



Agence de l'eau  
*Rhin-Meuse*

***Guide pratique***  
***pour le contrôle***  
***de l'autosurveillance***  
**Mesures de débits**  
**et *échantillonnage***

Etude réalisée par l'Agence de l'eau Rhin-Meuse

Auteur : Vincent Aizin

Division Milieu Naturel et Données Techniques

Editeur : Agence de l'eau Rhin-Meuse

Février 1997

10 exemplaires (retirage en 20 exemplaires, août 1997)

©1997- Agence de l'eau Rhin-Meuse

Tous droits réservés

21626

**INTRODUCTION**

*Page 9*

**CHAPITRE I: MESURE DE DEBITS EN CANAL OUVERT**

*Page 15*

**CHAPITRE II: MESURE DE DEBITS EN CONDUITE FERMEE**

*Page 43*

**CHAPITRE III : PRELEVEMENTS - ECHANTILLONNAGE**

*Page 59*

**BIBLIOGRAPHIE**

*Page 83*

# PREAMBULE

La gestion et le contrôle du fonctionnement d'une station d'épuration urbaine ou industrielle nécessitent la connaissance, donc la mesure, de nombreux paramètres. En particulier, la détermination des flux de pollution aux différents stades de l'épuration revêt un intérêt primordial. Elle nécessite, en chaque point de mesure, le suivi en continu du débit, la réalisation d'un échantillon représentatif, ainsi que l'analyse des concentrations en polluants de cet échantillon.

Ce document, ainsi que le questionnaire qui l'accompagne, ont été élaborés dans le but de mettre à la disposition des utilisateurs des moyens simples et pratiques de contrôle de la qualité des mesures de débit et des échantillonnages nécessaires à l'autosurveillance des stations d'épuration. La détermination des concentrations (analyses chimiques et **physicochimiques**) ne sera pas traitée ici.

Ce guide pratique pour le contrôle des infrastructures de mesure destinées à l'autosurveillance est composé de deux documents :

- Un questionnaire en trois parties (mesure de débit en canal ouvert, mesure de débit en conduite fermée, prélèvement - échantillonnage) destiné au contrôle sur le site, des infrastructures de mesure. La qualité de la mesure sera évaluée par le renseignement du questionnaire, ce qui permettra le contrôle systématique des paramètres influençant la mesure, selon un ordre logique dicté par des considérations pratiques. Les renseignements demandés renvoient dans certains cas au document "Guide".
- Un document guide proprement dit où on trouvera des informations complémentaires sur la façon de renseigner le questionnaire ou sur le pourquoi de certaines questions, la correspondance entre les deux documents se faisant grâce à des renvois numérotés. Ce guide a été rédigé de façon à pouvoir également être utilisé sans le questionnaire, constituant ainsi un document pratique d'introduction aux bonnes pratiques de mesure de débit et d'échantillonnage.

Le guide pratique pour le contrôle des infrastructures d'autosurveillance est destiné à des utilisateurs non spécialistes et il a été autant que possible choisi de ne pas rentrer dans des considérations théoriques (hydraulique des écoulements, calculs d'erreur,...) ou réglementaires (prescription des Agences de l'Eau, localisation des points de mesure, détermination des paramètres et des **fréquences** d'analyse,...). En cas de besoin, on trouvera de plus amples renseignements dans les ouvrages cités dans la bibliographie, ou à l'Agence de l'Eau auprès des services concernés.

# SOMMAIRE

	<i>PAGES</i>
<i>INTRODUCTION</i>	9
<i>1 - L'AUTOSUR VEILLANCE</i>	9
1.1. <u>Objectifs de l'autosurveillance</u>	9
1.2. <u>Moyens et méthodes de l'autosurveillance</u>	10
<i>2 - MODE D'EMPLOI DU QUESTIONNAIRE POUR LE CONTROLE DES INFRASTRUCTURES</i>	11
<b>CHAPITRE 1: MESURE DE DEBITS EN CANAL OUVERT</b>	
<i>INTRODUCTION</i>	15
<i>1. CARACTERISTIQUES DE L'ECOULEMENT A L'ENTREE DU CANAL DE MESURE</i>	16
1.1. <u>Direction de l'arrivée des effluents nar rannort au canal de mesure</u>	16
1.2. <u>Mode d'écoulement et débit</u>	16
<i>2. CHENAL AMONT</i>	16
2.1. <u>Caisson jaugeage (cas particulier)</u>	16
2.2. <u>Canal d'approche</u>	17
<i>3. DISPOSITIF DE MESURE</i>	18
3.1. <u>Les déversoirs</u>	18
3.1.1. Les déversoirs en mince paroi	19
3.1.1.1. Déversoirs sans contraction	19
3.1.1.2. Déversoirs avec contraction rectangulaire	19
3.1.1.3. Déversoirs avec contraction triangulaire	20
3.1.1.4. Autres types de déversoir en mince paroi	20
3.1.1 .5. Cas général : construction, conformité et conditions de pose	21
3.1.2. Les déversoir à seuil épais	22
3.1.2.1. Type	22
3.1.2.2. Cas général : construction, conformité et conditions de pose	22
3.2. Canaux jaugeurs (Venturi, Parshall)	23
3.2.1. Type	23
3.2.2. Cas général : construction, conformité et conditions de pose	24

<b>4. RELATION HAUTEUR - DEBIT. CONDITIONS HYDRAULIQUES</b>	25
4.1. <u>Conditions amont canal d'approche</u>	26
4.2. <u>Conditions de dénoyage du dispositif de mesure</u>	28
4.2.1. Section de contrôle	28
4.2.1.1. Déversoirs en mince paroi	29
4.2.1.2. Déversoirs à seuil épais	30
4.2.1.3. Canaux jaugeurs (Venturi, . . .)	30
4.2.2. Conditions aval	31
4.2.3. Cas de dispositifs à écoulement noyé	32
4.3 <u>Conclusion</u>	31
<b>5. MESURE DE DEBIT</b>	32
5.1. <u>Type de capteur de hauteur d'eau</u>	32
5.1.1. Sonde pneumatique (bulle à bulle)	32
5.1.2. Sonde à ultrasons	33
5.1.3. Sonde piézorésistive	33
5.1.4. Autres capteurs	33
5.2. <u>Mise en oeuvre du capteur (positionnement)</u>	35
5.2.1. Puits de mesure	35
5.2.2. Positionnement et mise en oeuvre du capteur	36
5.2.2.1. Cas de capteurs de hauteur placés dans un puits de mesure	36
5.2.2.2. Cas de capteurs de hauteur placés directement de l'écoulement	36
5.2.2.3. Cas général	36
5.2.2.4. Calage du zéro de la mesure de hauteur d'eau	37
5.3. <u>Chaîne de mesure - Transmission du signal</u>	37
5.3.1. Etat de fonctionnement	38
5.3.2. Grandeurs mesurées et visualisables	38
5.3.2.1. Hauteur d'eau	38
5.3.2.2. Débit instantané	38
5.3.2.3. Totalisations, récapitulatifs	38
5.3.2.4. Equation de conversion hauteur-débit	38
5.4. <u>Vérification des indications de débitmètre</u>	39
5.4.1. Hauteur d'eau	39
5.4.2. Débit	39

