

CHAPITRE. I : LA METROLOGIE DANS LES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT

I.1. Introduction :

La métrologie est la science qui étudie les mesures. En hydrologie urbaine, le terme est souvent associé à tout un ensemble de méthodes et de matériels et outils visant l'organisation, le suivi et l'analyse de mesures menées en différents points dans les réseaux d'assainissement.

I.2. Problèmes liés à l'évaluation des rejets urbains de temps de pluie :

_ Le premier problème est lié au caractère aléatoire de la pluie, qui est non maîtrisable et non reproductible.

Pour une étude efficace des rejets urbains de temps de pluie liés à un événement pluvieux, les systèmes de mesures doivent donc être prêts à fonctionner à tout moment.

Cette efficacité implique (suppose) la mobilisation d'un personnel qualifié pour réaliser la maintenance, l'intervention pendant ou après la pluie et l'utilisation d'appareils fiables pour éviter les dysfonctionnements des appareils de mesure.

_ Un second problème est lié au caractère aléatoire et transitoire des événements pluvieux. Ce caractère se traduit par une variabilité qui peut être importante du régime hydraulique dans le réseau d'assainissement. Les variations de niveau, le contrôle aval des écoulements et les mises en charge sont autant de facteurs souvent mal connus a priori, susceptibles de poser des problèmes non seulement pour la mesure elle-même, mais aussi pour la pérennité du matériel.

_ Un troisième problème est lié à la composition et la nature des effluents de temps de pluie. Les eaux qui transitent dans les réseaux d'assainissement sont insalubres et hostiles à la mesure. Ce milieu humide et très corrosif favorise les pannes, l'encrassement des capteurs.

Il y a plusieurs critères importants dans le choix d'une méthodologie. Les principaux critères sont :

- Les objectifs;
- Les paramètres à mesurer;
- Le choix du site de mesure;
- Les moyens disponibles.

I.3. Considérations méthodologiques :

I.3.1. Les objectifs :

Une définition claire et complète des objectifs est indispensable avant la mise en place d'une implantation de matériel de mesure, car elle implique les données à acquérir.

On peut distinguer trois types d'objectifs:

- Le contrôle du bon fonctionnement des ouvrages d'épuration (à moyen et à long terme)
- La connaissance du fonctionnement du système d'assainissement pour optimiser la gestion des ouvrages existants et réduire le flux déversés (sur le court terme) :
- L'aide à la définition d'une stratégie pour faire évoluer l'assainissement de l'agglomération.

I.3.2 Les paramètres à mesurer :

Le choix des paramètres à mesurer dépend des objectifs de l'étude, mais aussi des contraintes de celles-ci.

Dans les réseaux d'assainissement, les mesures de débit et qualité s'effectuent généralement en simultané afin de faire une relation entre les variations qualitatives et quantitatives. Celles-ci sont très variables d'un site à l'autre, d'un événement pluvieux à un autre voir même au cours d'un événement pluvieux. L'étude des rejets urbains en temps de pluie nécessite donc des mesures spécifiques pour chaque site en fonction des objectifs recherchés.

Deux types de mesures sont distingués : la mesure effectuée in situ (sur le terrain) et la mesure en laboratoire.

La mesure in situ peut être réalisée soit en continu soit en mesure ponctuelle, dans tous les cas l'obtention des résultats est instantanée. C'est le cas des mesures quantitatives telles les mesures de hauteurs ou vitesses d'eau dans les collecteurs.

L'analyse en laboratoire est nécessaire pour la connaissance de la qualité, et elle exige plusieurs étapes: le prélèvement, l'échantillonnage, le prétraitement et l'analyse.

Vu les caractéristiques des eaux de ruissellement urbain, il est nécessaire d'acquérir des mesures sur les principaux paramètres polluants tels que : *MES*, *DBO*, *DCO*, bactéries, hydrocarbures et métaux lourds. Du fait des coûts très élevés de telles analyses, les campagnes de mesures réalisées tendent à minimiser le nombre de paramètres à mesurer.

Enfin, en fonction de l'objectif, on pourra s'intéresser à un point de rejet particulier du réseau d'assainissement (mesures directes des rejets au niveau de déversoirs d'orage, à l'amont d'un rejet vers un milieu récepteur) et/ou aux rejets globaux du réseau (mesure en réseau puis évaluation des rejets par bilan de flux produit et transité). On pourra choisir d'évaluer les variations de la qualité des rejets urbains de temps de pluie pendant les événements pluvieux et/ou la qualité moyenne de chaque rejet mesuré.

Afin de préparer et de réaliser dans les meilleures conditions possibles les mesures citées ci-dessus, des campagnes de mesures préliminaires sur le site à étudier sont nécessaires pour le bon emplacement des appareils de mesure.

I.3.3. Choix du point de mesure :

Le point de mesure sera choisi en fonction des objectifs fixés, des informations citées précédemment (qui pourront influencer la qualité des eaux ou son écoulement), mais aussi en fonction de considérations pratiques de mise en œuvre. Celles-ci impliquent en effet :

- une facilité d'accès et de stationnement au point de mesure;
- la sécurité du matériel installé face au vandalisme;
- un accès facile aux lignes téléphoniques si on installe un système de gestion en temps réel, ainsi qu'aux lignes électriques;
- une facilité d'installation du matériel de mesure.

Le bon choix de l'emplacement des points de mesures va dépendre de la bonne connaissance du réseau d'assainissement, de son fonctionnement, de son état. Il importe de connaître la longueur, la section, la cote des collecteurs, la présence de singularité, ou d'ouvrages spéciaux (déversoir d'orage, station de pompage, chambre de dessablement, ...). Si les données structurelles du réseau ne sont pas disponibles sur plan, des enquêtes et des relevés de terrain seront nécessaires.

Aussi, il est nécessaire de connaître les spécificités de fonctionnement du réseau, telles les influences aval, les mises en charges locales, les infiltrations, les mauvais branchements, les points d'intrusions particuliers dans le réseau, les entrées d'eau de ruisseau par déversoir d'orage, les pratiques de curage ou de travail dans le réseau.

I.3.4. Disponibilité des moyens :

Pour réaliser une bonne campagne de mesure, la disponibilité de plusieurs facteurs est nécessaire à l'image des moyens financiers, matériels et humains.

Le nombre de points de mesures, la durée de la campagne de mesures et les paramètres à mesurer sont souvent limités par les dispositions financières.

Dans la majorité des cas, la collecte des informations quantitatives des mesures est faite à l'aide d'outil informatique et elle nécessite peu de moyen.

Par contre, dans le cas de l'évaluation de la qualité, on a recours à la prise d'échantillons qui nécessite la disponibilité d'un personnel important pour intervenir avant et/ou après un événement pluvieux dans les cas des prélèvements manuels d'échantillons.

**CHAPITRE.II : MESURE DE LA HAUTEUR ET DE LA VITESSE DANS LES
RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT**

II.1. Mesure de la hauteur d'eau :

Il existe plusieurs techniques qui permettent la mesure de la hauteur d'eau dans les réseaux d'assainissement, on peut les regrouper dans deux classes:

- Les techniques dites directes (capteur de position) :
 - flotteur;
 - palpeur;
 - ultrasonores aériens ou immergés (temps de transit d'une onde);
 - radar laser;
 - capteur capacitif.
- Les techniques dites indirectes (capteur de pression) :
 - Par mesure directe de la pression (piézo-résistif, piézo-capacitif, ...);
 - Par mesure indirecte de la pression (bulle à bulle ...).

