système informatique industriel (matériels et réseaux)
- la réalisation des écrans synoptiques, y compris la liste des variables correspondantes, les animations prévues et l'arborescence des différentes vues
- le formatage des rapports d'exploitation quotidiens, mensuels et annuels, dont la réalisation est à la charge de l'Entreprise

Etape consommatrice de temps, mais fondamentale : codification, circulation des informations, paramétrages, etc.

3.5.1.10 Aménagements du local poste central

Le mobilier du local comprendra au minimum deux tables, deux fauteuils d'exploitation, deux meubles de rangement. Il présentera une homogénéité de forme, de matière et de couleurs avec les mobiliers déjà existant.

3.5.1.11 Vérifications

La vérification de tous les travaux électriques sera effectuée par un organisme de contrôle agréé et donnera lieu à l'attribution d'un certificat de conformité. La rémunération de ce contrôle reste à la charge de l'Entreprise.

3.6 Travaux de génie civil et canalisation

3.6.1 Consignes générales pour les travaux de génie civil et canalisation

Les consignes générales pour la réalisation des travaux de terrassement, génie civil et canalisation sont définies par l'annexe 1 au présent CCTP.

Une synthèse des prestations et modalités d'exécution est donnée aux paragraphes suivants.

3.6.2 Terrassements et génie civil

Ces travaux comprennent toutes les sujétions liées au terrassement et au génie civil nécessaire à la mise en place des canalisations des fourreaux et des nouveaux regards.

Les modalités générales d'exécution sont précisées en Annexe 1 du présent C.C.T.P.

Une synthèse des prestations et modalités d'exécution est rappelée ci-après.

3.6.2.1 Fourreaux et canalisations en tranchée

Les fourreaux électriques et les canalisations, entre le regard et l'armoire de mesures ou le coffret électrique, seront installés en tranchée, selon les règles de l'art, à 50 cm de profondeur, au-dessus de la génératrice supérieure.

Ces travaux comprennent :

- la fourniture et la pose des fourreaux et des canalisations
- la réalisation des terrassements (tranchée, lit de pose, remblai, grillage avertisseur vert, compactage, revêtement supérieur si nécessaire)
- le percement, éventuel, de génie-civil existant
- la fourniture et la pose des boîtes de tirage nécessaires
- le tirage des câbles
- le repérage des câbles
- le scellement des percements réalisés

Concertation utile sur l'implantation des coffrets électriques et les demandes de branchements (urbanisme, électricité, telecom)

Evolutivité facilitée par un fourreau supplémentaire en attente (câblages ultérieurs, en vue de la mesure qualitative ou autre)

3.6.2 Génie-civil des nouveaux regards ou chambres

Les regards ou chambres seront entièrement réalisés en béton armé avec addition d'adjuvants hydrofuges. Ils seront munis d'échelons et d'une crosse amovible (conformément au C.C.T.G. fascicule 70).

Les regards devront être étanches. Ils le resteront même en cas d'inondation du site (hauteur d'eau : 1 m). Le site du PR14 (le Tremblay) est situé en zone inondable, le regard sera rehaussé de 1 mètre par rapport au terrain naturel.

La fissuration sera considérée comme « très préjudiciable ».

Les regards et les chambres de mesures ne devront en aucun cas peser sur les canalisations (étude du lestage et de la poussée des eaux).

Ces travaux comprennent :

- la réalisation des terrassements (découpe propre des revêtements et des collecteurs, tranchée et fouille, lit de pose, remblai, compactage, revêtement de finition si nécessaire)
- les blindages, puisements et rabattements éventuels
- les travaux de ferrailage, coffrage, coulage et décoffrage ou, si cela est le cas, la préfabrication et la pose sur site d'ouvrages en béton
- le raccordement (avec reprise de l'étanchéité) aux réseaux existants

3.6.3 Equipements hydrauliques divers

3.6.3.1 Equipements hydrauliques et divers

La provenance des matériaux et produits entrants dans la composition des ouvrages doit être agréée par le Maître d'Ouvrage. De plus, l'Entreprise devra respecter les types de produits utilisés sur site.

Tous les équipements proviendront d'usines possédant le label qualité. Ils porteront les marques de leur provenance et leur série de fabrication.

3.6.3.2 Visserie - Boulonnerie

La visserie et la boulonnerie concernant les équipements installés seront en adéquation avec les matériaux à assembler et le milieu ambiant (réseau d'assainissement, ouvrage enterré...). Ces dispositions concernent tous les systèmes d'ancrage éventuels dans le béton.

3.6.3.3 Brides

Les brides seront de type ronde et le gabarit sera conforme à la norme NF E 29201. Les brides seront montées avec joint élastomère d'étanchéité parfaite et de qualité compatible avec la pression de service.

3.6.3.4 Pièces de raccords, joints de démontage

Tous les appareils de robinetterie à bride ainsi que les tuyauteries à bride pourront être démontés à l'aide de raccords spéciaux de type autobuté.

Ces pièces d'étanchéité parfaites, compatibles avec la pression de service, seront protégées contre la corrosion et, dans tous les cas, revêtues d'une protection complémentaire par peinture époxy d'au moins 100 microns.

3.6.3.5 Tampons des regards

Les tampons situés sur les réseaux ou les ouvrages hydrauliques seront en fonte ductile et auront, sauf indications particulières, les caractéristiques minimales suivantes :

- classe de résistance : 600 kN
- type : non ventilé, articulé
- section de passage : 800 mm minimum

La section des tampons sera ajustée en fonction de l'encombrement des appareils, afin de pouvoir les sortir sans déposer le génie civil.

3.6.3.6 Robinets vannes

Les robinets vannes seront des robinets à guillemettes, en fonte ductile, avec joints à brides PN 10 à écartement court et ayant les prescriptions spéciales suivantes :

- corps et couvercle en fonte ductile revêtus entièrement par poudrage époxy (épaisseur mini 100 microns)
- la vis et l'écrou de manœuvre ainsi que le siège seront en acier inoxydable
- étanchéité au droit de la vis par 2 joints toriques
- laque après grenaille sur les pièces détachées, avant montage, brun-rouge
- volant de manœuvre ou bouche à clef, sens de fermeture horloge

3.6.4 Entretien et remise en état des voiries

L'Entreprise se rapprochera des Services de l'Équipement et des collectivités XXX pour s'enquérir des conditions de circulation sur les voiries que doivent utiliser ses engins de travaux publics et tous autres véhicules à son usage.

Il doit l'entretien de toute voirie sur laquelle ses engins circulent, et cela, pendant toute la durée du chantier, ainsi que la remise en état en fin de chantier.

3.7 Hygiène et sécurité

Le Maître d'Ouvrage désignera un Coordonnateur pour la mission S.P.S. L'Entrepreneur devra se conformer aux prescriptions imposées par le Coordonnateur.

Il ne s'agit pas d'une opération classique : chaque site de mesure correspond à un chantier à part entière.

-Co-activité forte entre interventions de travaux et d'exploitation : les réseaux sont en fonctionnement et de la responsabilité du maître d'ouvrage avec l'exploitant

-Formation du personnel intervenant dans le cadre des travaux aux modalités d'intervention en réseaux d'assainissement utile

3.8 Propreté du chantier

L'Entrepreneur doit la protection et le nettoyage des ouvrages à exécuter, afin de livrer ou de rendre les matériels et ouvrages en parfait état de propreté.

Si, malgré les prescriptions ci-dessus, le chantier n'était pas maintenu dans un état de propreté suffisante pendant l'exécution des travaux ou, si les ouvrages ou les locaux n'étaient pas livrés dans l'état de nettoyage définitif demandé par les pièces du contrat, le Maître d'Ouvrage pourra, en l'absence du Responsable de chantier, ordonner, chaque fois qu'il le jugera nécessaire, le nettoyage général du chantier, les frais correspondants étant à imputer à l'Entreprise défaillante.

3.9 Stockage provisoire des matériels et matériaux

Sur les sites, pendant la phase des travaux, tous les matériels électriques et électroniques approvisionnés et non encore installés seront stockés dans des endroits secs et aérés. Si des traces d'humidité (ou condensation) ou des marques de dégradation étaient constatées sur ces matériels du fait de mauvaises conditions de stockage, l'Entreprise devra les remplacer à ses frais dans les plus brefs délais.

4- Article 4

Mesures qualitatives

4.1 Préambule

L'arrêté du 22 juin 2007 Art. 18 demande pour les déversoirs situés sur un tronçon collectant une charge brute supérieure 600 kg/j de DBO5 d'estimer la charge polluante (DCO et MES) déversé par temps de pluie ou temps sec.

Cette estimation pourra être réalisée sous réserve de l'accord du Service de la Police de l'Eau :

par des campagnes de mesures permettant de déterminer des concentrations par point de mesure (il faudra que le point de mesure puisse accueillir provisoirement un préleveur et que l'alimentation électrique ainsi qu'éventuellement l'asservissement soit disponible sur site),

par installation de préleveurs à postes fixes et analyses des paramètres DCO Et MES,

par l'installation de systèmes de mesure en continu (turbidimètre, mesure par UV) et le calcul de corrélations.

Le choix de la solution retenue (installation à poste fixe, modalités d'échantillonnage, prélèvement indirect, matériel ATEX....) se fera en fonction des objectifs recherchés :

- répondre à minima à la demande réglementaire,
- diagnostic permanent (impact sur le milieu, dimensionnement d'ouvrages de stockage.....) ;
- modélisation

Si l'option installation de matériel à poste fixe est retenue, les contraintes d'installation et d'exploitation (programmation, nettoyage du matériel, formation du personnel...) devront être intégrées dans le projet.

Dans le cas d'installation provisoire, la faisabilité sera aussi étudiée.

Le point de prélèvement devra être représentatif (zone brassée mais écoulement homogène).

4.2 Matériel de prélèvement

4.2.1 Spécifications pour les échantillonneurs

4.2.1.1 Installations à poste fixe

Les préleveurs seront alimentés en 230V ~50Hz, utiliseront le principe de prélèvement à dépression pour une prise d'échantillon en écoulement libre par pompe à vide.

Les échantillonneurs seront conçus et réalisés en armoire réfrigérée et thermostatée, en matériau résistant à la corrosion (acier inoxydable 316 L pour les structures métalliques) pour une utilisation en atmosphère saturée en humidité ou chargée en H2S (selon norme ISO 5667-10). Les mêmes résistances sont demandées pour le groupe froid, les serrures, la serrurerie et les pompes. La température intérieure de l'enceinte de prélèvement sera réglable, respectera une consigne de 4°C +/- 1°C avec la possibilité d'une programmation du dégivrage automatique.