## **CHAPITRE II : M-ESURE DE DEBITS EN CONDUITE FERMEE**

	<b>PAGES</b>
<i>INTRODUCTION</i>	4 3
<i>1. IDENTIFICATION DU POINT DE MESURE DU DEBIT</i>	43
<i>2. CONDITIONS D'IMPLANTATION DU DEBITMETRE</i>	43
2.1. <u>Conduite en charge</u>	43
2.2. <u>Zone de mesure</u>	45
<i>3. LE DEBITMETRE</i>	47
3.1. <u>Débitmètres mécaniques</u>	47
3.1.1. Compteur	47
3.1.1.1. Compteur volumétrique	47
3.1.1.2. Compteur à turbine	47
3.1.2. Autres	48
3.2. <u>Débitmètres statiques</u>	48
3.2.1. Débitmètre électromagnétique	48
3.2.2. Débitmètre à ultrasons	50
3.2.2.1. Débitmètre à différence de temps de transit	50
3.2.2.1.1. Equipement fixe (électrodes intrusives)	51
3.2.2.1.2. Equipement "mobile" (électrodes extérieures)	51
3.2.2.2. Débitmètre à effet Doppler	52
3.2.2.2.1. Equipement fixe (manchette à insérer)	53
3.2.2.2.2. Equipement "mobile"	54
3.2.3. Débitmètre à effet Vortex	54
3.2.4. Organes déprimogènes	55
3.2.5. Autres	55

## CHAPITRE III : PRELEVEMENTS - ECHANTILLONNAGE

	<i>PAGES</i>
<i>INTRODUCTION - THEORIE DE L'ECHANTILLONNAGE</i>	59
<i>1. TYPE D'ECOULEMENTA ECHANTILLONNER</i>	63
1.1. <u>Conditions d'écoulement</u>	6
1.2. <u>Qualité de l'effluent à échantillonner</u>	63
<i>2. PRELEVEMENTS - REALISATION DE L'ECHANTILLON BRUT</i>	65
2.1. <u>Appareillage</u>	65
2.1.1. Prélèvements manuels	65
2.1.2. Prélèvements automatiques	66
2.1.2.1. Système de prélèvement et de collecte de l'échantillon (préleveur)	67
2.1.2.2. Tuyau d'aspiration (de prélèvement)	69
2.2. Entretien	69
2.3. Mise en oeuvre de l'appareillage	70
2.3.1. Point de prélèvement	70
2.3.2. Réalisation de l'échantillon brut	74
2.3.2.1. Echantillon(s) ponctuel(s) sans asservissement	74
2.3.2.2. Echantillon moyen automatique	75
2.4. <u>Conditionnement - Prétraitement de l'échantillon</u>	77
2.5. <u>Conclusion</u>	79

## BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie	83
Normes françaises et internationales relatives aux principales méthodes exposées.	84

# INTRODUCTION

## 1. L'AUTOSURVEILLANCE

### 1.1 Objectifs de l'autosurveillance

L'autosurveillance d'un **système** d'épuration concerne la station et le réseau. Elle s'inscrit dans un cadre réglementaire précis et constitue un élément essentiel dans la transparence de l'information vis-à-vis des consommateurs, des élus, des industriels, des services de police de l'eau et des Agences de l'Eau, qui utilisent ses résultats pour l'établissement des redevances, primes pour l'épuration et aide au bon fonctionnement.

La connaissance précise du fonctionnement des stations d'épuration devenant une nécessité, l'autosurveillance, opération par laquelle l'acteur produit lui-même l'information nécessaire à l'évaluation de la pollution qu'il génère (et élimine, le cas échéant), joue un rôle de premier plan parmi les outils disponibles pour améliorer cette connaissance.

L'autosurveillance présente l'intérêt supplémentaire de fournir aux exploitants toutes les informations nécessaires à l'optimisation des systèmes d'épuration, leur permettant d'intervenir au plus vite en cas de besoin. Pour un industriel, elle deviendra un véritable outil de gestion de sa production et, en lui permettant d'apprécier la qualité de la conduite des procédés de fabrication (pertes de matières premières, consommation d'eau,...), elle perdra de son aspect strictement réglementaire et contraignant.

Elle concerne deux grandes catégories de consommateurs d'eau :

- les collectivités et les industries dotées de leur propre station d'épuration soumises au respect d'une autorisation de rejet dans le milieu naturel, et qui devront donc effectuer des mesures de pollution à l'entrée et à la sortie des ouvrages ;
- les industries ne possédant pas de station d'épuration propre pour lesquelles l'autocontrôle se limitera à la mesure régulière des flux polluants en sortie d'usine, avec pour élément de référence l'arrêté préfectoral d'autorisation (et la convention de rejet s'il y a raccordement au réseau d'assainissement d'une collectivité).

Son objectif principal est de mesurer, à une fréquence déterminée, les charges de polluants reçues et rejetées par l'ouvrage, pour en évaluer l'efficacité. Elle comporte également le suivi de l'ensemble des paramètres permettant de justifier de la bonne marche des installations et de leur fiabilité : **bypass**, **sous** produits du traitement des eaux usées (refus de dégrillage, graisses, boues), consommation de réactifs, énergie... Les modalités (localisation des points de mesure, paramètres de pollution, fréquence des analyses, matériel minimum, ...) sont **fixées** par les **délibérations** du **Conseil d'Administration** de l'Agence de l'Eau.

On se limitera, dans le cadre de ce document, à l'autosurveillance des effluents liquides, et plus particulièrement au calcul des charges polluantes.

## 1.2. Moyens et méthodes de l'autosurveillance

Les flux de pollution (ou charges polluantes) sont les données de base de l'autosurveillance et du calcul de l'efficacité des ouvrages.

### Calcul des charges

$$\text{Charge (kg/j)} = \text{Débit (m}^3\text{/j)} \times \text{Concentration (g/l)}$$

La durée de référence est de 24 heures en général. On confectionnera donc des échantillons journaliers.