Dans les réseaux d'assainissement les techniques les plus utilisées sont les techniques de mesure de temps de transit d'une onde, et les techniques indirectes.

II.1.1. Mesure directe de la hauteur d'eau :

Il existe différents types d'ondes (ondes acoustiques, ondes ultrasonores, ondes radar et ondes lumineuses de type laser) qui mesure le temps que met un signal pour effectuer le trajet aller-retour entre la sonde et l'interface eau/air.

Dans la pratique la méthode la plus employée est celle des ondes ultrasonores (capteurs ultrasonores), pour sa simplicité et la fiabilité de ses résultats.

II.1.1.1. Mesure de la hauteur d'eau par les capteurs ultrasonores :

Le principe consiste à mesurer le temps de parcours aller-retour d'une onde réfléchi par l'interface eau-air. Il existe deux types de capteurs, capteurs aériens ou immergés. Les capteurs aériens sont les plus utilisés à cause de la facilité de leur mise en œuvre et leur maintenance.

II.1.1.1. a. Limmimètre à ultrason aérien :

Principe de mesure :

Le capteur aérien, placé au-dessus de l'écoulement, émet par intermittence des ondes ultrasonores qui se propagent vers la surface de l'eau. Lorsqu'elles rencontrent l'interface eau-

air, une partie des ondes est réfléchiée vers le capteur qui fonctionnent alors en réception et permet ainsi la mesure du temps de transit aller-retour de l'onde.

Une zone morte est souvent présente sous le capteur, et sa valeur est fonction du type d'appareil utilisé de 2 à 50 cm.

La hauteur d'eau h est déterminée à partir de la distance d calculée par l'appareil.

La distance d (m) entre la surface de l'eau et le récepteur est proportionnelle au temps de transit de l'onde T_{tr} (s) et dépend de la célérité $C_{us\ air}$ (m/s) des ultrasons dans l'air.

$$h = D_{cr} - d = D_{cr} - C_{us\ air} \cdot T_{tr} / 2$$

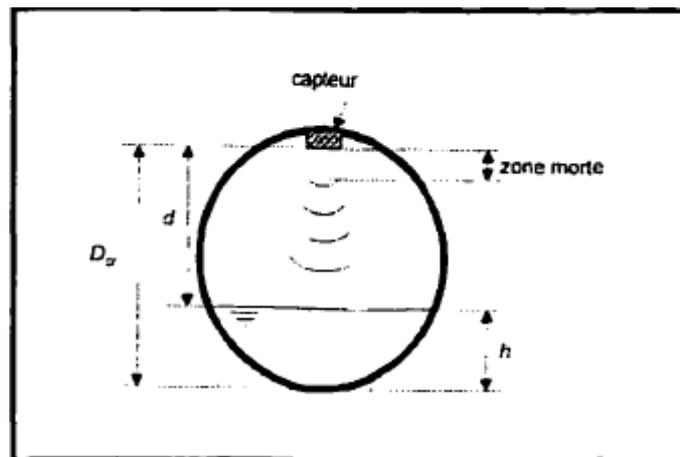
h : hauteur d'eau (rn)

D_{cr} : diamètre de la conduite (rn)

d : distance entre le capteur et la surface de l'eau (rn)

$C_{us\ air}$: vitesse de son dans l'air

T_{tr} : temps de transit de l'onde (s).



Capteur ultrasonore aérien en collecteur circulaire

Pour une température de 10°C, $C_{us\ air} = 337.62$ m/s. la célérité des ultrasons dans l'air $C_{us\ air}$ dépend principalement de la température θ (°C), dans une moindre mesure, de la masse volumique de l'air, de la pression et de la capacité calorifique. Si on ne tient compte que de la grandeur d'influence principale, la célérité augmente avec la température selon la relation.

La formule $C_{us\ air}$ est donnée par :

$$C_{us\ air} = 331.6 \sqrt{1 + \theta / 273}$$

θ : température de l'air en (°C).

II.1.1.2. Incertitudes :

Les sources d'incertitude sur la hauteur d'eau h proviennent essentiellement de la distance d , du temps de transit t et de la célérité des ultrasonores dans l'air C us air.

L'incertitude de mesure globale va dépendre de l'incertitude de l'appareil de mesure utilisé, de la qualité du personnel, de sa mise en œuvre, de l'influence du milieu de mesure et de sa variabilité, de la qualité de l'interface eau/air et de sa variabilité et sur l'incertitude sur l'étalonnage de l'appareil. Les capteurs ultrasons aériens les plus utilisés, offrent en général des incertitudes absolues de mesure de l'ordre de 0.2 à 0.3% (1cm) de l'étendue de la mesure.

II.1.1.1.b. Limnimètre a ultrason immergé :

Principe de mesure :

Ce type de capteur mesure le temps de parcours allé et retour dans l'effluent d'une onde à ultrasons réfléchi par la surface du liquide. La vitesse de propagation de l'onde doit être corrigée en fonction de la température. A l'inverse du dispositif aérien la sonde est dans l'effluent.

Mode de fonctionnement des capteurs :

La sonde émet un faisceau (angle du cône de diffusion de l'ordre de quelques degrés). Ce faisceau est réfléchi par la surface du liquide ou toute surface située dans le cône d'émission.

Il existe une zone morte, généralement inférieure à 5 cm, à proximité du capteur. Dans cette zone, l'appareil ne peut mesurer avec suffisamment de précision la durée du trajet optique de l'onde entre le capteur et la surface du liquide. La hauteur d'eau au-dessus du capteur doit toujours être supérieure à cette zone morte.

Les avantages sont de deux ordres, par rapport au dispositif émergé les mousses et flottants ne sont pas assimilés à une hauteur d'eau et la température de l'effluent est généralement homogène.

Implantation de la sonde :

Il faut une zone morte de quelques centimètres au-dessus du capteur qui nécessite un écoulement permanent avec une hauteur d'eau minimale de 10 cm.

Recommandations pratiques :

Il faut éviter les zones de dépôt dans les collecteurs, toujours décaler la sonde par rapport au fond du radier.

Limites d'application :

- Elles dépendent de l'utilisation faite de la mesure de hauteur ;
- Ecoulement permanent nécessaire ;
- Visite au minimum hebdomadaire (nettoyage de la sonde immergée) ;
- Risque d'encrassement ou de colmatage par des dépôts ;

- Risque de perturbation due à des échos sur de grosses matières en suspension proches du fond (mesure aberrante).
- Duré de vie réduite (capteur en milieu agressif) ;
- Incertitude sur la mesure de hauteur a priori, même ordre de grandeur que pour les autre limnimetre.

II.1.2. Mesure directe de la pression :

II.1.2.1. Capteur piézo-résistif :

Principe de mesure :

La pression de la colonne d'eau sur une membrane élastique génère une déformation. Cette déformation de la membrane est transformée en intensité électrique proportionnelle a la pression exercée et donc a la hauteur d'eau.