Les échantillonneurs seront livrés pour un fonctionnement par répartition dans 4 flacons d'environ 10 litres.

Ces préleveurs auront les caractéristiques suivantes :

- Echantillonneurs pour prélèvements automatiques et manuels d'échantillons d'eaux usées (station ou réseau d'assainissement),
- Volume réglable des échantillons : minimum inférieur ou égal à 20 ml et maximum supérieur ou égal à 200 ml avec une incertitude de ± 5 % maximum,
- Purge des canalisations avant chaque prélèvement avec une durée de purge réglable,
- Fonctionnement possible pour des températures extérieures comprises au minimum entre -15°C et +40°C,
- Gestion par microprocesseur avec programmation par clavier à effleurement imperméable et afficheur LCD ou DEL,
- Prélèvements asservis à :
 - o une durée gérée par une horloge interne,

Choix entre 2 technologies (pompes péristaltiques ou pompes à dépression).

Attention à la corrosion.

La réfrigération garantie la bonne conservation de l'échantillon (y compris MES/DCO même si ces deux paramètres sont relativement stables). Cf. Norme NF EN ISO 5667/3, 1996

Le flaconnage (volume, matière) est à adapter en fonction des objectifs recherchés (pollutogramme, paramètres à analyser). Cf. Norme NF EN ISO 5667/3, 1996

Rappel : 24 flacons de 1 litre permettent un grand nombre d'échantillonnage possible. Le polyester est utilisé pour les paramètres classiques et le verre est recommandé pour les hydrocarbures, PCB, substances volatiles et prioritaires.

- un débit impulsionnel de maximum 25 Hz,
 - un débit analogique 0/4 - 20 mA ou 0 - 5/10 V DC,
 - un événement,
- Aspiration jusqu'à 6 m CE et à une vitesse minimale de 0,5 m/s pour un tuyau d'aspiration d'un diamètre intérieur d'au moins 9 mm (selon ISO 5667 - 10),
 - Flacons ergonomiques, d'environ 10 litres, en polyéthylène résistants aux passages en lave-vaisselle (environ 85 à 100°C), équipés de poignées et de bouchons vissables avec joints d'étanchéité
 - Pendant la période de prélèvement, le passage d'un flacon au suivant se fera en mode temps ou en mode volume écoulé dans le flacon,
 - L'arrêt du remplissage d'un flacon sera réalisé par détection de l'anti-débordement et/ou par comptage du volume écoulé dans le bidon. Le passage au flacon suivant se fera suite à la détection de l'anti-débordement ou sera réalisé lorsque le temps de permutation sera atteint,
 - Quel que soit l'asservissement des préleveurs (mode temps, mode débit, etc.), le début et la fin de la campagne de prélèvement pourront être programmés par définition de la date et de l'heure (JJ/MM/AA HH :MM),
 - La programmation d'une campagne de mesure sera possible au moins 60 jours à l'avance et 3 programmes, au minimum, pourront être mémorisés.

Il est souhaitable que le matériel choisi puisse en plus être piloté par l'extérieur et d'avoir un retour d'information de son fonctionnement sur la supervision.

L'utilisation de crépine n'est pas recommandée.

Cf. Fiche technique Préleveur à venir

4.2.1.2 Installations temporaires

L'entreprise étudiera la possibilité d'implanter provisoirement (matériel portable) à proximité du point de mesure.

L'entreprise prévoira un asservissement des préleveurs (câble, installation ; sortie TOR, programmation, etc. ...) pour les stations de mesure situés sur les déversoirs d'orage.

Cet asservissement permettra de mettre en service l'échantillonneur, afin de réaliser des prélèvements lors de déversement.

4.3 Mesures en continu

Pour des raisons de sécurité, de facilité d'entretien et de sauvegarde du matériel, il faudrait prévoir un circuit de dérivation représentatif de l'écoulement et permettant une maintenance aisée.

Les plus	Les moins
<ul style="list-style-type: none"> - Sécurité des personnels - Conditions de travail - Maintenance plus facile - Nombre de mesures beaucoup plus important 	<ul style="list-style-type: none"> - Encombrement (nécessite un local) - Installation d'une boucle de pompage, - Maintenance du circuit de prélèvement, - Nécessite des étalonnages une à deux fois par an et vérifications environ mensuelles, - Corrélation avec les paramètres (DCO et MES) à établir pour chaque site, et à suivre dans le temps - Coût global

Le choix de la mesure en continu s'inscrit dans une démarche allant au delà de l'autosurveillance réglementaire, station d'alerte, gestion en temps réel, régulation ...

Cf "Mesures en hydrologie urbaine et assainissement" BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., LAPLACE D., JOANNIS C., CHEBBO G., coord. , Éditions Tec&Doc -- Chapitre 22

Cf. Norme ISO 7027 et NF EN 27027

Cf. Conférence SHF "Transports solides et gestion des sédiments en milieux naturels et urbains",

Cf. <http://www.turbidité-assainissement.cil.fr>

4.3.1 Mesure de turbidité

Dans l'attente d'une fiche technique spécifique, il faut se reporter aux différentes publications disponibles sur le sujet.

Quelques informations importantes :

- se limiter à la gamme 0-4000 NTU,
- nettoyage automatique du capteur indispensable avec un balai intégré à la sonde,
- amortissement réglable souhaitable
- étalonnage minimum sur 5 points choisis en fonction du site et du capteur

L'exploitation des résultats peut être facilitée par l'utilisation de logiciels spécifiques (ex : Matlab)

4.3.2 Mesure de substances organiques

L'appareil permettra de mesurer en continu l'absorption Ultra Violet ~ Visible des substances organiques en solution, sans préparation d'échantillon.

L'appareil sera capable de réaliser cette mesure sur des "eaux usées" de type entrée de station d'épuration, y compris sur des effluents colorés.

Les caractéristiques du matériel sont :

- Gamme de mesure : 0 à 1500 m-1,
- Précision sur la mesure : 10 m-1,
- Sonde submersible autonettoyante,
- Etablissement d'une courbe d'étalonnage avec une dizaine de points au minimum,
- Afficheur Minimum LCD rétroéclairé,
- Logiciel de traitement des données.

Maintenance plus lourde que pour la mesure de turbidité pour la cellule de mesure

Cités pour mémoire.

Peuvent être utiles pour la surveillance de rejets industriels

4.3.3 Autres mesures en continu

- La mesure de pH
- La conductivité
- La mesure de la température

5- Article 5

Réception des travaux

Extrait du CCTP du Grand Lyon

5.1 Essais et réception

Les prestations à la charge du Titulaire comporteront les essais de contrôle, la vérification des tests et les mises en service nécessaires aux réceptions des ouvrages et rappelées ci-après. D'une façon générale, le Titulaire doit mettre en œuvre toutes les opérations préalables permettant de procéder à la mise en service en garantissant:

- Les critères de qualité demandés,
- La sécurité du personnel,
- La fiabilité et la pérennité des équipements.

Un cahier de recette et un protocole d'essais avant réception devra être mis en place.

5.1.1 Cahier de recettes et de réception

Dans son offre, le Titulaire proposera un cahier minimal de recettes et de réception qui avant mise en application devra faire l'objet d'une approbation du Maître d'Ouvrage.

Il est indiqué à ce sujet, que le Maître d'Ouvrage se réserve le droit de réceptionner certaines installations, ou équipements ou partie d'installation en atelier avant réception sur le chantier et mise en œuvre définitive.

5.1.2 Protocole d'essais

Un protocole des essais à réaliser avant réception des travaux sera également joint au cahier de recettes, il comportera en particulier:

- Un essai simulé,
- Un essai réel (éventuel),

On peut aussi prévoir que ces essais soient réalisés par un organisme indépendant, il faut alors définir le programme d'essai.

Définition de « recette » - réception essais labo

Le maître d'ouvrage peut proposer son cahier de recettes, consolidé au fur et à mesure des expériences.

- Les conditions d'essais des autres équipements.

Ce protocole d'essais devra avoir reçu l'agrément du Maître d'Ouvrage avant toute passation de marché.

5.2 Tests préalables à l'installation

Tous les appareils de mesures devront avoir été soumis aux tests décrits ci-après. La soumission du rapport d'essai et son acceptation seront un préalable obligatoire à leur installation.

5.2.1 Capteurs piézorésistifs

Le Titulaire procédera à un test sur colonne d'eau ou à l'aide d'un générateur de pressions : Hauteurs testées 0 %, 50 % et 100 % de la pleine échelle, en vérifiant le respect des caractéristiques données par le fabricant (erreur maximale, dérive maximale, ...).

Afin de tester la dérive dans le temps, après le test sur une colonne d'eau, le capteur de pression sera immergé dans un récipient maintenant un niveau constant d'au moins un mètre de colonne d'eau et seront maintenus pendant 15 jours avec l'enregistrement des valeurs mesurées. Le test sera reconsidéré comme satisfaisant si le capteur ne présente aucune dérive dans le temps (test des moyennes) et si la différence entre le niveau d'eau mesuré et le niveau d'eau observé (avec un pas de temps d'acquisition des mesures de 10 minutes) est inférieur + ou - à 1 cm pendant 95 % du temps.

5.2.2 Capteurs capacitifs

Le Titulaire procédera à un test sur colonne d'eau ou équivalent : test de hauteur d'eau à 0 %, 50 %, et 100 % de la pleine échelle, en vérifiant le respect des caractéristiques données par le fabricant (erreur maximale, dérive maximale, ...)

5.2.3 Capteurs de niveau à ultrasons

Le Titulaire procédera à un test à définir par le titulaire : test de hauteur d'eau à 0 %, 50 %, et 100 % de la pleine échelle, en vérifiant le respect des caractéristiques données par le fabricant (erreur maximale,

IMPORTANT : *Les programmes d'essais doivent être transmis et validés dans le détail par le maître d'œuvre et/ou le maître d'ouvrage.*

A la demande du maître d'ouvrage :

- *les tests de hauteur pourront éventuellement être faits sur site ou dans les locaux de l'exploitant (pour les 3 premiers types de capteurs)*
- *l'exploitant pourra demander à assister aux tests pour les capteurs de vitesse*

Ne pas dissocier le couple capteur - transmetteur

Pour les capteurs piézorésistifs, suivant le site d'installation, il peut être intéressant de les tester le au-delà de la pleine échelle (150% par exemple)

dérive maximale, ...)