### . Erreur sur la détermination de la charge

$$A \text{ Charge} = A \text{ Débit} \times A \text{ Concentration}$$

$$A \text{ Charge} = A \text{ Débit} \times A \text{ Echantillonnage} \times A \text{ Analyse}$$

### . Calcul du rendement

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Charge en entrée} - \text{charge en sortie}}{\text{charge en entrée}}$$

La représentativité des résultats dépend fortement d'une implantation judicieuse des matériels de mesure en amont et en aval des ouvrages d'épuration, y compris les dérivations (bypass, ...). Il existe des règles d'implantation générales, mais les détails liés à chaque station seront réglés au cas par cas, et la question de l'implantation ne sera donc pas évoquée dans ce document.

La mise en oeuvre d'une autosurveillance de qualité passe impérativement par la mise en place d'équipements et de matériels appropriés. En effet, il sera nécessaire de :

- mesurer les débits en continu et dans de **bonnes** conditions,
- effectuer des prélèvements d'échantillons **représentatifs**,
- savoir conserver les échantillons prtlevés,
- analyser les différents paramètres de pollution (cette partie ne sera pas traitée ici).

Chacun de ces quatre points est à réaliser avec le plus grand soin puisqu'ils déterminent tous la qualité du résultant **final** en charge polluante (voir calcul d'erreur). Il existe des normes (voir bibliographie) pour tout ou partie des opérations à effectuer mais elles ne sont pas toujours adaptées aux réalités du "terrain".

S'il n'est pas question d'exiger, dans le cadre de l'autosurveillance, des mesures de haute précision, qui nécessiteraient l'emploi de personnel très qualifié et d'appareils d'un coût élevé, un niveau minimum est requis par les Agences de l'Eau.

Par exemple : *extrait concernant les prélèvements d'échantillons de l'annexe à la délibération n° 89-54 du Conseil d'Administration de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (Article 4.5 : Prescriptions générales relatives aux autocontrôles des industries).*

*Les autocontrôles réalisés par l'exploitant industriel nécessitent :*

a) *La mesure hydraulique des débits traités qui est effectuée en continu grâce à des infrastructures normalisées, équipées de débitmètres agréés par l'Agence, étalonnés régulièrement par le service d'assistance technique.*

b) *Le prélèvement d'échantillons moyens journaliers qui est réalisé par un appareil spécialisé simple éventuellement asservi au débitmètre ;*

*L'échantillon collecté doit être représentatif des caractéristiques de l'effluent. Pour les industries agro-alimentaires ou assimilées et en cas d'évolution rapide, le flacon est maintenu dans une enceinte réfrigérée à 4°C. Pour les industries de traitement de surface, lorsque le rejet s'effectue par bâchée, un prélèvement moyen manuel peut être effectué, après homogénéisation satisfaisante (...)*

L'acquisition du matériel d'autosurveillance est susceptible d'être aidée financièrement par l'Agence de l'Eau qui intervient alors dans le choix des appareils. Les critères de choix du matériel sont alors, pour une qualité de mesure donnée : son adaptation au cas considéré (étude au cas par cas), sa simplicité d'emploi ainsi que son coût.

## **2. MODE D'EMPLOI DU QUESTIONNAIRE POUR LE CONTROLE DES INFRASTRUCTURES**

**Ce contrôle nécessite l'emploi d'un mètre rigide, d'un chronomètre et d'un niveau à bulle d'air (disponibles au service rejets) ainsi que d'un appareil photo (disponible au service documentation).**

Les renseignements sont à fournir soit sous forme d'une réponse, remarque, etc. soit en cochant la case adéquate.

### **OUI NON ?**

. On trouvera dans certains cas une série de cases   CI pour une même question. La case "?" est à cocher dans le cas où il n'est pas possible de répondre (cas non prévu, observation impossible,...).

Dans tous les cas, il conviendra d'inscrire dans le questionnaire à l'emplacement correspondant toutes observations ou remarques utiles au diagnostic et de préciser la situation rencontrée.

. A certaines autres questions, il conviendra de répondre en indiquant une valeur mesurée (**attention, ne pas oublier les unités**). On pourra donc être amené à utiliser un mètre rigide (pas de mètre à ruban), un niveau à bulles d'air permettant de vérifier des horizontalités et des verticalités, ainsi qu'un chronomètre (ou trotteuse).

. Des espaces vierges ont été réservés à certains emplacements afin de pouvoir y faire des schémas explicatifs.

. Certains renseignements sont à obtenir de l'exploitant.

Dans le cas où sont disponibles des documents "constructeur" mentionnant les cotes, matériaux, etc..., des ouvrages ou appareils de mesure, il conviendra de les utiliser afin de vérifier la conformité à ces documents des ouvrages ou appareils en place. Dans la mesure du possible. on joindra ces documents au questionnaire (il est possible en cas d'exemplaire unique de retourner ces documents après les avoir étudiés à l'Agence).

Enfin, quelques photos judicieuses (vue d'ensemble, conditions hydrauliques...) compléteront utilement ce questionnaire.

# MESURE DE DEBITS EN CANAL OUVERT

## INTRODUCTION ,

La mesure en canal ouvert est le cas le plus fréquemment rencontré pour la mesure du débit en autosurveillance (quasi systématique pour les stations d'épuration des collectivités).

Un canal ouvert se caractérise par :

- une face de l'écoulement à l'air libre
- un écoulement s'effectuant à la pression atmosphérique et gravitairement
- une variation de débit se manifestant par une variation des vitesses **et/ou** de la section d'écoulement
- des conditions d'écoulement en un point dépendant de la géométrie du canal au point de mesure (section disponible), mais aussi de l'amont et de l'aval (pente, rectitude, obstacles,...).

En fait, deux méthodes de mesure sont possibles :

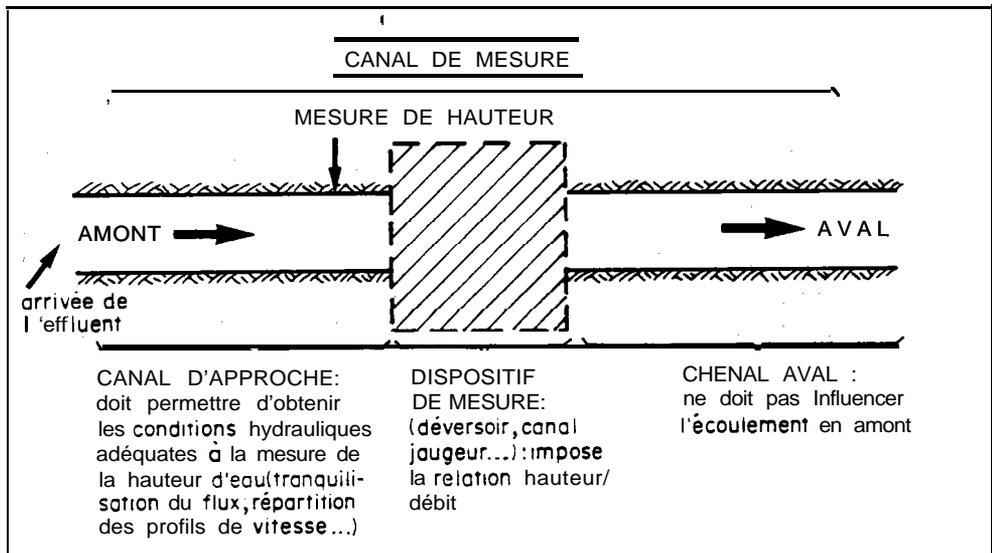
- la mesure de vitesse d'écoulement avec intégration sur la section de passage,
- la mesure de la hauteur d'eau à proximité d'un dispositif **entraînant** un changement de régime d'écoulement (mesure indirecte).