La hauteur d'eau h est calculée par la relation:

$$h = \frac{P_e - P_{atm}}{g(\rho_e - \rho_a)}$$

h : hauteur d'eau (m)

P_e : pression hydrostatique absolue (N/m²)

P_{atm} : pression atmosphérique (N/m²)

ρ_e : masse volumique de l'eau (kg/m³)

ρ_a : masse volumique de l'air (kg/m³)

g : accélération de la pesanteur (m/s²)

Comme $P_a \ll P_e$ la hauteur d'eau devient:

$$h = \frac{P_e - P_{atm}}{g\rho_e} = \frac{\Delta p}{g\rho_e}$$

ΔP : pression relative

Mode de fonctionnement des capteurs :

Ce dispositif de mesure évalue la hauteur d'eau à partir de la pression exercée par la colonne d'eau sur une membrane piézo-résistive. Pour transformer la pression en hauteur d'eau, il est indispensable de connaître la valeur de la pression atmosphérique.

Implantation de la sonde :

Mettre en place une communication entre l'air ambient et la face arrière de la sonde.

Recommandations pratiques :

Ce matériel convient bien aux écoulements ou l'on trouve fréquemment des mousses et des flottants.

Limites d'application :

Ces capteurs peuvent connaître des problèmes de justesse (erreurs systématiques) liés à une erreur de zéro ainsi qu'à des phénomènes d'hystérésis et de fluage.

Pour de la mesure permanente, utilisation restreinte à des configurations ne permettant pas l'utilisation des ultrasons aériens.

Incertitude sur la mesure de hauteur, comme pour les autres types de limnimètres, de l'ordre de 1 cm sur le résultat final affiché pour un appareil correctement installé et étalonné.

4.1.2.1 Incertitudes

L'incertitude sur la hauteur h s'exprime en fonction de la pression relative ΔP et de la masse volumique ρ_e .

- *incertitude sur la pression relative ΔP* : la mesure de la pression est relative par rapport à la pression atmosphérique, cette mesure est entachée d'erreur non négligeable due à la pression dynamique ($v^2/2g$). Pour diminuer cette erreur, il faut éviter les sites où les vitesses d'écoulement sont importantes.

- *Incertitude sur la masse volumique de l'eau ρ_e* : la masse volumique des eaux usées n'est pas constante, elle varie en fonction de la température, de la pression et de la concentration en divers éléments de masses volumiques différentes de celle de l'eau.

L'influence de la pression sur la masse volumique P_e peut être négligeable. Une variation de la température de 0 à 30°C entraîne une variation de la masse de 999,87 à 995,68 kg/m³, soit une erreur absolue de 0,5%, cette erreur peut être négligée. La concentration des éléments divers qui se trouve dans l'eau peut entraîner des erreurs significatives, il faut en tenir compte. Une erreur sur les concentrations entraînera une erreur sur la hauteur d'eau.

L'incertitude globale dépend en grande partie de l'exactitude de l'appareil de mesure utilisé, de la qualité du personnel, de milieu de mesure, de la vitesse d'écoulement, de la teneur des concentrations et enfin de l'incertitude sur la méthode d'étalonnage.

Les capteurs de niveau par pression présentent des incertitudes absolues de mesure de l'ordre de 0,1 à 0,5% de l'étendue de la mesure selon les conditions ambiantes.

II.1.3. Mesure indirecte de la pression

II.1.3.1. Limnimètre bulle à bulle :

Principe de mesure :

Le principe de cette technique est basé sur l'envoi d'un débit d'air (de 1 à 2 bulles par seconde) par un compresseur dans un tube (tube de Rilsan) de quelques millimètres de diamètre,

immergé dans l'écoulement pour que la pression de l'air envoyé équilibre la pression de la colonne d'eau située au-dessus de l'extrémité de tube immergé.

Mode de fonctionnement des capteurs :

Ce dispositif de mesure évalue la hauteur d'eau à partir de la pression exercée par la colonne d'eau sur des bulles d'air émises par un compresseur dans un tube immergé dans l'effluent.

La hauteur h est donnée par la formule (Bertrand-Krajewski et al., 2000):

$$h = Z_0 + \left(\frac{\Delta P}{g\rho_w \left(1 - g\rho_0 \frac{T_0}{T_a} \left(\frac{P_{atm} + \Delta h_2}{g\rho_w P_0} \right) \right)} - \frac{\kappa_w \Delta P^2}{2g(\rho_w - \rho_a)} \right)$$

g : accélération de la pesanteur (m/s^2)

P_0 : pression de l'air dans les conditions normales (N/m^2)

P_{atm} : pression atmosphérique (N/m^2)

T_0 : température de solidification de l'eau ($^{\circ}C$)

T_a : température de l'air ($^{\circ}C$)

Z_0 : offset (m)

κ_w : module de compressibilité de l'eau (m^2/N)

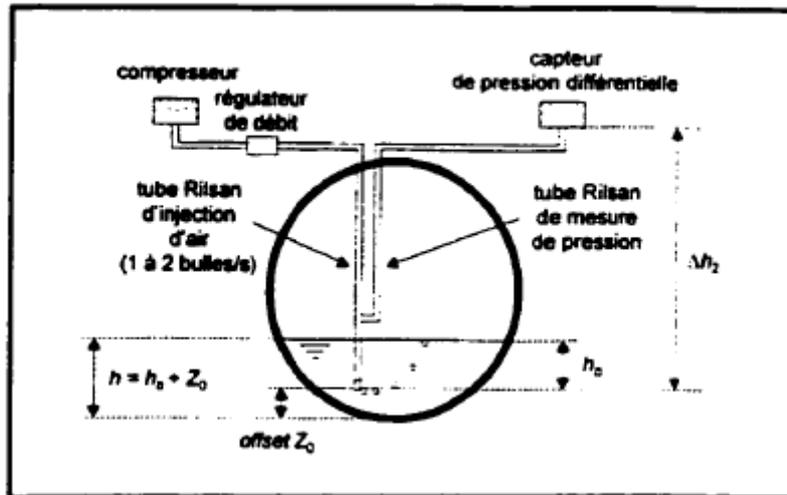
ρ_w : masse volumique de l'eau (kg/m^3)

ρ_0 : masse volumique de l'air dans les conditions normales (kg/m^3)

ρ_a : masse volumique de l'air (kg/m^3)

ΔP : pression relative (N/m^2)

Δh_2 : distance entre la prise de pression et l'extrémité du tube bulleur (m)



La technique bulle à bulle est bien adaptée pour la mesure en égout puisque seul le tuyau en Rilsan de quelques millimètres de diamètre de prise de pression se trouve dans les écoulements, il était jusqu'à ces dernières années, le seul pratiquement utilisé pour des mesures précises. Il est caractérisé par une installation facile dans un écoulement sans travaux particuliers.

Actuellement cette technique est encore assez largement utilisée, notamment pour les mesures en station d'épuration et dans certains gros collecteurs d'assainissement. Mais elle tend à disparaître au profit des techniques par ultrasons ou capteurs piézo-résistif, qui nécessitent un petit entretien et sont d'une fiabilité supérieure.