5.2.4 Capteurs de vitesse à effet DOPPLER

Le Titulaire réalisera des essais en laboratoire, en conditions dynamiques, à différentes gammes de débits, adaptées au site d'installation, en vérifiant le respect des caractéristiques données par le fabricant (erreur maximale, dérive maximale, ...)

5.2.5 Capteurs de vitesse par corde à ultrasons

Le Titulaire réalisera des essais en laboratoire, en conditions dynamiques, à différentes gammes de débits, adaptées au site d'installation, en vérifiant le respect des caractéristiques données par le fabricant (erreur maximale, dérive maximale, ...)

5.2.6 Poste local de télégestion

5.2.6.1 Tests fonctionnels

Chaque système local subira une série de tests préalables à l'installation selon la procédure suivante :

- Simulation du fonctionnement de chaque centrale d'acquisition (ou coffret de télégestion) en liaison avec des équipements permettant la simulation des entrées et des sorties,
- Le cas échéant, simulation du fonctionnement de chaque automate-acquisiteur en liaison avec un micro-ordinateur d'interrogation et de transfert des données par l'intermédiaire d'une interface d'échanges et de deux modems,
- Simulation en plate-forme de l'installation avant le montage sur site.

5.2.6.2 Calcul des débits

Simulation des entrées de hauteur et de vitesse conformément au type de capteur mis en place :

- Soit par un générateur de courant,
- Soit par un clavier numérique.

Pour chaque station de mesure de débit, une dizaine de combinaisons de hauteur et de vitesse seront simulées.

Les résultats et les données de ces essais seront sauvegardés dans un fichier compatible avec ceux de l'exploitant.

5.2.7 Système central de télégestion

Les essais de télégestion se dérouleront dans les conditions les plus proches du fonctionnement normal prévu.

Les essais devront :

- porter sur la récupération des données, des alarmes et des anomalies de fonctionnement de chaque station de mesure.
- prendre en compte tous les calculs de débits, mais aussi les calculs de moyennes et de totaux journaliers, hebdomadaires, mensuels et annuels
- vérifier les fonctionnalités du module de validation des données (des données brutes aux données validées)

Il est recommandé de faire réaliser des tests préalables en plateforme.

5.3 Vérification in situ des sites de mesure

Le Titulaire effectuera les vérifications, les éventuels réglages et ajustages, in situ des points de mesures sous contrôle du Maître d'Ouvrage.

Le Titulaire soumettra préalablement au Maître d'Ouvrage un protocole de vérification spécifique à chaque site.

5.3.1 Mesure de hauteur ou de niveau

La vérification se fera par comparaison des mesures directes du niveau d'eau par rapport au repère nivelé et la mesure enregistrée par l'appareil au même instant.

L'écart devra être inférieur aux incertitudes.

5.3.2 Mesure de vitesse

La vérification se fera par comparaison des mesures directes de vitesse d'eau par rapport à un courantomètre électromagnétique ou un procédé par traçage permettant de mesurer la vitesse des effluents. Le procédé devra être validé par le Maître d'Ouvrage.

L'écart devra être inférieur aux incertitudes.

5.3.3 Mesure de débit

Dans un premier temps, on calcule les débits et les incertitudes associées.

De plus, les vérifications de débit en écoulement permanent sont réalisées :

- soit par Traçage, conformément aux normes en vigueur,
- soit par Micro-moulinet ou courantomètre électromagnétique (ou empotement)

Les contrôles auront lieu pour 2 débits différents.

Il s'agit de vérifier que la mesure se trouve effectivement dans la plage de précision de chaque appareil.

Il conviendra de faire les calculs d'incertitude sur la mesure in situ avant de faire les vérifications.

Cf fiche méthodologique n°2 du groupe de travail GRAIE sur l'autosurveillance "comparaison de deux valeurs"

- Pour les points de mesure situés dans des zones d'écoulement intermittent (déversoirs), le Maître d'Ouvrage se réserve le droit de décider de procéder à un jaugeage en provoquant un déversement, ou d'y renoncer.

Vérifier que le débit mesuré est bien dans l'intervalle de confiance du débit calculé.

Le cas échéant, vérifier les abaques de chaque point de mesure.

Le Titulaire établira son offre en considérant que la totalité des jaugeages seront effectués. Le coût mentionné au D.P.G.F. pour ceux-ci sera déduit en moins-value si le Maître d'Ouvrage renonce à les réaliser.

5.3.4 Mesure de pH

La vérification sera réalisée par comparaison des mesures directes avec au moins trois solutions de pH connu (solution tampon de pH 4 -7 -10).

5.3.5 Mesure de conductivité

Chaque sonde de conductivité possède une constante de cellule propre. Il convient de la déterminer pour une concentration de solution en chlorure de potassium voisine de celle qui est à mesurer.

5.3.6 Mesure de température

La vérification sera réalisée par comparaison des mesures directes avec au moins trois solutions de température connue.

5.3.7 Mesure de substances organiques

L'étalonnage sera réalisé par comparaison des mesures directes avec au moins trois solutions de substances organiques connues.

5.4 Récolement des travaux

Un géomètre ou un bureau de topographie fera le levé de la géométrie de la section de mesures et de l'implantation des capteurs dans les ouvrages au moment de l'exécution des travaux.

Les travaux de topographie sont à la charge du Titulaire et comprennent:

- Les levés des points remarquables dans les ouvrages d'assainissement,
- Les levés des formes d'ouvrages,
- Les récolements des positions des capteurs, des fourreaux, et les calculs géométriques correspondants (largeur, hauteur, périmètre mouillé, surface mouillée, rayon hydraulique).

Toutes les cotes seront données à plus ou moins 5 mm.

Le levé sera fourni en coordonnées Lambert 2 et IGN 69 altitude normale.

5.4.1 Capteurs de niveau immergés

Pour les capteurs piézorésistifs ou capacitifs, les cotes de la partie active du capteur seront levées et portées sur la coupe de l'ouvrage.

5.4.2 Capteurs de niveau à ultrasons

Un repère de niveau sera installé au droit de chaque capteur de niveau. Sa position dans la section de mesure sera établie et relevée par un géomètre.

5.4.3 Capteurs de vitesse

Les cotes des parties actives des capteurs seront levées et portées sur la coupe de l'ouvrage. Dans les ouvrages visitables, par paire de capteurs, le géomètre lèvera:

- La distance axiale entre sondes,
- Les distances en projection axiale et transversale par rapport à l'ouvrage,

- L'angle formé entre l'axe des sondes et l'axe de l'ouvrage.

Pour les ouvrages non visitables, ces informations seront acquises en atelier lors du montage des pièces préfabriquées.

5.4.4 Canal jaugeur

Avant la réception des travaux, un plan de récolement de l'ouvrage sera établi et certifié par un géomètre, afin de vérifier la conformité de la réalisation.

5.4.5 Cotes remarquables

Le géomètre notera toutes les cotes remarquables nécessaires à l'interprétation des mesures.

5.4.6 Formes d'ouvrages

En ouvrages visitables, le géomètre réalisera :

- La mesure de la largeur de l'ouvrage tous les 10 cm de hauteur,
- Le tracé du profil obtenu,
- Le calcul par tranche de 10 cm de la surface cumulée, et du périmètre mouillé.

Canal jaugeur : Une vérification dimensionnelle (pente amont, pente venturi, cote interne du col....) sera réalisée avant la mise en eau

5.5 Mise en œuvre opérationnelle, vérifications et réception

5.5.1 Vérification d'aptitude des sites de mesure –Lot 1

Les travaux suivants seront exécutés en présence du Maître d'Ouvrage:

- Vérification de la bonne marche des entrées et sorties,
- Raccordement des voies câblées,
- Tests des entrées et sorties sur le site après raccordement,
- Vérification des algorithmes de transformation des mesures analogiques en valeurs numériques,
- Tests des calculateurs de débit (uniquement pour les sites de mesures de vitesse),
- Tests de fonctionnement des commandes et des fonctions assurées par le poste local de télégestion.

5.5.2 Vérification de la conformité électrique des armoires, Lot 2

Le Titulaire devra fournir le certificat de conformité (CONSUEL) de chaque armoire établi par un organisme de contrôle agréé.

5.5.3 Vérification de fonctionnement du système de télégestion , Lot 1

Après vérification du bon fonctionnement des sites individuels, le Maître d'Ouvrage, en présence d'un représentant du Titulaire, vérifiera la télétransmission depuis le site central de télégestion.

Les opérations suivantes seront effectuées par le Maître d'Ouvrage, en présence d'un représentant du Titulaire, et donneront lieu à établissement d'un procès-verbal:

- Télémesures (interrogation de chacun des sites raccordés et visualisation de la mesure en cours),
- Télétransfert (récupération des données enregistrées depuis la réception des sites et visualisation des résultats),
- Téléparamétrage (modification des paramètres des sites de mesures).

En cas de défaut de communication, le Titulaire procédera à une nouvelle vérification des modems et centrales d'acquisition incriminés, jusqu'à résolution du problème.

5.5.4 Documentation

Le Titulaire remettra en 3 exemplaires et en version informatique compatible avec le système d'exploitation utilisé par le maître d'ouvrage :

- La documentation technique de chaque type de matériel (capteur, boîtier électronique, automate, etc.),
- Les schémas de principe, de câblage, d'implantation, etc. de chaque site,
- Les programmes détaillés des différents appareils avec commentaires
- Les PV de vérification en laboratoire et in situ,
- Les plans de récolement et relevés établis par le géomètre.

Par ailleurs, le Titulaire décrira dans son offre la formation qu'elle mettra en œuvre pour les personnels de la direction de l'eau chargés de l'exploitation et de la maintenance des capteurs.

5.5.5 Fonctionnement en période probatoire

Une phase de fonctionnement en période probatoire de trois mois minimum, avec des événements pluvieux mesurés sur les stations de mesure aura lieu après les essais et les vérifications, et avant la réception définitive.

Aucune défaillance de mesure (liée aux capteurs, câblages, centrale d'acquisition et télétransmission) ne doit être constatée durant cette période.

Dans le cas contraire, une nouvelle période d'essais de même durée pour tous les sites serait reconduite à partir de la remise en service des sites défectueux.

Durant les essais, tous les frais de surveillance, maintenance, et suivi des équipements sont à la charge du Titulaire.

L'issue de cette période d'essais sera notifiée par procès verbal.

ATTENTION :

Tous ces documents, et notamment les plans de récolement et les programmes détaillés commentés, sont primordiaux pour garantir la bonne exploitation du système. Il faut s'assurer de les récupérer et les vérifier.