La première s'applique aux canaux de grandes dimensions non géométriques (rivières naturelles...) et aux très forts **débits**. Elle est peu ou pas utilisée dans les stations d'épuration et ne sera donc pas traitée ici.

La mesure indirecte impose la mise en place d'un obstacle normalisé dans des conditions d'expérience strictement définies : forme du canal, pente, forme de l'obstacle, écoulements amont et aval.

# 1. - CARACTERISTIQUES DE L'ÉCOULEMENT A L'ENTREE DU CANAL DE MESURE

(1) Une installation complète de mesure de débit comprend en général : un chenal d'approche amont, un dispositif de mesure et un chenal aval.



## 1.1. - Direction de l'arrivée des effluents par rapport au canal de mesure

## 1.2. - Mode d'écoulement et débit

(1) Le débit maxi instantané détermine le choix des dimensions du dispositif de mesurage.

(2) Les conditions (vitesse, pression, présence d'une singularité...) dans lesquelles un effluent entre dans le canal de mesure rendent l'écoulement plus ou moins agité dans le dispositif de mesure (voir 4.1.).

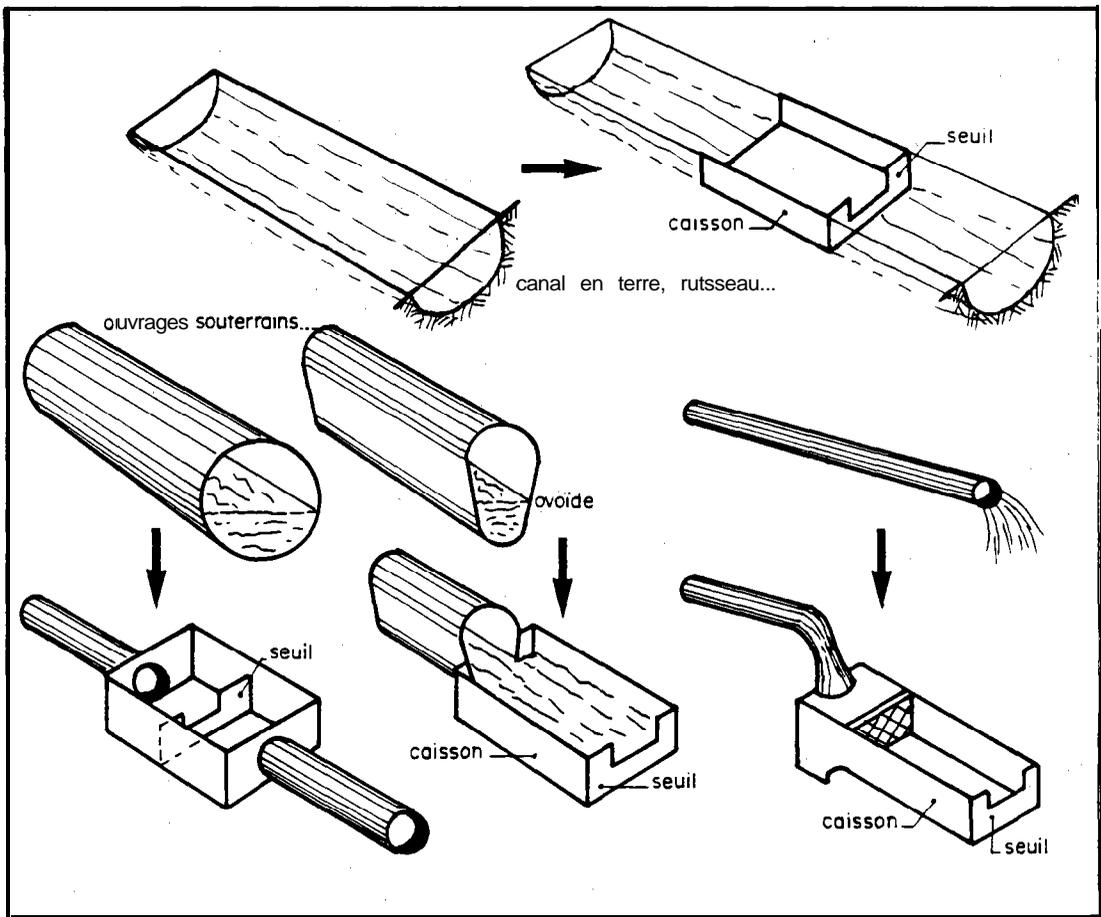
# 2. - CHENAL AMONT

## 2.1. - Caisson de jaugeage

(1) Dans un certain nombre de cas où le canal d'approche n'existe pas ou quand les conditions nécessaires à la pose directe d'un dispositif de mesurage n'est pas possible, on peut être amené à utiliser un caisson amovible équipé d'un déversoir en mince paroi.

(2) La taille réduite de ces caissons impose d'installer un dispositif de tranquillisation suffisant pour obtenir les conditions d'écoulement requises sur une très faible longueur droite (à moins que la vitesse d'écoulement en absence du caisson soit très faible) (Voir aussi 2.2. (6)).

## Cas d'utilisation des caissons :



### 2.2. - Canal d'approche

(1) Tronçon situé immédiatement à l'amont du dispositif de mesure, le canal d'approche est destiné à imposer à l'écoulement les conditions hydrauliques nécessaires à une bonne mesure (tranquillisation du flux, répartition des profils de vitesse...). D'un emploi vivement recommandé, il peut être soit un élément préfabriqué (matière plastique...), soit un ouvrage de maçonnerie exécuté en apportant un soin particulier à son état de surface, sa rectitude...

(2) Le canal doit être rectiligne, facteur d'autant plus obligatoire que la vitesse de l'écoulement est grande. On préférera une section droite rectangulaire qui devra être, dans tous les cas, régulière.

(3) En cas de parois du canal irrégulières, le ralentissement de l'eau le long des parois fait que  $Q$  mesuré  $>$   $Q$  réel.

(4) On tolère le plus souvent une pente de l'ordre de 2 %. On vérifiera simplement que la déviation de la bulle d'air du niveau est négligeable.

(5) La longueur doit en général être 10 fois la largeur (5 fois peuvent suffire si on a une bonne tranquillisation de l'écoulement).