Implantation de la sonde :

Il est nécessaire que la vitesse d'écoulement soit peu élevée (< 1 m/s) du fait de l'installation d'une canne de bullage dans la veine liquide et du risque d'aspiration des bulles d'air par le courant.

Recommandations pratiques :

- Installation simple, sans travaux. Il suffit de fixer solidement la canne de bullage immergée. Le dispositif est hors d'eau.
- Autonome, fonctionne avec des accumulateurs.
- L'accès doit être facile au site de mesure car visite au minimum quotidienne (vérification du bon fonctionnement + remplacement batterie).
- Autant que possible, le point de mesure sera situé sur un tronçon de pente faible et de section constante :
 - Pente de la ligne d'eau homogène ;
 - Pas ou peu de perturbations et de remous dans les sections ;
 - Vitesses lentes et relativement uniformes.

- Ces conditions permettent de disposer alors d'une bonne mesure de hauteur et d'une relation hauteur – débit réellement univoque et d'une précision satisfaisante.

Limites d'application :

- Utilisation déconseillée pour de la mesure permanent ;
- Ne pas utiliser comme dispositif permanent en eaux très chargées ;
- Trouver une section de mesure adéquate pour une bonne mesure (pas ou peu de remous, section rectiligne peut pentue).
- Ecoulements permanents à régimes graduellement varié et à faible vitesse (< 1m/s).
- Risque de colmatage du tube d'arrivée d'air par des effluents bruts en réseau d'assainissement ;
- Fragilité du tube d'arrivée d'air. Il peut être tordu ou déplacé par des embâcles, des flottants ou la vitesse du courant ;
- Fonctionnement peu précis lors de périodes d'écoulement à forte vitesse (temps de pluie) ou de brusques variations de niveau dans le collecteur ;
- Nécessite de procéder régulièrement à des étalonnages ;
- Incertitude sur la mesure de hauteur, de l'ordre de 1 cm sur le résultat final pour appareil correctement installé et étalonné.

Incertitudes

L'incertitude de mesure globale est liée aux incertitudes des différentes variables de l'équation, en particulier l'incertitude sur la pression relative ΔP , la distance entre la prise de pression et l'extrémité du tube bulleur Δh_2 , l'offset Z_0 . et les masses volumiques (P_w, P_0, P_a). L'incertitude de mesure résultante est de l'ordre de 4 à 10 mm (Bertrand-Krajewski et al., 2000).

II.1.4.. Mesure de la vitesse de l'eau dans les réseaux d'assainissement

4-1- Appareil à ultrason et effet Doppler:

Principe de mesure :

Les matières en suspension et les bulles d'air contenue dans l'effluent réfléchissent les ondes ultrasonores et en modifiant la fréquence selon la formule suivante :

$$F_2 - F_1 = 2 \times F_1 \times V/C \rightarrow V=C (\Delta F)/2F_1$$

F_1 et F_2 fréquence d'émission et fréquence réfléchié ;

V , vitesse d'écoulement des particules sur le faisceau de mesure (composante horizontale : $V \times \cos \alpha$), avec α angle entre la direction de l'écoulement et l'axe du cône d'émission des ultrasons ;

C, célérité de l'onde dans le fluide.

$$C = 1557 - 0.0245 (74 - \theta)^2$$

Avec θ température de l'eau.

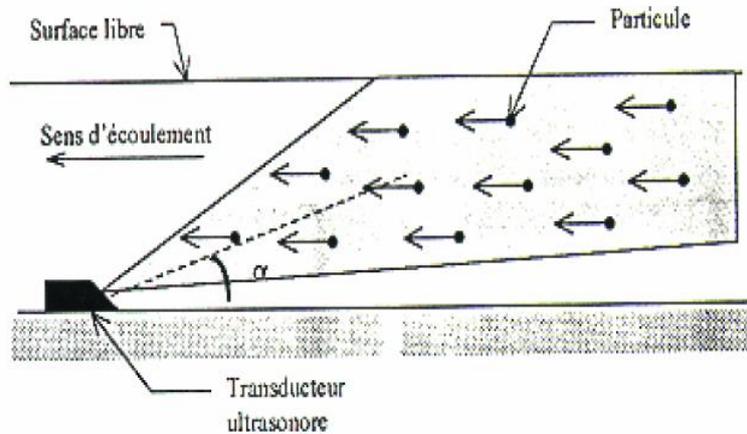


Schéma de principe de mesure de vitesse par effet doppler

Mode de fonctionnement des capteurs :

La sonde émet un faisceau d'ondes ultrasonores. Ce faisceau est réfléchi par les particules et les bulles d'air. L'appareil mesure la variation de fréquence entre l'émission et la réception. Il en déduit alors une vitesse d'écoulement (v) de l'effluent dans la zone de mesure. Cette valeur est transformée en vitesse moyenne (V) dans la section mouillée par application d'un coefficient.

Dans le même temps, l'appareil mesure la hauteur d'eau au moyen d'une sonde limnimétrique, en général piézo-résistive.

Implantation de la sonde :

En fonctionnement, il est nécessaire d'avoir une hauteur d'eau (5 à 10 cm) et une vitesse d'écoulement (0.1 m/s) minimale.

La sonde doit être installée à proximité du radier, légèrement décalée pour éviter les zones de dépôts tout en restant opérationnelle le plus longtemps possible pour les faibles débits.

Recommandations pratiques :

Ce type de sonde peu, peu encombrant, s'implante très facilement en réseau d'assainissement.

Limites d'application :

Limites inhérentes aux conditions d'utilisation de ce type d'appareil et aux multiples vérifications à réaliser pour obtenir des résultats avec une incertitude acceptable sur la mesure de v et h , la détermination de V , vitesse moyenne dans la section mouillée puis du débit Q .

4-2- Appareil à ultrason et temps de transit (corde de vitesse):

Principe de mesure :

Les ondes ultrasonores se déplacent avec une vitesse variable dans un écoulement liquide. La vitesse augmente dans le sens de l'écoulement et décroît dans le sens contraire.

Deux sondes, émettrices et réceptrices a et b, sont situées au même niveau de part et d'autre de l'écoulement. Elles forment un angle β avec la direction de l'écoulement.

$$V = 2 \times D \times (T_{ab} - T_{ba}) / (\cos \beta \times (T_{ab} + T_{ba})^2)$$

V, vitesse moyenne de l'écoulement sur la corde entre a et b ;

D, distance entre a et b ;

T_{ab} (T_{ba}), temps de transit de l'onde de a vers b (de b vers a).