Se reporter au chapitre formation

Attention à définir un délai minimum, mais aussi maximum. (maxi 9 mois dans l'exemple de Chambéry Métropole). C'est une période délicate du programme, la répartition des responsabilités durant cette période sont précisés dans le CCAP.

Contraintes à adapter en fonction des enjeux ; par exemple, proposer une réception partielle des points de mesure

5.5.6 Réception des sites

la réception des installations sera prononcée après:

- Le constat d'achèvement des travaux,
- La vérification et la validation des test in situ par le Maître d'Ouvrage,
- Le succès des derniers tests et de la période probatoire,
- La remise de l'intégralité des documents prévus dans le cadre du présent C.C. T.P.,
- La formation du personnel.

Penser à préciser les délais de garantie : il est prudent d'opter pour un délai de garantie de 24 mois à date d'achèvement des travaux, compte-tenu de la spécificité des installations.

Prévoir également des délais d'intervention (par exemple 8 heures pour l'informatique)

Cette période de garantie peut être mise à profit par l'exploitant pour faire remonter toute remarque ou anomalie au titulaire.

Il peut être intéressant d'organiser les échanges d'information (signalement des anomalies et réponse du titulaire) à l'aide de fiches navettes.

FICHES MÉTHODOLOGIQUES & 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.

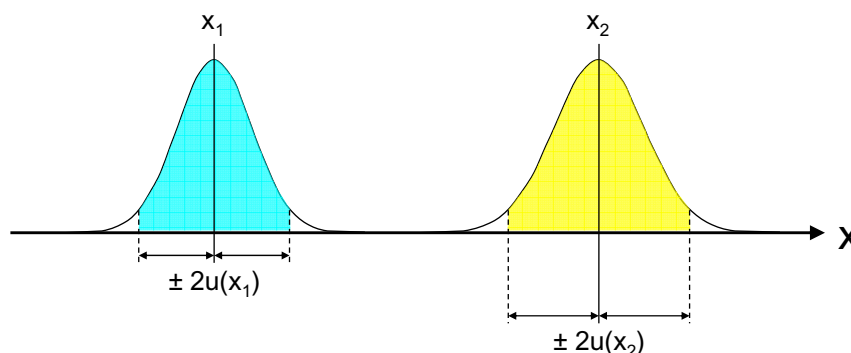


Figure 1 : deux valeurs x_1 et x_2 et leurs intervalles de confiance (loi normale)

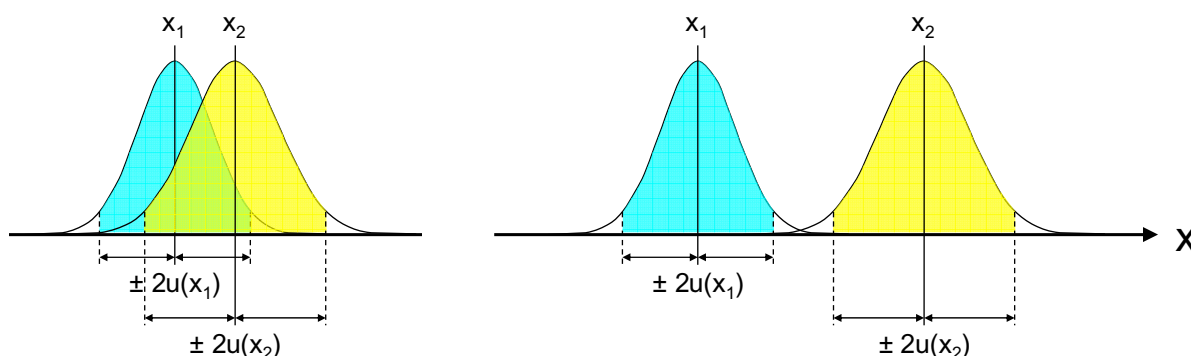


Figure 2 : gauche : valeurs équivalentes : droite : valeurs différentes

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 :

$$u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{3}} \quad \text{eq. 3}$$

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

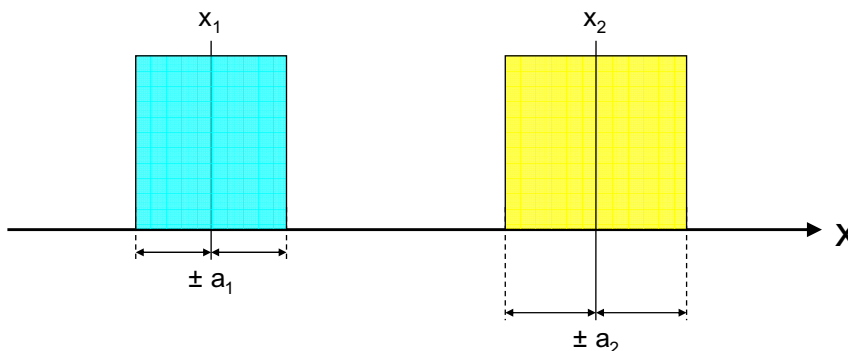


Figure 3 : deux valeurs x_1 et x_2 et leurs intervalles de confiance (loi uniforme)

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.

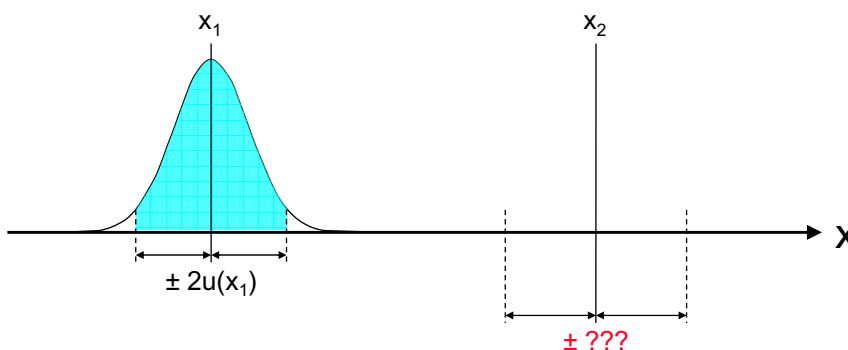


Figure 4 : distribution connue pour x_1 uniquement



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 :

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

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 :

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

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

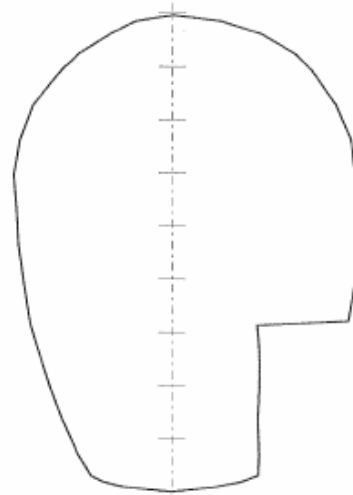


Figure 4.1 : section du collecteur type 064 à banquettes

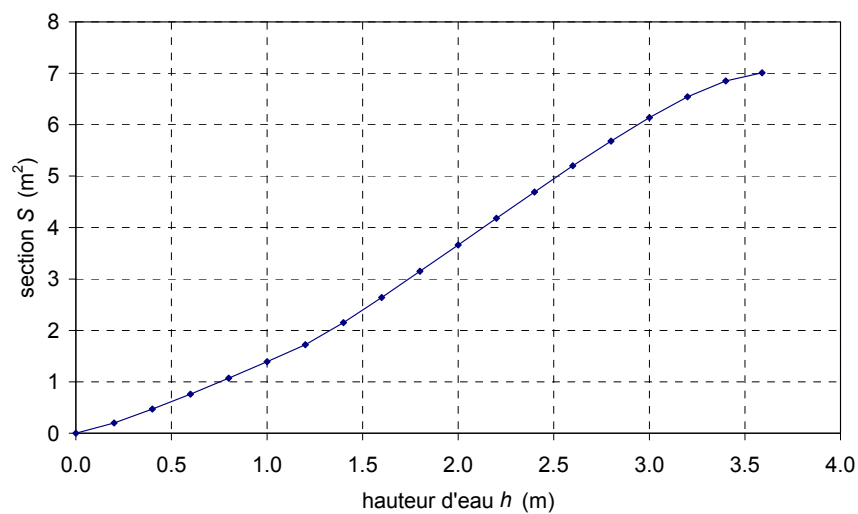


Figure 4.2 : tracé des couples de valeurs (h_i, S_i) pour le collecteur type 064 à banquettes

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 coordonnées $(1.2, S_1(1.2))$: 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.

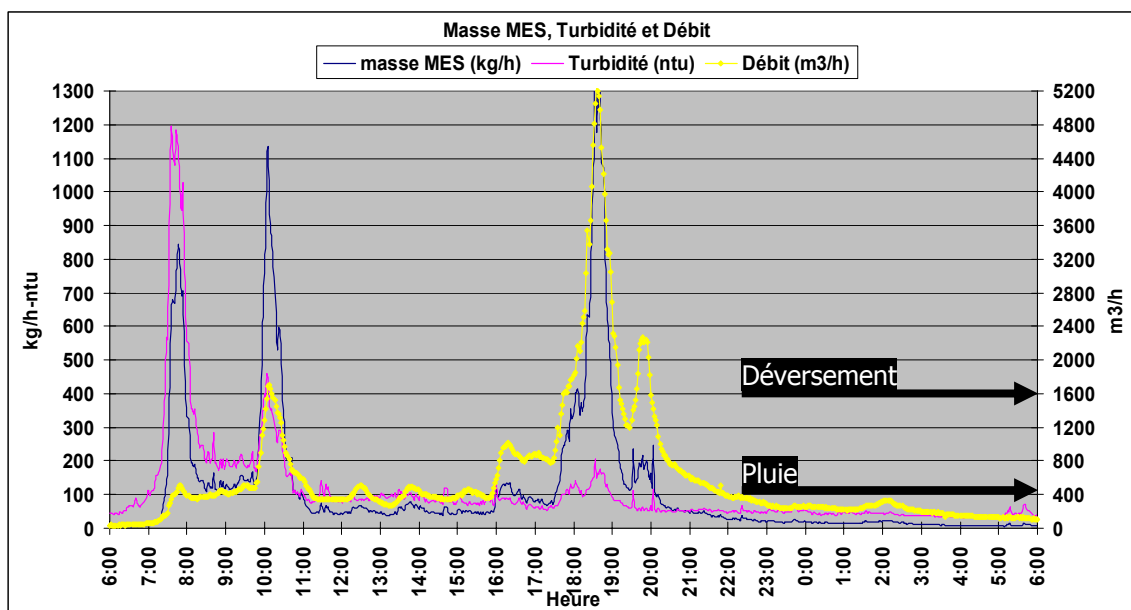


Figure 1: Débit massique de MES, turbidité ou concentration équivalente en MES et débit volumique, pendant une pluie (débit > 400 m³/h) avec 3 déversements (débit >1600 m³/h), dans le réseau unitaire d'Ecully au niveau d'un déversoir d'orage (Source: OTHU).