(6) Un **système** de tranquillisation est destiné à obtenir le régime hydraulique convenable pour une bonne mesure dans le cas où le chenal d'approche seul est insuffisant (longueur trop faible...). On rencontre de systèmes diminuant les turbulences ou redressant les filets d'eau (lattes verticales, nid d'abeille...) et des systèmes augmentant la perte de charge (grilles, chicanes...) - voir 4.1. (1).

### 3. - DISPOSITIF DE MESURE

(1) Les mesures du débit des écoulements à surface libre les plus couramment rencontrés ici font appel à des dispositifs (obstacles) destinés à provoquer une singularité dans l'écoulement du flux.

La perte de charge ainsi créée est fonction du débit de l'écoulement, selon une relation hauteur-&& définie pour un obstacle de caractéristiques géométriques données et mis en oeuvre dans des conditions données. Connaissant cette relation, il suffit donc de mesurer une hauteur de liquide pour connaître le débit de l'écoulement.

La difficulté est de connaître la relation hauteur-débit qui est fonction d'un très grand nombre de paramètres relatifs à l'obstacle, au chenal dans lequel a lieu l'écoulement, ainsi qu'à l'écoulement lui-même.

L'idéal serait d'établir au cas par cas, cette relation par étalonnage in situ mais dans la pratique, on cherchera à recréer les conditions idéales des mesures ayant fait l'objet d'études de laboratoire (abaques constructeur, formules de Kindsvater-Cater, de Rehbock...).

Il s'agit donc de s'assurer que ces conditions "idéales" sont respectées dans les cas étudiés.

Trois principaux types de dispositifs sont couramment utilisés : il s'agit :

- des déversoirs en mince paroi,
- des déversoirs à seuil épais,
- des canaux jaugeurs (Venturi).

L'un ou l'autre type sera utilisé selon le cas en fonction de nombreux critères tels que : gamme débit à mesurer, type d'effluent, coût, facilité d'entretien, précision recherchée, conditions hydrauliques amont et aval...

A noter que seuls font à ce jour l'objet d'une normalisation par l'AFNOR les déversoirs en mince paroi à échancrure rectangulaire et triangulaire, les déversoirs à seuil épais à profil rectangulaire et les canaux jaugeurs à col rectangulaire, à col trapézoïdal et à col en U.

#### 3.1. - Les déversoirs

(1) Les déversoirs (en mince paroi ou à seuil épais) sont des dispositifs par-dessus lesquels l'eau s'écoule en permettant soit le contrôle du niveau amont, soit la mesure de débit, soit les deux.

Les déversoirs en mince paroi nécessitent une différence suffisante entre les niveaux amont et aval pour assurer un écoulement libre aéré (voir 4.2.).

Les déversoirs à seuil épais sont utilisables pour des différences de niveau plus faible.

Pour ces deux cas, l'obstacle à l'écoulement qu'ils constituent (contraction verticale) met en charge le canal en amont (les déversoirs en mince paroi davantage que les déversoirs à seuil épais). Ceci peut rendre rédhibitoire leur utilisation dans certains cas (risque de débordement en amont dans le réseau...).

Dans tous les cas, le débit doit être libre et indépendant du niveau de l'eau en aval.

### 3.1.1. - Les déversoirs en mince paroi

(1) Ce type de dispositif est simple à construire, facile à utiliser, peu cher. La mise en charge du canal amont qu'il provoque est fonction de la hauteur de pelle du seuil et des dimensions de l'échancrure et est souvent importante. Ceci peut rendre réhivitoire son utilisation si le réseau en amont ne peut accepter cette surcharge ou s'il se pose des problèmes de colmatage de la pelle en amont du déversoir (vitesse insuffisante pour autocurage), Il a l'avantage, par rapport à d'autres types de dispositifs, d'augmenter la hauteur d'eau pour un même dtbit et donc de diminuer les vitesses d'approche; de ce fait, l'importance des facteurs de longueur droite et de pente amont nécessaires à la bonne tranquillisation du flux et de rugosité des parois du canal amont est diminuée. Ceci est surtout vrai pour les déversoirs possédant une contraction importante devant la largeur du canal (contraction triangulaire surtout).

Pour ceux-ci, la condition de rectangularité de la section du canal d'approche sera également de moindre importance, voire négligeable.

La gamme de débits mesurables par type de seuil est réduite. Les seuils en mince paroi sont les mieux appropriés à la mesure de débits relativement faibles (valeur indicative donnée dans la littérature : jusqu'à 270 m<sup>3</sup>/h. Ils sont peu adaptés à la mesure de débits d'effluents chargés en matières solides ou corrosifs.

Pour la mesure de débits très faibles ou sujets à des variations importantes, on privilégiera l'utilisation de déversoirs à contraction triangulaire.

On préférera utiliser ceux à contraction rectangulaire dans le cas d'effluents contenant des matières flottantes (risque de bouchage au niveau de la pointe de l'échancrure triangulaire).

**Remarque : On précisera ci-après les conditions à respecter pour pouvoir appliquer les relations hauteurs-débit pour les déversoirs : celles-ci correspondant à la formule de Kindsvater-cater, qui est celle préconisée par l'Agence.**

#### 3.1.1.1. - Déversoirs sans contraction

(1) La crête d'un déversoir sans contraction est rectiligne et horizontale et occupe toute la largeur du chenal dans lequel le déversoir est placé.

(2) Pour pouvoir appliquer les formules hauteur-débit, il faut  $P > 10$  cm.

(3)  $h_{max}$  est en relation directe avec le débit maximum mesurable avec le déversoir considéré.

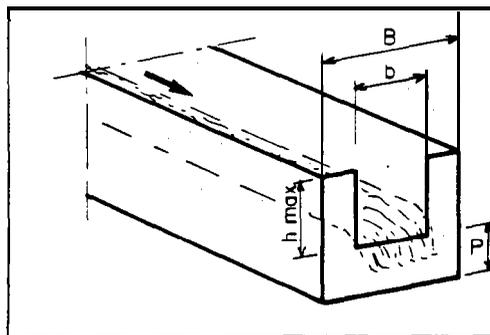
#### 3.1.1.2. - Déversoirs avec contraction rectangulaire

(1) Pour pouvoir appliquer les formules hauteur-débit,

il faut :  $b \geq 15$  cm et  $B - b \geq \frac{10}{2}$  cm

(2) Pour pouvoir appliquer les formules hauteur-débit,

il faut :  $P \geq 10$  cm,  
et  $h/p \leq 2,5$  avec  $3$  cm  $\leq h < 75$  cm.