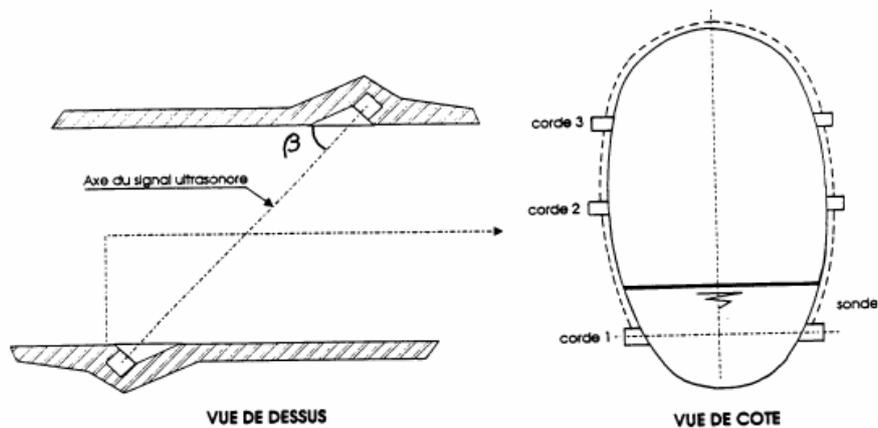


Schéma de principe de mesure du capteur à temps de transit

Mode de fonctionnement des capteurs :

L'appareil mesure des temps de parcours qu'il transforme directement en vitesse moyenne sur la corde horizontale entre a et b.

Il est nécessaire de convertir ensuite la vitesse moyenne sur une ou plusieurs cordes horizontales en vitesse moyenne V dans l'écoulement.

Dans le même temps, en écoulement à surface libre, l'appareil mesure la hauteur d'eau. Celle-ci permet le calcul de la section mouillée S, puis du débit.

Implantation de la sonde :

L'immersion totale des sondes est nécessaire. On constate des valeurs aberrantes lors des phénomènes de submersion et de décrue.

Eviter les zones turbulentes, les bulles d'air et les concentrations très élevées en matières en suspensions, qui absorbent les signaux.

Adapté aux dispositifs permanents dans les grands collecteurs ($D > 1000$ mm) et à la mesure en rivière.

Recommandations pratiques :

Travaux de génie civil délicats et minutieux à prévoir.

Installer plusieurs cordes horizontales à différents niveaux pour connaître les vitesses à différents niveaux de remplissage.

Limites d'application :

- Dispositif permanent sur très gros collecteurs ;
- Trouver une section de mesure adéquate (pas ou peu de remous, absence de bulles, section rectiligne) ;
- Les fournisseurs donnent une incertitude de l'ordre de 1% pour la mesure de v . l'incertitude sur le calcul de la vitesse moyenne d'écoulement V est plus élevée mais difficile à évaluer. Elle décroît avec le nombre de cordes immergées.

CHAPITRE. III: MESURE DES DÉBITS DANS LES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT

III.1. Introduction :

Le débit est un paramètre dont la connaissance est essentielle vis à vis du fonctionnement des réseaux d'assainissement à plusieurs titres:

- la mesure continue des débits rejetés et l'estimation de la qualité;
- le débit est un élément clé pour le dimensionnement de la plupart des ouvrages (de transit, décantation, stockage, de traitement ...);
- les mesures de qualité (par mesure de la concentration en polluants), ne peuvent être exploitées qu'en relation avec les débits, pour calculer les flux polluants.

Les appareils de mesure de débit ne mesurent jamais directement un débit : leurs capteurs mesurent une ou plusieurs grandeurs, à partir desquelles est calculé le débit La validité de ce calcul est la plupart du temps soumise à certaines hypothèses relatives aux conditions d'écoulement dans la section de mesure.

Si on se limite au cas le plus général en assainissement et le plus compliqué à traiter des écoulements à surface libre, les grandeurs de base auxquelles on cherche à avoir accès sont de deux natures :

- la hauteur d'eau;
- la vitesse moyenne dans une section transversale de la conduite.

Les grandeurs mesurées peuvent être converties en débit selon deux grandes familles de méthodes :

- l'exploitation d'une relation stable entre la cote de la surface libre en un point, et le débit transitant dans une section $Q = f(h)$;
- l'évaluation de la section mouillée (à partir d'une mesure de cote de surface libre) et sa multiplication par la vitesse moyenne dans cette section $Q = f(h, V)$.

III.2 Objectifs des mesures du débit dans les réseaux d'assainissement

La mesure du débit dans les réseaux d'assainissement à pour objectif principal de contrôler le bon fonctionnement et la fiabilité des ouvrages, la compréhension et l'amélioration de leur fonctionnement.

III.3 Types d'écoulements

Dans les réseaux d'assainissement, les écoulements les plus fréquemment observés sont gravitaires et à surface libre, dans ce contexte réaliser une mesure du débit en continu nécessite le choix d'une méthode qui associe généralement :

- mesure de grandeurs géométriques (en général constantes) : pente, section, rugosité ...
- mesure en continu de deux grandeurs hydrauliques variables: la hauteur d'eau et la vitesse d'écoulement.

Aussi dans les réseaux d'assainissement on distingue deux familles d'écoulement qui sont très différents et dont les conséquences sont importantes pour la métrologie :

- les écoulements d'eaux usées de temps sec: caractérisés par leur productibilité (dans le temps);
- les écoulements de temps de pluie : ils dépendent principalement des caractéristiques des précipitations, des antécédents climatiques, du bassin versant, du système de collecte et du réseau de drainage.

III.4 Environnement de mesure

III.4.1 Collecteurs d'eaux usées

L'environnement de mesure dans les collecteurs d'eaux usées est très humide et très agressif pour les composants mécaniques et électroniques des appareils. Les appareils de mesure doivent être protégés de cet environnement agressif.

Les matières transportées par les écoulements (charriées, en suspension ou flottantes) peuvent endommager les appareils et fausser les mesures, une bonne protection est conseillée dans ce cas.

III.4.2. Choix du site et des points de mesure

La conception d'un point de mesure ne se limite pas à un choix du matériel, mais comporte une démarche itérative, pour trouver le meilleur compromis entre site, méthode, et matériel.

Le bon choix de points de mesure doit permettre d'assurer que les conditions d'environnement sont appropriées pour la réalisation des mesures et des vérifications périodiques, il faut que ce point de mesure satisfasse certaines conditions, que nous pouvons résumer en :

- Facilité d'accès à toute heure;
- Cheminée d'accès permettant l'installation de boîtiers de conditionnement;
- Regard de visite au droit de l'écoulement;
- Section ne se mettant pas en charge;
- Section exempte des dépôts;
- Pente uniforme;
- Tracé rectiligne sans singularité, éloigné de tout coude, obstacle.

La mesure des débits dans les réseaux d'assainissement est une opération très délicate, elle nécessite des moyens tant humains que matériels à mettre en œuvre.

L'agressivité du milieu pour le matériel et le personnel rend cette tâche plus difficile. Cette complexité impose d'adopter une démarche rigoureuse pour garantir le respect des objectifs fixés. Le bon choix du point de mesure et de matériel adéquat est nécessaire pour le bon fonctionnement dans le temps et pour maîtriser les incertitudes de mesure sur les débits.

III.4.3 Adaptation de la méthode et de la technologie au site de mesure

Toutes les méthodes de mesure de débit à surface libre comportent au moins une mesure de hauteur d'eau. Les options technologiques pour réaliser cette mesure se résument souvent au choix entre capteurs de pression et capteurs à ultrason aériens. Les premiers peuvent nécessiter moins de travaux de génie civil, et continuent à fournir des mesures intéressantes lors de mises en charge. Les seconds sont plus fiables, notamment vis à vis des problèmes de dérives, mais peuvent être plus difficiles à intégrer dans les ouvrages, pour des questions d'encombrement.