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.

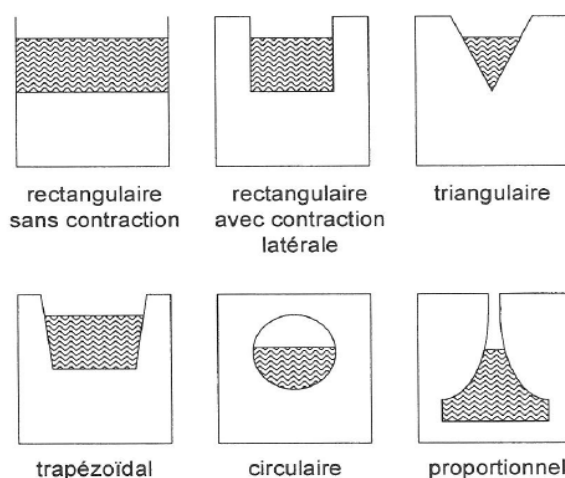


Figure 1 : Géométries des différents seuils (Voir Norme A311)
Source : Bertrand-Krajewski et al., 2000

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 :

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

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

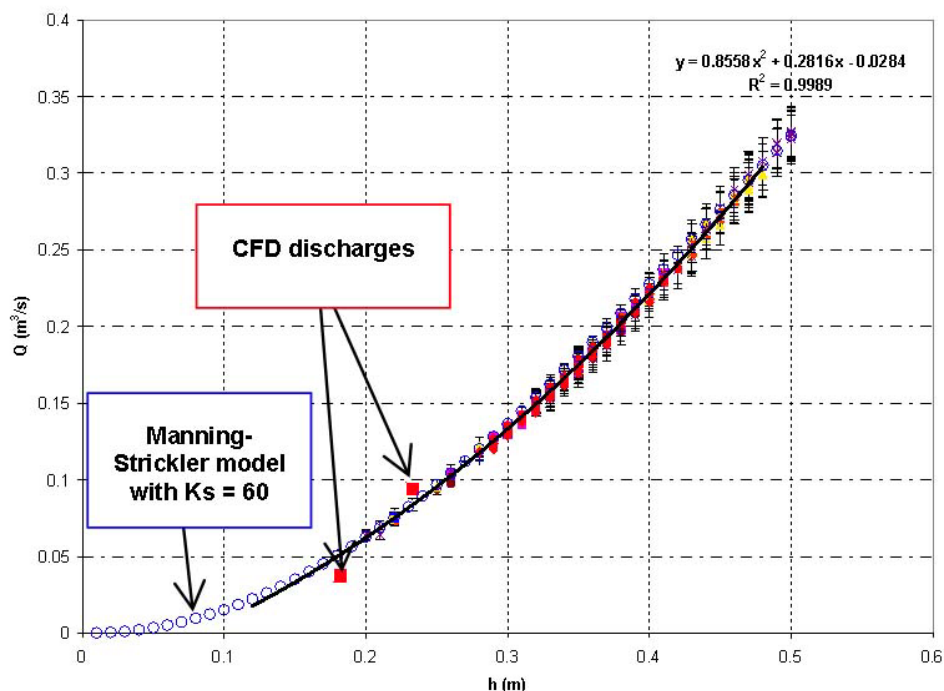


Figure 2 : Exemple de la relation numérique reliant la hauteur d'eau et le débit pour le cas du site industriel de Vénissieux. Relation Hauteur débit selon Manning-Strickler- Modèle M2 (courbe avec de petites bulles) et comparaison avec les résultats obtenus lors de l'utilisation du modèle M4 (courbe 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).

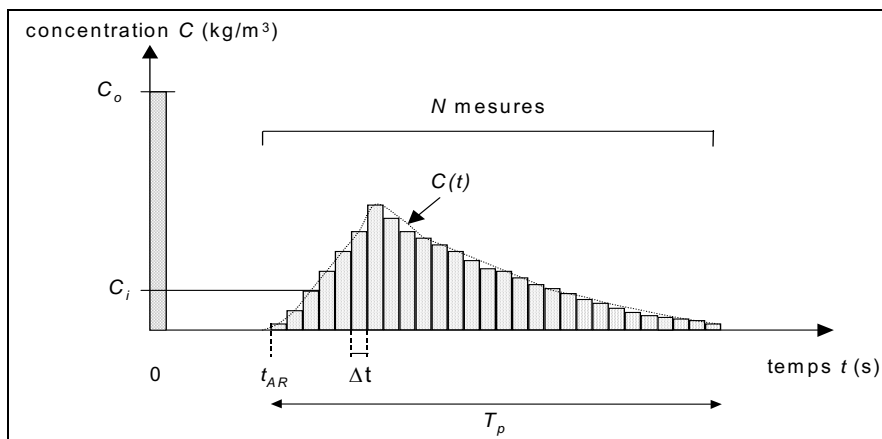


Figure 1 : traçage par injection instantanée (source Bertrand-Krajewski et al., 2000)

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 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (bruit de fond) à un pic de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (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 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) 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 m^3/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.

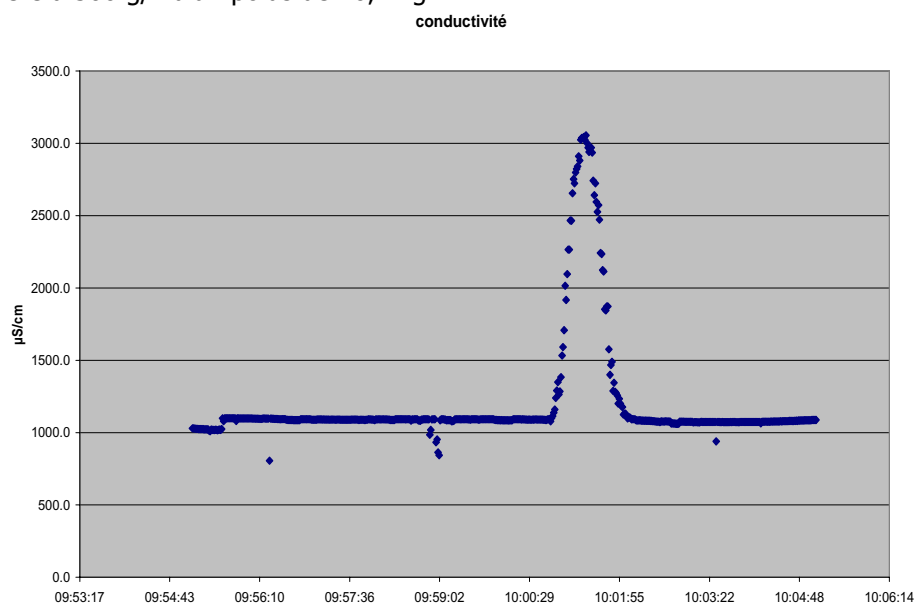


Figure 3 : Évolution de la conductivité après injection de 2.4 kg de sel (source Grand Lyon)

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

$u(C_{\text{ond}}) = 5$ μ S/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 sur les 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 structurales 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 bêche 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 niveaux 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.

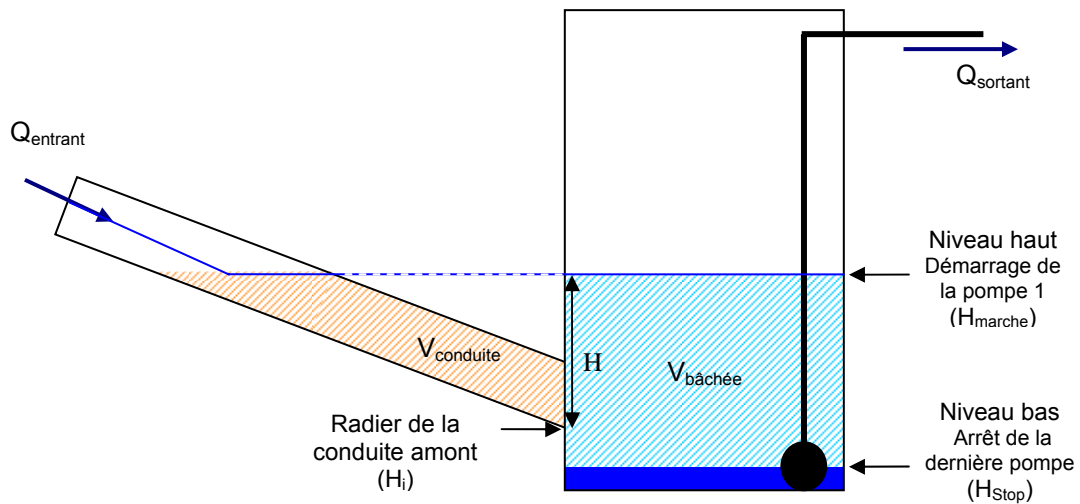
En complément de la télégestion, les postes sont généralement équipés d'une mesure de niveau dans la bêche, soit par une sonde à ultrasons, soit une sonde piézométrique (les poires de niveau étant alors conservées en secours pour la commande des pompes).



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 bêche 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 $S_{bâchée}$;
- 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 ;

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

- 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 :

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

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.