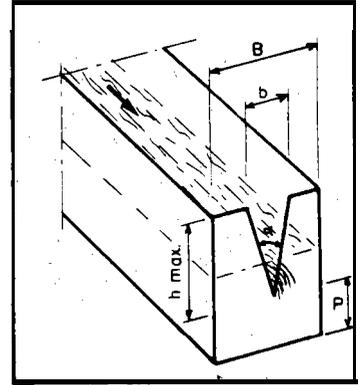


(3)  $h_{max}$  est en relation directe avec le débit maximum mesurable avec le déversoir considéré.

### 3.1.1.3. Déversoir avec contraction triangulaire

(1) Pour pouvoir appliquer les formules hauteur-débit,

il faut

$$\left. \begin{array}{l} h \geq 6 \text{ cm} \\ P \geq 9 \text{ cm} \\ 0,1 < P/B < 1,5 \\ h/P \leq 0,35 \end{array} \right) \text{ pour } \alpha \neq 90^\circ$$


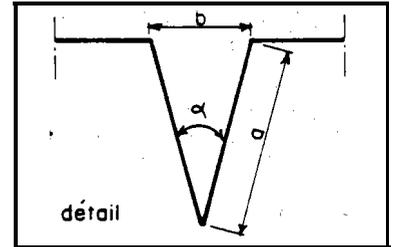
(2)  $h_{max}$  est en relation directe avec le débit maximum mesurable avec le déversoir considéré.

(3) On rencontrera certaines valeurs de  $\alpha$ , angle caractéristique du déversoir plus couramment que d'autres.  $\alpha$  peut cependant être quelconque.

(Le cas où  $\alpha = 90^\circ$  est un cas particulier).

Pour déterminer  $\alpha$ , on mesurera  $a$  et on déduira  $\alpha$  par

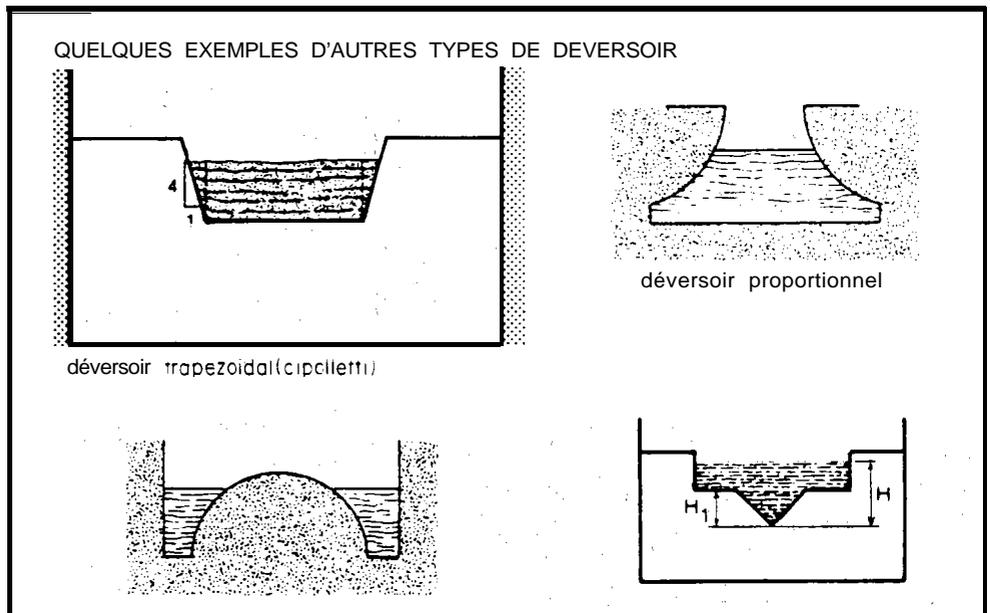
$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{b}{2a}$$



(4) Pour pouvoir appliquer les formules hauteur-débit, il faut  $20^\circ < \alpha < 100^\circ$

### 3.1.1.4.- Autres types de déversoirs en mince paroi

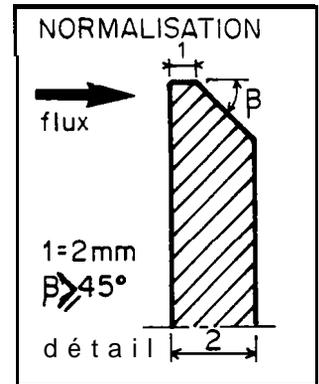
(1) Ces autres types de déversoirs en mince paroi ne sont pas normalisés.



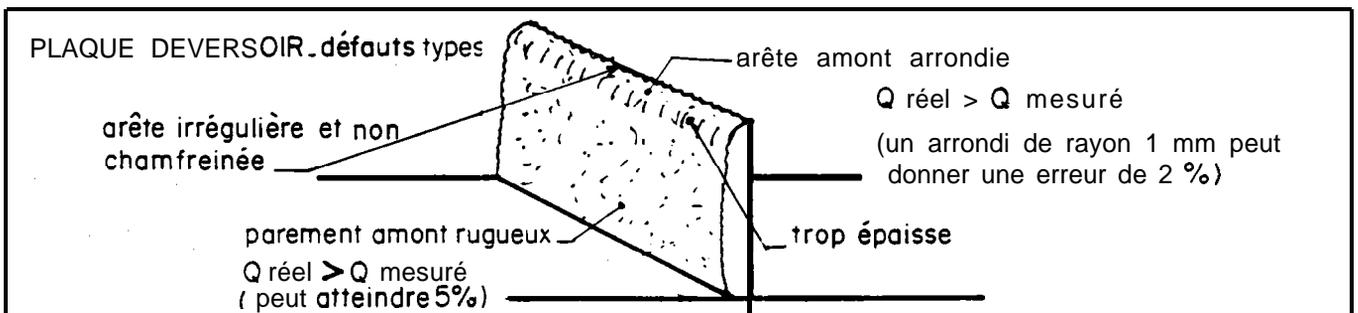
### 3.1.1.5. - Cas général : construction, conformité et conditions de pose

- (1) Quel que soit leur type, les déversoirs en mince paroi doivent tous répondre à certains critères.
- (2) Le type de matériau utilisé **sur** la rigidité, la tenue à la corrosion...

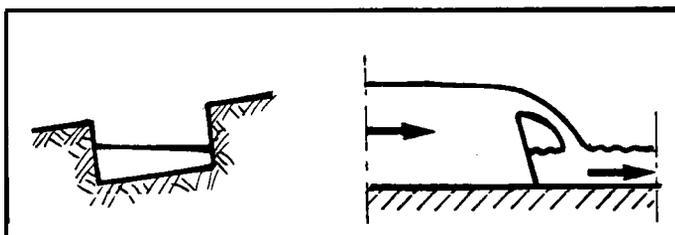
(3) Comme leur nom l'indique, les déversoirs en mince paroi doivent être le moins épais possible, surtout le niveau de la crête (arêtes au contact avec le fluide), de sorte à ne pas perturber l'écoulement. Cependant, les déversoirs doivent souvent être **suffisamment** épais pour satisfaire aux critères de rigidité requis et dans ce cas les arêtes en contact avec le fluide doivent être biseautées. Ces arêtes sont particulièrement vulnérables à l'abrasion et à la corrosion et leurs dimensions font l'objet d'une **normalisation**.