En contrepartie la mesure de vitesse représente des coûts, et a des exigences vis à vis du contexte hydraulique, qui diffèrent selon la technologie choisie. La mesure par temps de transit est sensible à la présence de bulles, ne se prête pas aux mesures dans les petits ouvrages (diamètre < 600 mm) ou pour de faibles taux de remplissage (< 20 mm), mais elle permet une meilleure maîtrise de l'intégration du champ de vitesse: la mesure sur une corde transversale intègre directement la vitesse sur toute la largeur de la section, et la mise en place de plusieurs cordes permet d'appréhender les variations de vitesse avec la profondeur. La mesure par effet *Doppler* est plus facile à réaliser (elle ne nécessite qu'un capteur, ce qui libère des contraintes d'alignement liées à la méthode par temps de transit). La portée du capteur est limitée (1 à 2 m), cette technologie est bien adaptée pour les petits collecteurs. En revanche pour les plus grands collecteurs l'implantation de plusieurs capteurs est envisageable.

III.5 : Détermination des débits à partir des vitesses et hauteurs en simultanées

La détermination du débit par mesure simultanée de la hauteur d'eau h et de la vitesse moyenne U est souvent réalisée par un capteur piézo-résistif pour la hauteur d'eau h et par capteur à effet *Doppler* pour la vitesse moyenne d'écoulement U . La section mouillée S est calculée à partir de la hauteur h , le débit Q est donné par la relation suivante : $Q = S(h) U (V)$

Avec:

h : hauteur d'eau (m)

S : section mouillée (m²)

V: vitesse de l'écoulement mesurée par le capteur (m/s)

U: vitesse moyenne calculée à travers la section S (m/s)

Q: débit (m^3/s)

De nombreux dispositifs in situ ont été développés pour déterminer le débit hydraulique. Les débitmètres ultrasonores à effet *Doppler* sont les plus couramment utilisés pour mesurer les débits en réseaux d'assainissement car ils représentent une solution techniquement intéressante à plusieurs titres: installation simple, entretien réduit, évaluation du débit plus fiable qu'à partir d'une simple mesure de hauteur d'eau.

CHAPITRE. IV: **MESURE DE LA CONCENTRATION DES POLLUANTS **DANS LES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT****

IV.1. Introduction

La mesure de la pollution (mesure des concentrations des polluants) d'une eau usée consiste à évaluer en continu le volume d'eau polluée qui s'échappe d'un tuyau pour aller vers une station d'épuration ou qui s'écoule dans la nature vers la rivière.

Il existe deux méthodes pour la mesure de concentration des polluants dans les réseaux d'assainissement, la première consiste à la mesure de la concentration par des analyses sur des échantillons prélevés (mesures faites dans des laboratoires), et la deuxième est la turbidimétrie (mesure par voie optique) qui mesure la concentration en continu (in situ).

IV.2. Choix du site de prélèvement des échantillons

On peut restreindre le champ de la mesure aux zones les plus vulnérables en les repérant soit par des constatations globales comme au niveau des quartiers ou zones homogènes ou bien par des mesures sommaires avec des matériels portables pour classer les zones par ordre de vulnérabilité, qui permettent de limiter le coût dans les proportions qui peuvent être considérables.

Certaines conditions doivent être respectées dans la mise en place des appareils de mesure. La bonne représentativité de l'échantillon prélevé dépend de l'homogénéité de l'effluent à l'endroit de prélèvement. Il n'est pas judicieux de placer la crépine d'aspiration dans le fond du collecteur qui est propice aux dépôts. Une zone où la turbulence est suffisante pour assurer l'homogénéité des effluents sera donc préférable. L'utilisation d'un système de prélèvement à profondeurs variables serait plus appropriée. La mesure de la pollution est faite en quelques points dans les réseaux d'assainissement, ces points doivent faire l'objet d'un bon choix.

IV.3. Choix des points de mesure

Le choix des points de mesure est fonction des objectifs des utilisateurs, par exemple à l'exutoire d'un bassin versant, ou bien au niveau d'un déversoir d'orage ou encore à l'aval d'une station d'épuration.

Il y a d'autres critères à prendre pour le choix d'un point de mesure tel que:

- la représentativité des mesures en ce point;
- la fiabilité du dispositif de mesure;
- la facilité d'accès et l'installation;

- la sécurité, l'installation et le coût du matériel.

Il faut s'assurer que le point choisi pour les mesures présente un bon mélange des eaux. Dans la pratique le choix est porté sur les zones où l'écoulement est turbulent (pour assurer une bonne homogénéisation de l'effluent sur l'ensemble de la section de mesure).

IV.4. Mesure de la concentration par analyses sur prélèvements

La concentration est déterminée à partir du débit massique par la formule suivante :

$$\emptyset(t) = Q(t) \times C(t)$$

avec :

$\emptyset(t)$: débit massique instantané (kg/s)

$C(t)$: concentration (kg/m³)

$Q(t)$: débit (m³/s)

Pour une bonne maîtrise de la gestion des réseaux d'assainissement, il faudrait mesurer en continu le débit et la concentration. La majorité de mesures sont effectuées par des analyses en laboratoire.

IV.4.1. Échantillonnages des prélèvements

Les échantillons peuvent être classés en trois catégories :

- échantillon continu: obtenu en continu à pas de temps fixe, ce type d'échantillon donne une meilleure représentativité par rapport au débit massique pendant l'intervalle de temps considéré. Il est utilisé dans le cas des eaux à concentration variable;
- échantillon simple: c'est un prélèvement instantané d'un volume d'eau unique et conservé séparément pour analyse. Ce type d'échantillon est utilisé dans les cas des eaux peu variables ou bien pour obtenir la variabilité spatiale ou temporelle des concentrations dans une section de mesure.
- Échantillon composé: c'est le résultat du mélange d'un certain nombre d'échantillon simple prélevé à des moments différents, et regroupés dans le même flacon. Les échantillons composés permettent de déterminer la concentration moyenne sur des pas de temps longs (de plusieurs minutes à plusieurs jours).

IV.4.2. Les prélèvements d'échantillons

Les préleveurs d'échantillons permettent d'effectuer des prélèvements au sein de l'écoulement dans les réseaux d'assainissement de manière automatique ou manuelle.

Les préleveurs les plus utilisés fonctionnent par pompage. Ils permettent de constituer plusieurs échantillons à partir des prélèvements simples ou composés effectués de manière proportionnelle au temps, au débit, au volume écoulé ou la combinaison de ces deux derniers.

En temps de pluie, la qualité des eaux peut varier de façon très rapide. Selon les objectifs, il faudra pouvoir caractériser la qualité globale de l'effluent par temps de pluie (concentration

moyenne observée durant l'événement pluvial), ou au contraire permettre l'analyse de la variation temporelle de la qualité des effluents par temps de pluie.