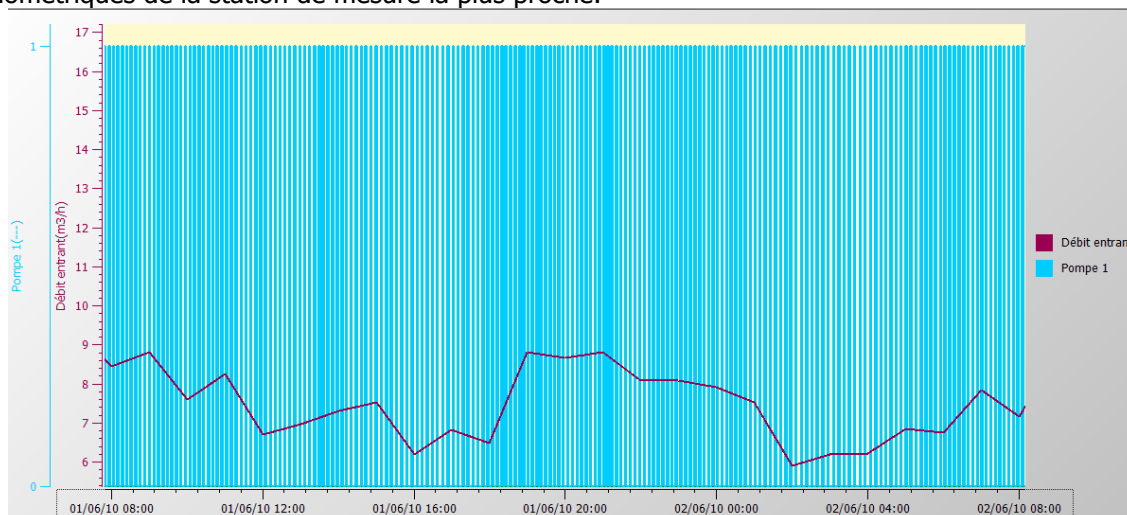
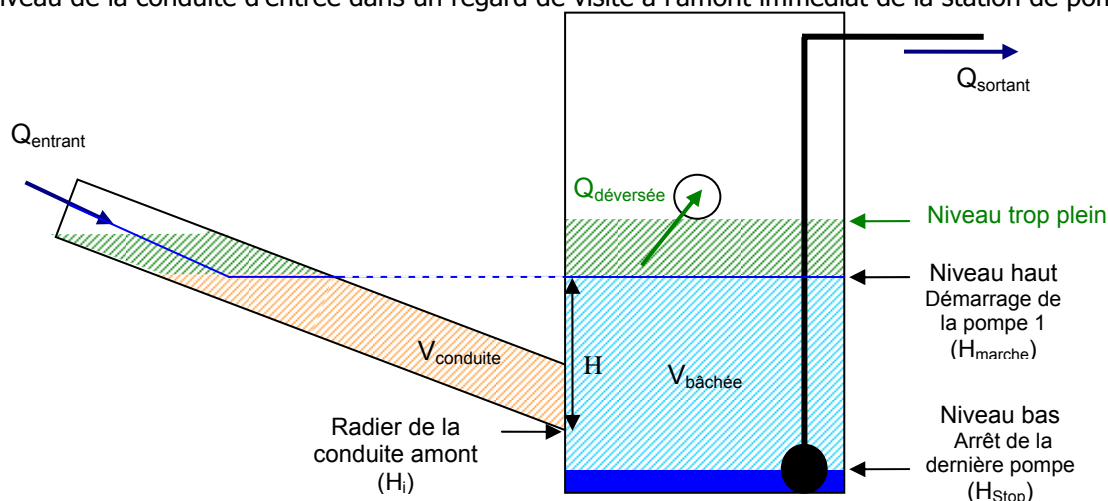


Fig.1: Exemple de transformation des horodatages marche/arrêt d'une pompe en débit entrant, Ville de Mâcon

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 EN ABSENCE D'INFLUENCE AVAL

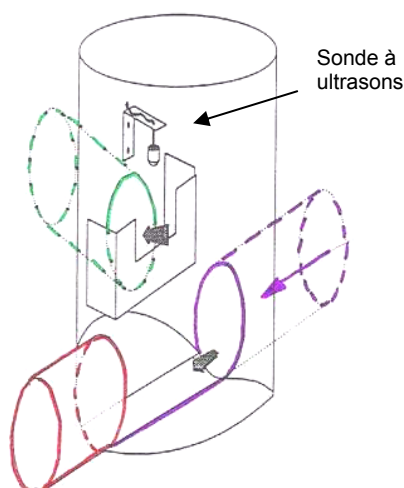
De manière générale, un trop plein de poste de relèvement est constitué d'un orifice souvent circulaire dans la paroi du poste et d'une conduite de surverse pour rejet direct dans le milieu récepteur via ou non, selon le contexte, le réseau séparatif pluvial. Cet ouvrage de sécurité peut également être 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'Agence de l'Eau Loire Bretagne recommande d'équiper l'orifice circulaire d'un seuil calibré permettant d'appliquer une loi hydraulique connue afin de transformer la hauteur d'eau en débit déversé. Ces seuils minces pré-calibrés peuvent être achetés fournis par des fabricants ou des revendeurs spécialisés dans ce type de dispositif. Sinon, ils peuvent être construits sur mesure par un bon chaudronnier local.



Illust. 4: B. Ollagnon, 2009



Illust. 5: Équipement d'un trop plein, Ville de Mâcon

Dans ces conditions d'équipement et d'aménagement de la section de mesure et en l'absence de clapet anti-retour, le débit déversé Q_{dev} peut alors être obtenu à partir d'une loi hydraulique du type $Q_{dev} = f(h_{eau})$ spécifique à la forme et aux dimensions du seuil. Dans le cas d'un seuil rectangulaire avec contractions latérales, la formule de Kindsvater-Carter peut être utilisée. Dans le cas d'un seuil sans contractions, la formule de Rehbock est utilisable.

Kindsvater-Carter :

$$Q_{dev} = \mu \frac{2}{3} \sqrt{2g} B_e h_{eau}^{\frac{3}{2}}$$

- avec :
- μ : coefficient de débit
 - B_e : longueur échancrure (m)
 - h_{eau} : hauteur d'eau (m)

Le coefficient de débit μ est une fonction de deux variables :

$$\mu = f\left(\frac{B_e}{B}, \frac{h}{h_p}\right)$$

- avec :
- h_p : hauteur de pelle (m)
 - B : largeur du chenal d'approche (m)
 - B_e : largeur de l'échancrure (m)
 - h : hauteur d'eau mesurée (m)

Rehbock :

$$Q_{dev} = (0,4023 + 0,0542 \frac{h_{eau}}{h_{seuil}}) B h_e^{3/2} \sqrt{2g}$$

Pour les conditions d'application de ses formules ou la définition des calculs correspondants à d'autres formes de seuils (triangulaire, circulaire, etc), se référer à Bertrand-Krajewski et *al.* (2000).

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.



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 ?

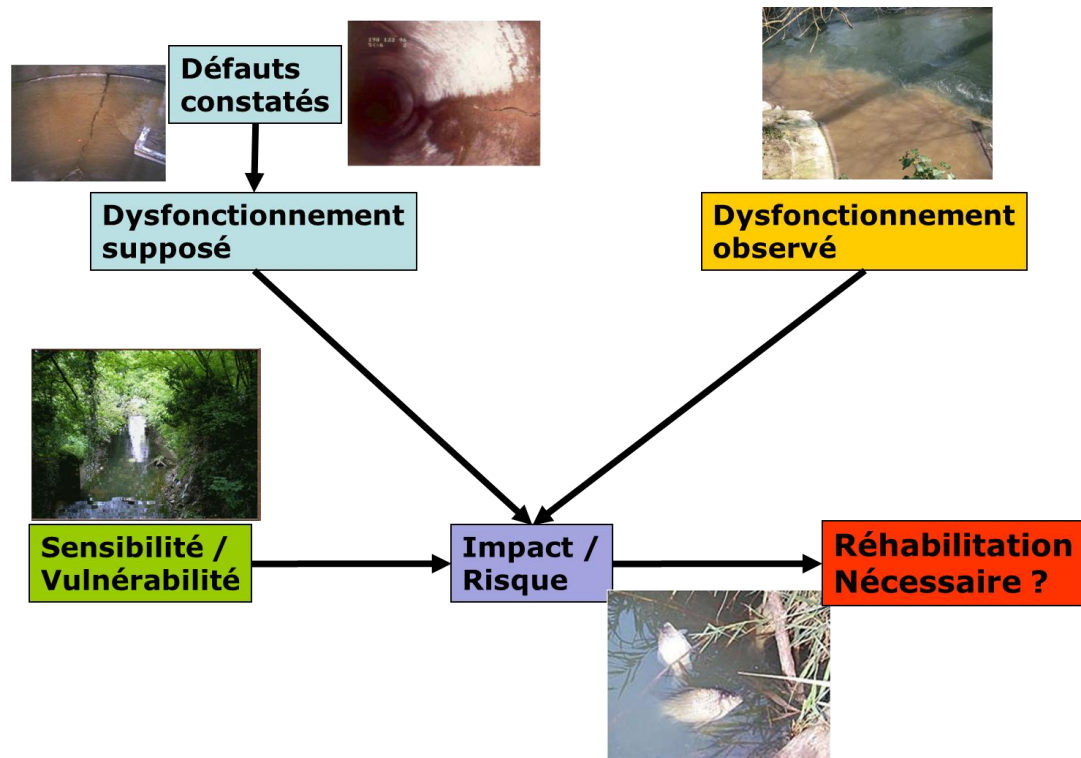
L'autosurveillance permet d'apporter des informations fondamentales pour bien cibler les réhabilitations. Par exemple, l'observation d'un débit important d'eaux parasites en entrée de STEP confirmera la nécessité de réhabiliter des conduites en amont sur lesquelles l'inspection télévisée a permis d'observer 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

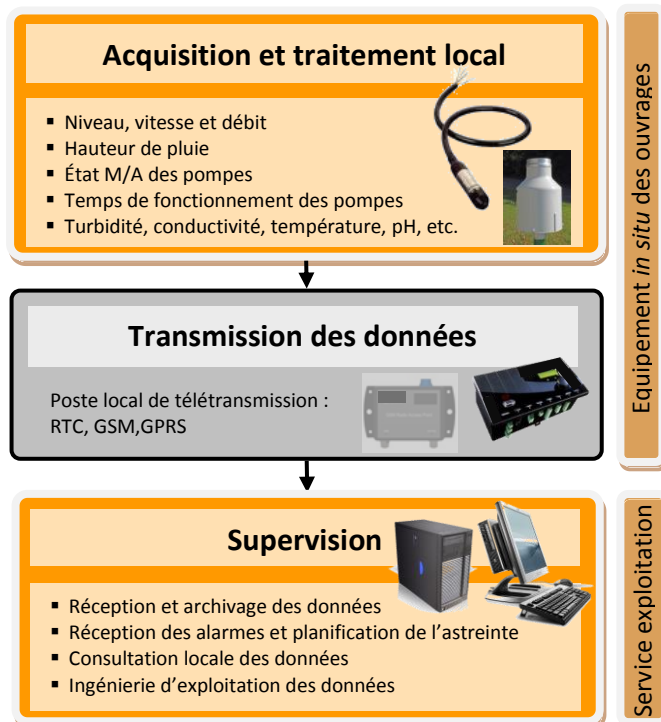
1. INTRODUCTION

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'autosurveillance 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