- (4) L'usinage des angles doit être parfait.
- (5) L'usinage doit être précis et régulier
- (6)

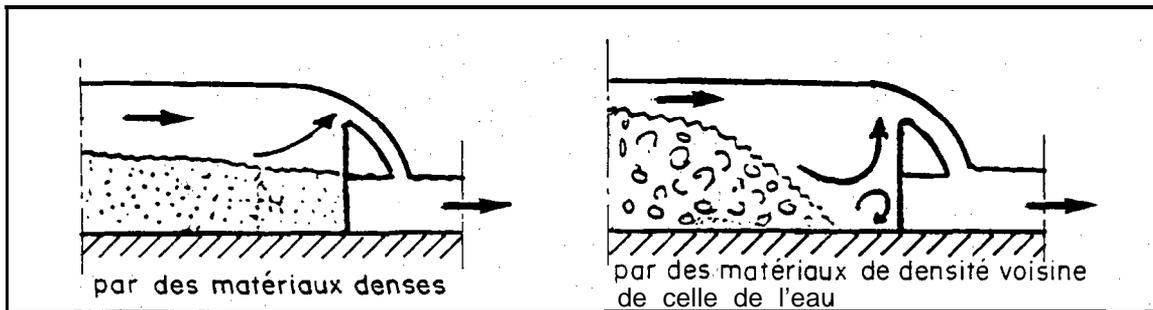


- (7) Exemples d'erreurs de calage

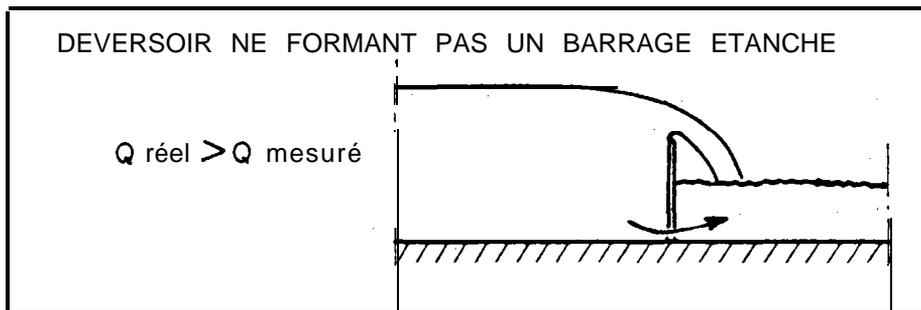


(8) Le déversoir peut être fixé directement sur les parois du canal ou sur un mur spécifique (caisson de jaugeage maçonné). Dans ce second cas, il ne doit y avoir aucune partie du mur formant saillie en amont du déversoir.

(9) La formation d'un dépôt contre la paroi amont entraîne une diminution de la pelle qui devient inférieure à la valeur minimale requise et une perturbation des conditions d'écoulement.



(10)



### 3.1.2.- Les déversoirs à seuil épais (contraction verticale sans contraction latérale) :

(1) Ces dispositifs créent une contraction verticale de l'écoulement par une surélévation du fond du canal appelée "seuil épais". L'eau s'étend sur toute la largeur du canal et reste en contact avec le seuil sur une certaine longueur. Ce sont des déversoirs mais ils diffèrent dans leur utilisation des déversoirs en mince paroi par le fait qu'ils acceptent des débits supérieurs, qu'ils sont plus coûteux, plus solides (massifs), que les problèmes de colmatage et de mise en charge à l'amont sont diminués et que les conditions d'état de surface du seuil lui-même revêtent relativement moins d'importance.

La hauteur de mise en charge en amont rend par ailleurs la mesure moins précise et davantage tributaire des caractéristiques du canal d'approche.

#### 3.121. Type

#### 3.1.2.2. Cas général : construction, conformité, conditions de pose

(1) La plupart des observations demandées le sont pour des raisons identiques au cas des déversoirs en mince paroi (étanchéité, rectitude, ensablement,...).

La différence de niveau de l'eau entre l'amont et l'aval d'un seuil épais est faible (pas d'aération de la lame d'eau nécessaire, faible rapport de dénoyage (voir 4.2.). Ceci permet son utilisation au fil de l'eau (perturbe peu un cours d'eau...).

Certains seuils épais sont des canaux jaugeurs à ressaut car à l'aval de ces dispositifs, l'écoulement passe du régime torrentiel au régime fluvial en formant un ressaut hydraulique (voir 4.2.). On distinguera cependant ici ce type de seuil des canaux jaugeurs -Venturi (3.2.), par l'absence de contraction latérale dans le cas des seuils épais.

## 3.2. - Canaux jaugeurs à contractions latérales (Venturi...)

(1) Le nom générique de ce type de dispositif provient de ce que sa vue en plan est celle d'un Venturi (convergent-divergent).

Ces appareils sont constitués par des éléments profilés établis dans un canal pour créer une contraction latérale dans laquelle la vitesse d'écoulement augmente en entraînant un abaissement de la surface du liquide (passage d'un écoulement fluvial à un écoulement torrentiel - voir 4.2.).

La contraction est constituée par une section convergente suivie d'une section divergente (Venturi), ce qui provoque souvent la formation d'un ressaut en aval de la section de mesure par retour en régime fluvial de l'écoulement. Pour cette raison, ce type d'appareil est souvent désigné par le terme "canaux jaugeurs à ressaut" qui inclut certains déversoirs à seuil épais.

Il existe de nombreux modèles de canaux jaugeurs utilisant les différentes possibilités de contractions latérales et verticales.

Tous présentent les caractéristiques suivantes : ils sont utilisables lorsque la différence entre les niveaux amont et aval de l'eau est faible et provoquent peu de mise en charge du réseau amont. Ils peuvent être utilisés dans des chenaux de n'importe quelle forme si les conditions d'écoulement sont suffisamment stables. Ils conviennent à la mesure du débit d'effluents corrosifs. De plus, les solides en suspension ne sont pas arrêtés par ce type de dispositif et les nécessités de nettoyage sont, sinon éliminées, du moins fortement réduites.

En contrepartie, ces dispositifs sont chers, leur pose doit être effectuée avec le plus grand soin et leur état de surface doit être parfait.

Les canaux jaugeurs ne conviennent en général pas à la mesure de faibles débits mais ils sont quasi systématiquement utilisés pour les débits importants.