IV.5. Les objectifs de la mesure qualitative :

- *En station d'épuration* : la mesure de concentrations sur échantillons moyens journaliers pour calcul de rendements épuratoires ;
- *Sur déversoirs d'orage et en réseau* : la mesure de concentrations instantanées pour le suivi de la variabilité des effluents, le calcul de flux de pollution et la réalisation de pollutogrammes ;
- *Dans le milieu récepteur des rejets* : évaluation de l'impact sur la qualité physico-chimique de l'eau.

IV.6. Les techniques de prélèvement

IL existe deux techniques de prélèvement :

- Les prélèvements manuels : ils sont simples à réaliser, leur qualité dépend du facteur humain. Il est adapté au petit nombre de prélèvements, mais il est coûteux en temps et en personnel pour des campagnes de mesures. Par temps de pluie, le prélèvement manuel s'avère souvent impossible, du fait du caractère aléatoire de l'évènement. Un système de prélèvement automatique sera la solution dans ce cas.
- Les prélèvements automatiques : ils sont de plus en plus utilisés pour des raisons économiques, pour leur adaptabilité, leur fiabilité et leur grande capacité de prélèvement.

IV.7. Les moyens techniques disponibles :

IV.7.1. Préleveur échantionneur :

Principe de mesure :

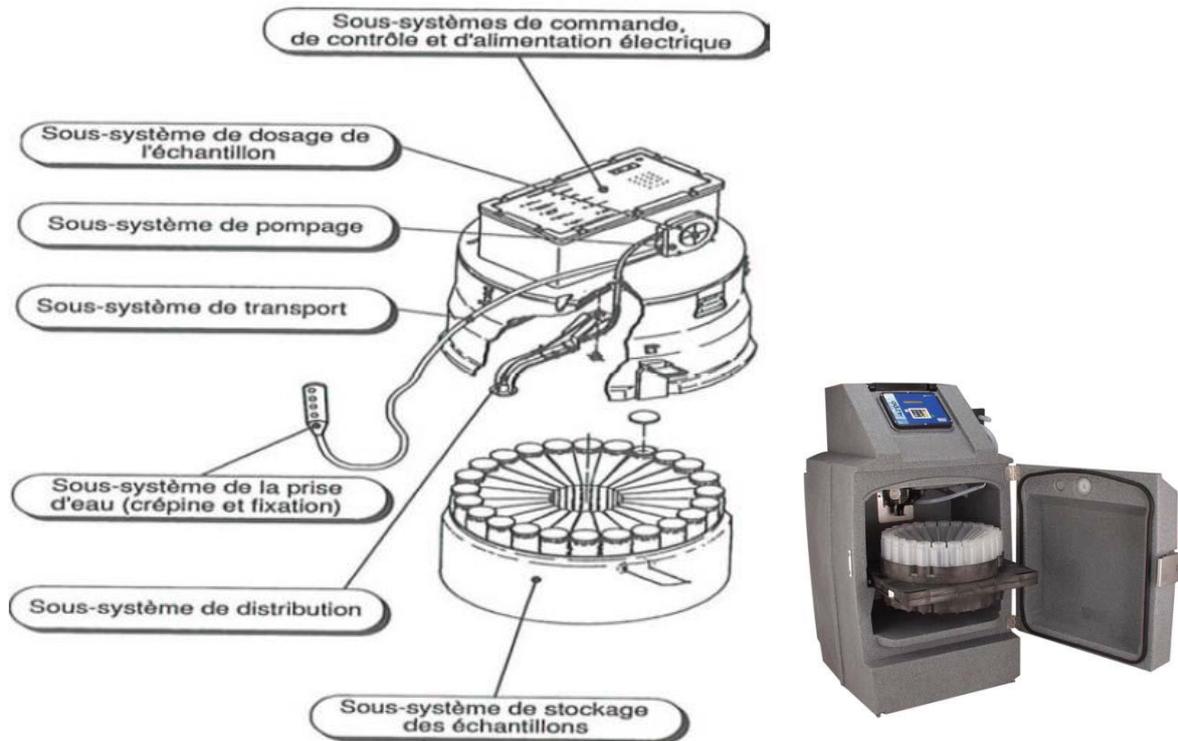
Le but est d'aspirer l'eau à analyser pour remplir un ou plusieurs flacons et mesurer ensuite la qualité de l'eau (analyses en laboratoire) sur un échantillon moyen ou sur les échantillons individuels selon les objectifs visés (valeur moyenne ou pollutogramme). La prise d'eau est effectuée dans le flux 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.

Mode de fonctionnement de l'appareil

Une pompe péristaltique on a dépression aspire un volume prédéterminé et remplit tout ou partie d'un flacon. L'appareil peut contenir un seul flacon (confection directe de l'échantillon moyen dans un récipient de plusieurs litres) ou plusieurs, généralement 24 récipients de 1 litre. La programmation de l'appareil permet de déclencher les prélèvements à heur fixe ou a

partir d'une commande extérieure. Les heures de prélèvement, volumes prélevés et numéros de flacons sont enregistrés.

Pour assurer la représentativité de l'échantillon pompé et éviter le colmatage du tuyau de prise, des cycles de vidange et de purge à l'air et à l'eau précèdent chaque prélèvement.



Usages :

Le préleveur échantillonneur est indispensable à toute mesure de la qualité des effluents. Lorsque c'est possible (place disponible, alimentation électrique, vandalisme) on utilisera un préleveur réfrigère.

Préleveur seul : prélèvement + analyses. En station d'épuration et campagne de mesures temporaires en réseau.

Préleveur en complément d'un dispositif de mesure en continu de la qualité pour établir les courbes de corrélation entre le signal mesuré et la concentration en polluant ou bien vérifier la qualité des résultats fournis par la mesure alternative.

Conditions générales d'utilisation :

Eviter les crépines qui s'encrassent, préférer un simple embout rigide placé dans une zone de turbulence (effluent homogène) et orienté vers l'aval pour éviter le colmatage par les flottants (plastiques et autres).

Placer le préleveur le plus près possible du point de prélèvement (la puissance d'aspiration de la pompe limite la dénivellée admissible entre le point de prélèvement et le préleveur).

Le tuyau d'aspiration doit constamment monter entre le point de prélèvement et le préleveur (point bas = dépôts).

Lorsque le point de prélèvement est fixe, il doit être implanté pour que l'échantillon prélevé soit autant que possible représentatif des caractéristiques moyennes de l'effluent aux différentes gammes de débit. Eviter de le positionner au fond du radier où les dépôts sont toujours plus importants que la moyenne. Pour les effluents bruts, choisir les zones où le brassage est important.

Les appareils réfrigérés permettent de maintenir les échantillons prélevés dans leur état initial pendant 24 heures. Cette durée est réduite à quelques heures pour les préleveurs non réfrigérés lors des fortes chaleurs.

IV.8. Turbidimètre

Principe de mesure :

Turbidité : réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Les matières en suspension (MES) représente une partie des matières non dissoutes.

Un turbidimètre est un appareil de mesure optique de la turbidité qui permet d'évaluer en continu certains paramètres de la pollution des rejets urbains.

Il existe deux techniques de mesure de la turbidité, *l'opacimétrie* (mesurage de l'atténuation d'intensité lumineuse transmise au travers d'un liquide) et la *néphélogétrie* (mesurage de la lumière diffusée par les particules).