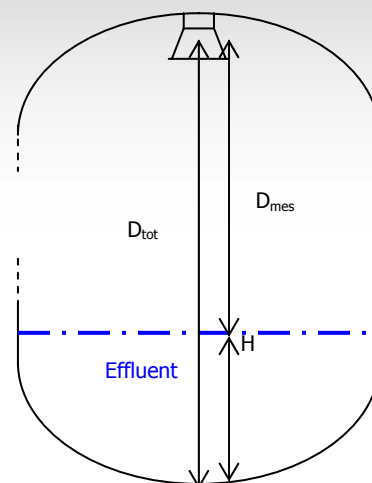
Fiche Technique n° 1 : Mesurage de la hauteur par capteur Ultrason

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

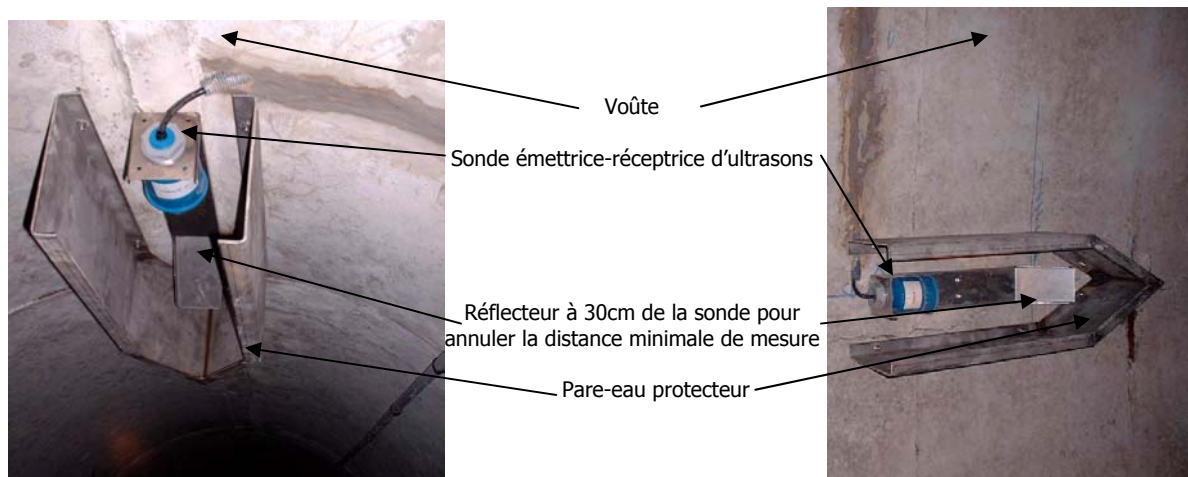
INSTALLATION

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.

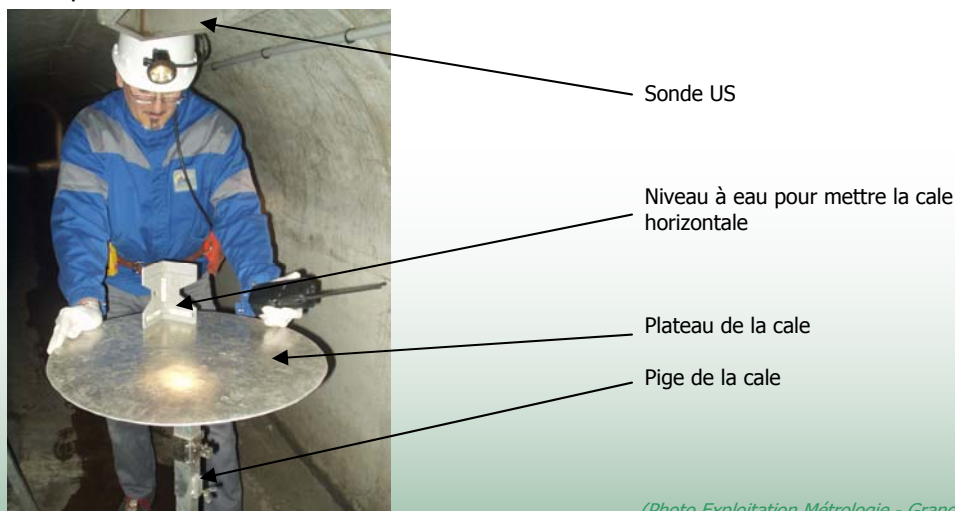
A chaque passage, une vérification simple est effectuée en comparant sommairement la mesure affichée par le transmetteur et la hauteur approximative réelle en égout. Cela permet d'apprécier les dérives importantes.

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.



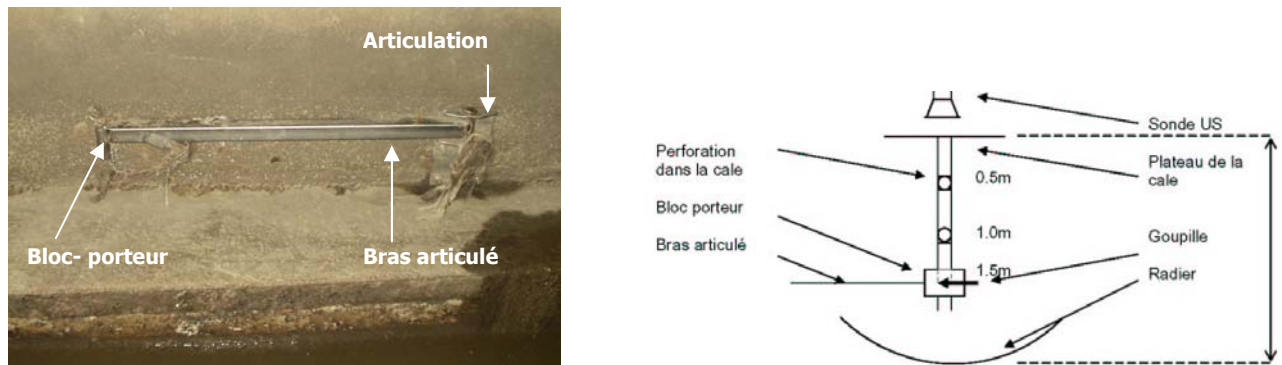
(Photo Exploitation Métrologie - Grand Lyon)

Système Particulier : Système à bras articulé ou sur rail

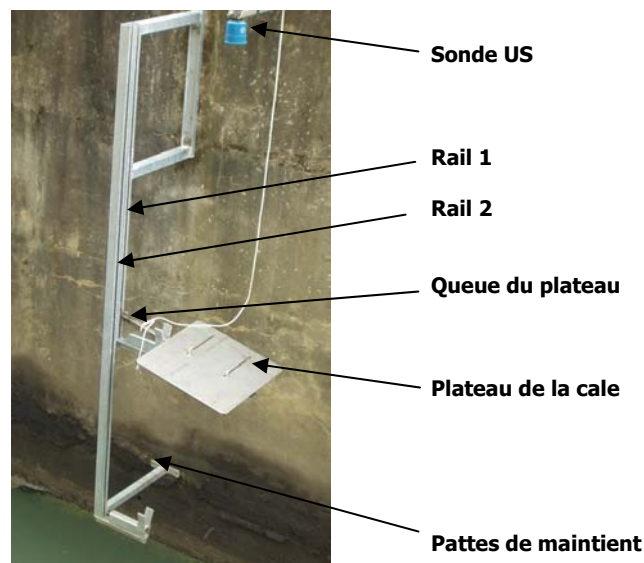
Lors qu'il est impossible de poser la cale correctement au fond du radier et sous la sonde, des bras articulés sont parfois nécessaire (Cf. photos ci-dessous).

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.

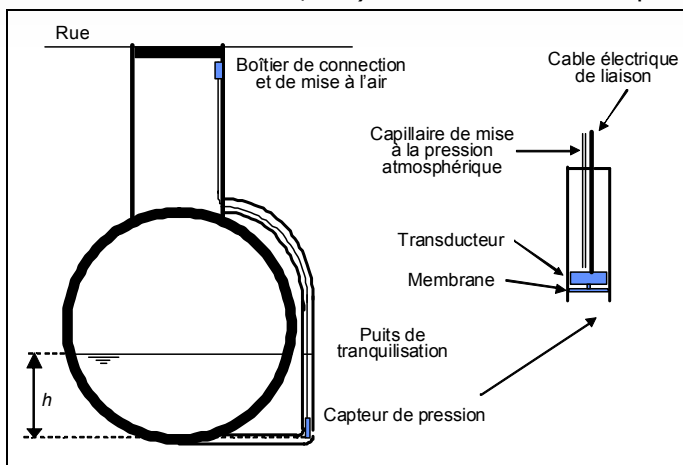


Fig.1: Schéma de Principe issu de l'ouvrage "Mesures en hydrologie urbaine et assainissement", BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., LAPLACE D., JOANNIS C., CHEBBO G

CRITÈRES DE CHOIX

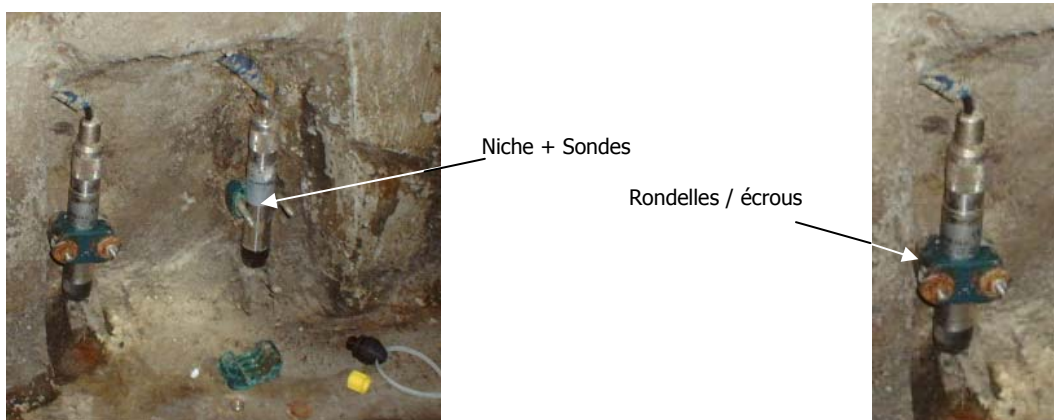
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Permet de mesurer les mises en charge éventuelles - Pas de zone morte sur la mesure - Coût d'investissement moyen - Faible consommation électrique possibilité de les équiper avec une alimentation autonome 	<ul style="list-style-type: none"> - 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