Principe de l'opacimétrie : loi de Beer-Lambert qui établit une proportionnalité entre la concentration et les caractéristiques des particules avec l'extinction (E) d'un faisceau lumineux de longueur d'onde donnée.

Principe de néphélogétrie : principe de Rayleigh qui permet de faire le lien entre l'intensité de la lumière diffractée et le nombre et la taille des particules pour une longueur d'onde supérieure à 800 nm (infrarouge).

Mode de fonctionnement de l'appareil :

La sonde du turbidimètre est plongée dans un liquide, elle en mesure la turbidité pour une longueur d'onde donnée à un paramètre de la pollution (MES ou DCO par exemple). La courbe de corrélation locale permet ensuite de transformer la valeur mesurée (turbidité) en concentration du paramètre de la pollution. Ceci peut permettre de répondre aux exigences réglementaires en matière d'auto-surveillance des réseaux d'assainissement (déversoirs d'orage).

Recommandations pratiques :

Faciliter au maximum les conditions de maintenance ou de démontage des appareils lors du choix du site d'implantation.

S'assurer que l'échantillon analysé est représentatif (zone de brassage en collecteur).

Eviter d'avoir travaillé directement dans des écoulements permanents (fixation ou support amovible).

Eviter que des flottants ne colmatent l'appareil ou le système d'alimentation en eau.

Fiabilité : en réseau d'assainissement, milieu très agressif, les turbidimètres connaissent des pannes et dérives de la mesure. La maintenance et l'étalonnage doivent être rigoureux pour que les données obtenues soient fiables.

CHAPITRE. V: LES TECHNIQUES D'AUSCULTATION DES OUVRAGES

V.1. Inspection télévisée (ITV) des ouvrages non visitables

Photographie n°1 : Robot permettant l'inspection télévisée en conduite non visitable



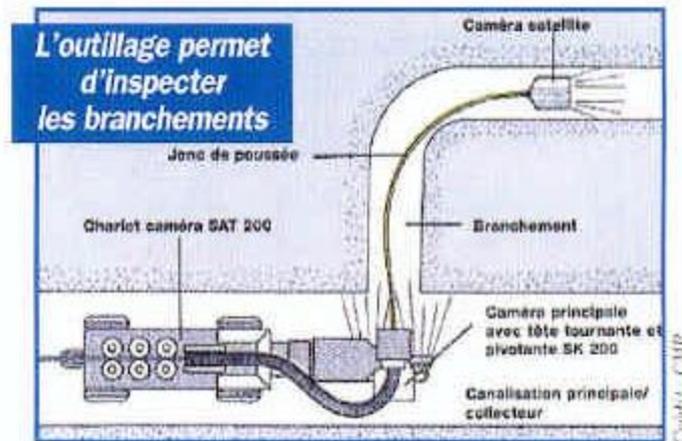
Le curage des canalisations constitue un préalable obligatoire à toute inspection télévisée. Etant donné le défaut d'entretien de certains réseaux d'assainissement, il faudra, parfois, 2 ou 3 passages d'hydrocureuse, combinés avec une aspiration des matériaux, pour obtenir un état de propreté suffisant. Cela peut entraîner un surcoût par rapport aux coûts affichés par les entreprises spécialisées.

L'inspection télévisée est un outil particulièrement adapté aux réseaux non visitables. Elle permet de vérifier l'état et le fonctionnement de l'ouvrage en service.

Les principaux défauts diagnostiqués par l'inspection télévisée sont les suivants :

- dépôts sur le radier (sables, résidus de béton) ;
- dépôt à hauteur du fil d'eau (en général des graisses) ;
- dépôts sur les parois en voûtes (traces de mise en charge) ;
- variations de pentes matérialisées par la stagnation de l'eau ou variation du taux de remplissage (flaches) ;
- mises en charge partielles ou totales ;
- fissures, casses ;
- absence de joint de butée ;
- décalage, déboîtement ;
- ovalisation avec ou sans effondrement ;
- trous de poinçonnement et corrosion ;
- branchements pénétrants, racines.

Graphique 1. Inspection télévisée des branchements (source : LOMBARD Anne – 2000)



V.2. Les techniques d'auscultation géométrique

V.2.1. Inclinomètre

Cette technique ne peut être utilisée que pour les ouvrages non visitables.

L'inclinomètre permet de réaliser un profil en long de la canalisation, il mesure en continu (moyenne glissante) ou point par point la pente entre deux regards d'accès, grâce à un capteur d'inclinaison qui est embarqué sur une caméra d'inspection vidéo ; le déplacement de l'inclinomètre doit se faire parallèlement à l'axe de la canalisation. De plus, la distance parcourue est évaluée électroniquement, ce qui permet d'établir automatiquement le profil en long.

Cependant le profil généré n'est qu'indicatif. En effet, les dépôts réfractaires, les dépôts en radier peuvent entraîner localement des erreurs importantes. Il ne faut donc jamais se référer aux valeurs absolues mais analyser la tendance obtenue.

2.2. Capteur d'orientation

Cette technique ne peut être utilisée que pour les ouvrages non visitables de diamètre supérieur à 100 mm.

Le capteur d'orientation permet d'établir la vue en plan de la canalisation. Son principe réside en la mesure point par point de la variation angulaire et de la longueur de la canalisation.

Un gyroscope miniature est embarqué sur le chariot d'inspection télévisée. Son déplacement est parallèle à l'axe de la canalisation. Les résultats prennent la forme d'une courbe caractérisant l'orientation de la canalisation dans le plan horizontal.

Le capteur d'orientation s'utilise en complément de l'inspection télévisée et de l'inclinomètre.

2.3. Relevé topographique

Le levé (tachéomètre) en trois dimensions des points d'accessibilité du réseau (regards d'accès) permet de connaître la position en plan et en altitude des canalisations et des branchements. Une vue en plan du réseau et son profil en long sont ensuite réalisés. Les pentes et déviations angulaires sont données entre regards (pente moyenne). Un tel procédé ne permet pas de disposer des variations ponctuelles de pente. C'est là son principal inconvénient.

V.2.4. Sonar

Le sonar peut être utilisé dans les ouvrages immergés et semi-immergés de 150 à 4000 mm.

Il permet de localiser et visualiser les défauts géométriques et les zones d'entartrage et de sédimentation. L'appareillage est constitué d'un laboratoire d'acquisition sonar de surface et de transducteurs étanches embarqués sur un chariot motorisé.

Une onde acoustique est émise vers les parois internes et immergées de la canalisation sur lesquelles elle se réfléchit. La mesure est réalisée en continu le long des profils transversaux. Le sonar génère alors sur un écran vidéo une image de la partie immergée de l'ouvrage. La section et les défauts géométriques peuvent ainsi être dimensionnés. Les résultats se présentent sous forme de profils transversaux positionnés en fonction du déplacement du chariot.

La mise en oeuvre de cette technique est soumise aux contraintes suivantes :

- la présence d'eau dans la section étudiée est indispensable ;
- le transducteur doit être stationnaire pendant l'acquisition du profil ;
- la longueur de l'ouvrage doit être inférieure à 300 m ;
- le choix de la fréquence des transducteurs est fonction des dimensions de l'ouvrage.