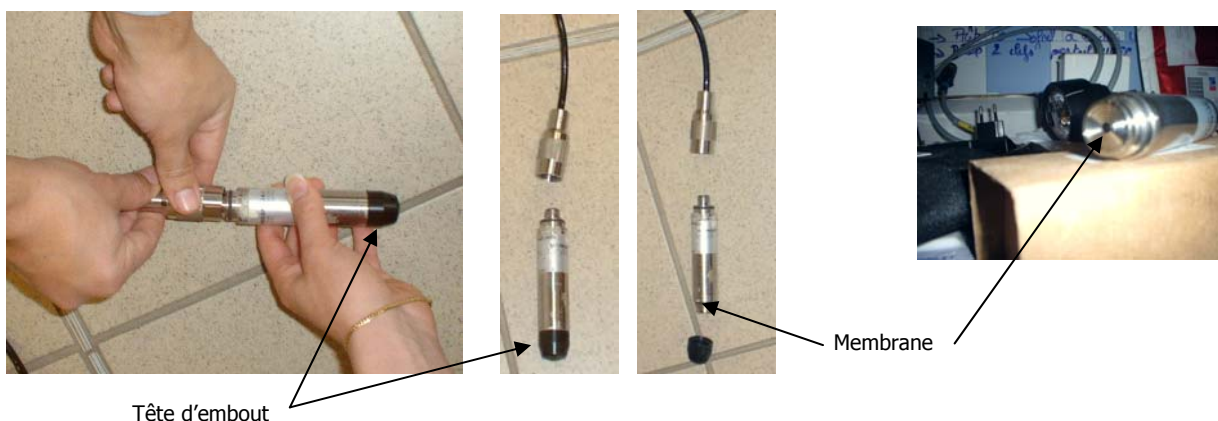
- Concevoir des installations permettant la maintenance et les vérifications régulières dans des conditions faciles pour les intervenants en égout.
Par exemple : Limiter le nombre de petites pièces (écrous, rondelles ...). Favoriser un système de clips ou de plaque amovible. (cf *Illust. 1*).
- Anticiper 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

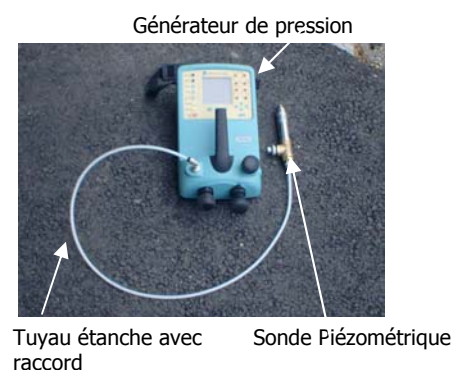
- Prévoir d'enlever la tête d'embout pour le nettoyage de la membrane (présence de vers, de dépôts...) avec un pulvérisateur d'eau.
- Si présence de sels dessicants, les remplacer régulièrement (évitent l'intrusion d'humidité dans les tuyaux capillaires, humidité susceptible de condenser dans le capillaire 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

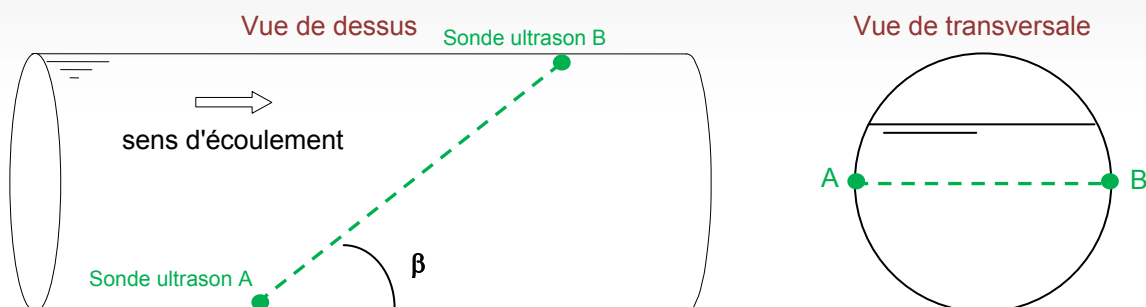


Fig. 1: Principe de mesure de la vitesse d'écoulement par temps de transit des ultrasons sur une corde

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.

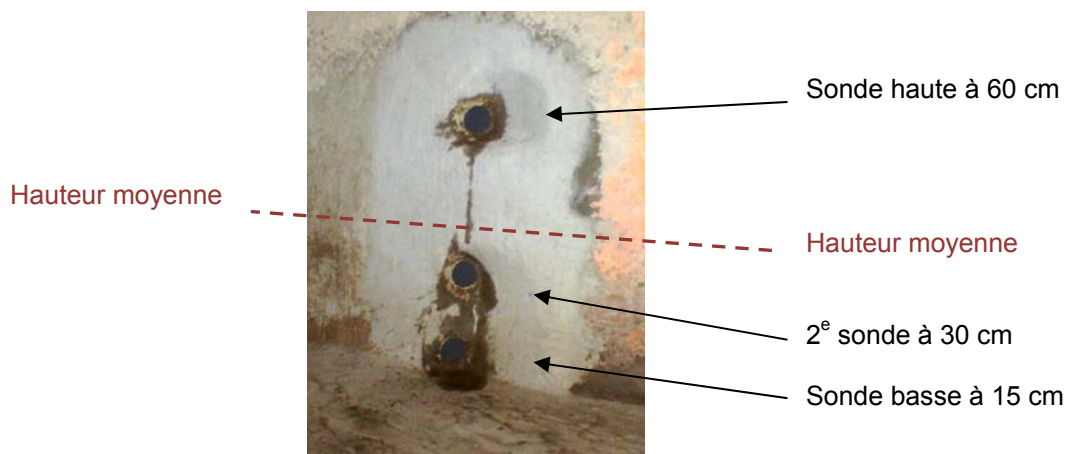
CRITÈRES DE CHOIX

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*

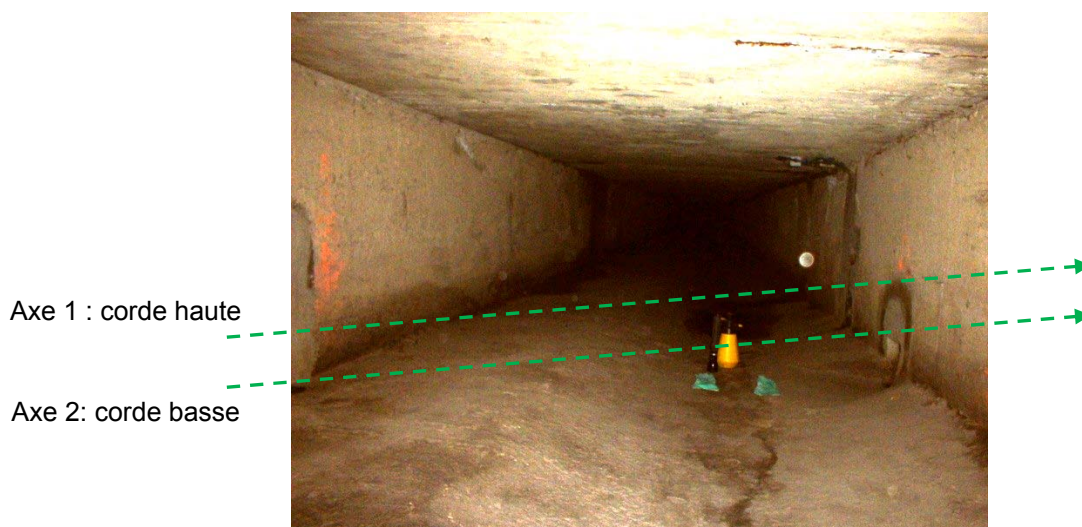
(*) Ce type de matériel peut être monté sur des rails, plus faciles à installer, mais peu de retours d'expériences pour l'instant.

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 réfléchi : 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 réfléchi 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.

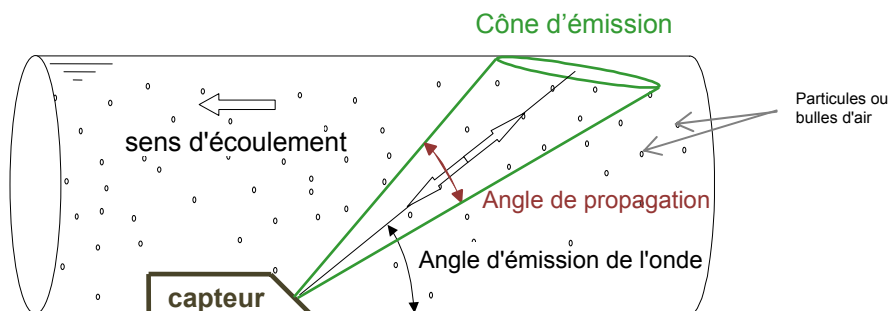


Fig. 1: Principe général de mesurage de la vitesse d'écoulement par effet Doppler

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.

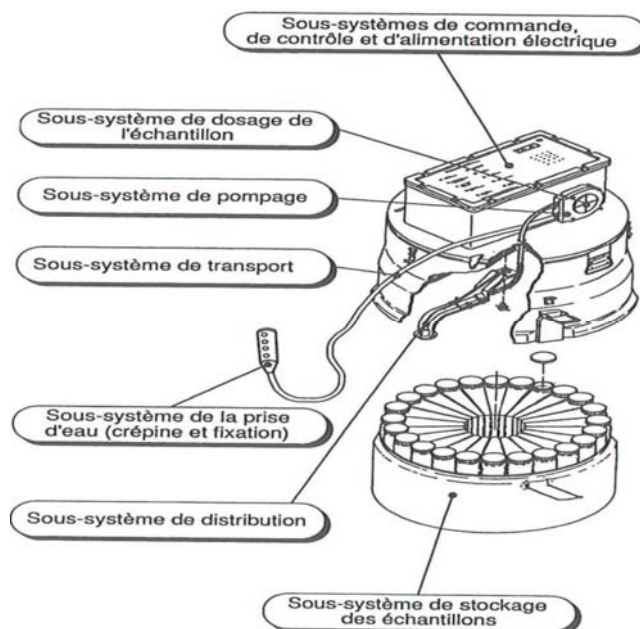


Fig. 1: Les sous-systèmes d'un préleveur portable

(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

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.

- **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)