### 3.2.1. - Type

(1) Canal **Venturi** à radier en saillie (à fond non plat) : Ce type de **Venturi** est plus sensible aux dépôts de matières solides à l'entrée et occasionne une mise en charge supérieure à l'amont ; en contrepartie, les conditions de dénoyage à faible débit seront plus facilement respectées qu'avec un **Venturi** à fond plat (voir 4.2.).

(2) Le canal **parshall** se différencie principalement par le fait que le radier comporte un abaissement permettant d'obtenir les conditions de dénoyage adéquates quelque soit le débit ("ressaut forcé"). Il en existe de nombreux modèles utilisant les nombreuses possibilités de contraction... Les canaux **Parshall** sont en général caractérisés par la largeur de l'étranglement en pouces ou pieds ("Parshall de 6 pouces" ...).

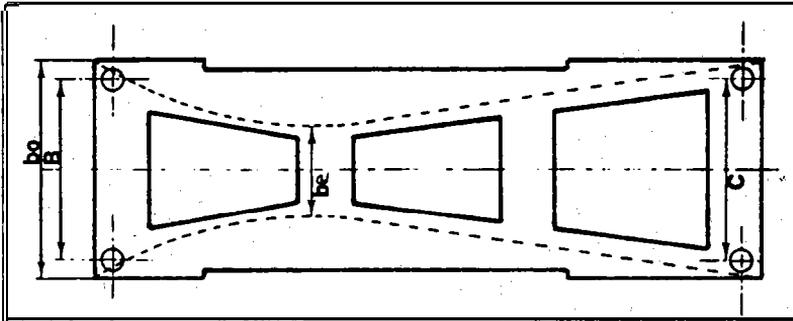
(3) Canal **Venturi** à radier arrondi : ce type de canal est utilisé dans le cas où le chenal d'approche, est de section circulaire ou en U. Son utilisation est délicate et nécessite souvent un étalonnage.

(4) Canal **Venturi** à section parabolique (**Venturi** exponentiel) : dans ce type de **Venturi**, seule la contraction est de section parabolique. Les sections amont et aval sont rectangulaires. Les avantages sont : gamme de débit acceptable plus étendue pour un même modèle de canal, hauteur d'eau importante pour un débit faible (précision).

(5) "H.flume" : rarement utilisé. L'emploi de ce modèle de canal jaugeur ne se justifie que pour des effluents très chargés en matériaux solides.

3.2.2. - Cas général : construction, conformité, conditions de posé

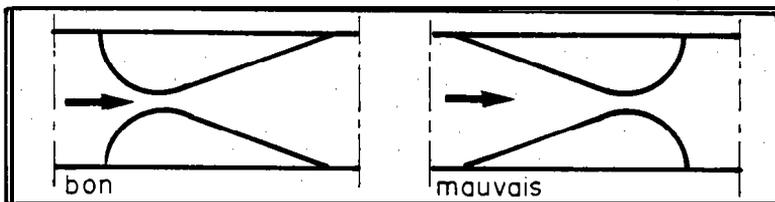
(1) Les principales dimensions caractéristiques des canaux jaugeurs sont en général la longueur, la largeur et surtout la largeur de l'étranglement. S'y ajoutent les caractéristiques de la contraction verticale pour les canaux à fond non plat.



(2) En présence d'un caisson fermé, on pourra vérifier le parallélisme des parois latérales en vérifiant que leur écartement est bien identique de bas en haut.

Même un canal préfabriqué peut ne pas remplir ces conditions de pose : en effet, il peut être soit posé sur un radier béton lui-même imparfait, soit déformé après pose par la prise du béton de blocage.

(3) Présence d'une flèche symbolisant le sens du flux sur certains seuils préfabriqués, sinon, vérifier que le convergent est à l'amont.



(1) On montre que, pour un régime d'écoulement déterminé, il existe une relation univoque entre le débit et la hauteur d'eau s'écoulant dans une section de géométrie définie. Cette relation est "utilisable" et **donne** des résultats reproductibles lorsqu'on dispose **d'une section de contrôle**; c'est-à-dire qu'en une section de l'écoulement, le régime passe de fluvial à critique puis à torrentiel.

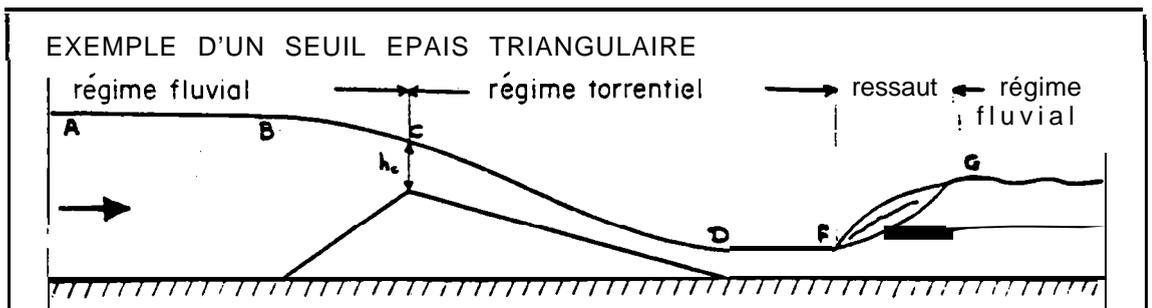
On peut alors connaître le débit en mesurant la hauteur d'eau en un point déterminé de l'amont en régime fluvial, le passage en régime torrentiel faisant que tout ce qui peut se passer en aval n'a pas **d'influence**.

**Régime fluvial** : écoulement tranquilisé, de vitesse inférieure à la vitesse critique, l'écoulement aval influence (freine) l'amont. Energie potentielle > Energie cinétique. Une onde peut remonter le courant, donc l'écoulement en amont est influencé par tout obstacle situé en aval.

**Régime torrentiel** : écoulement brutal, de vitesse supérieure à la vitesse critique, l'écoulement aval n'influence pas l'amont. Energie potentielle < Energie cinétique. Une onde ne peut pas remonter le courant, donc ce régime d'écoulement rend l'amont indépendant de l'aval.

**Régime critique** : intermédiaire, de vitesse = vitesse critique. Energie potentielle = Energie cinétique. Ce régime est obtenu dans la section de contrôle.

Les différents dispositifs de mesure (seuils, canaux, jaugeurs, déversoirs) déterminent sur l'eau qui les traverse le changement de régime d'écoulement recherché.



**Remarque** : on supposera que les écoulements se font toujours en régime permanent, uniforme ou varié. Dans la pratique, on rencontrera souvent des écoulements en régime transitoire (où la vitesse en **un point donné** varie dans le temps). Sauf si elles sont très importantes et fréquentes, on pourra négliger l'influence des variations de débit sous réserve que la réponse du **capteur** d'eau soit suffisamment rapide.

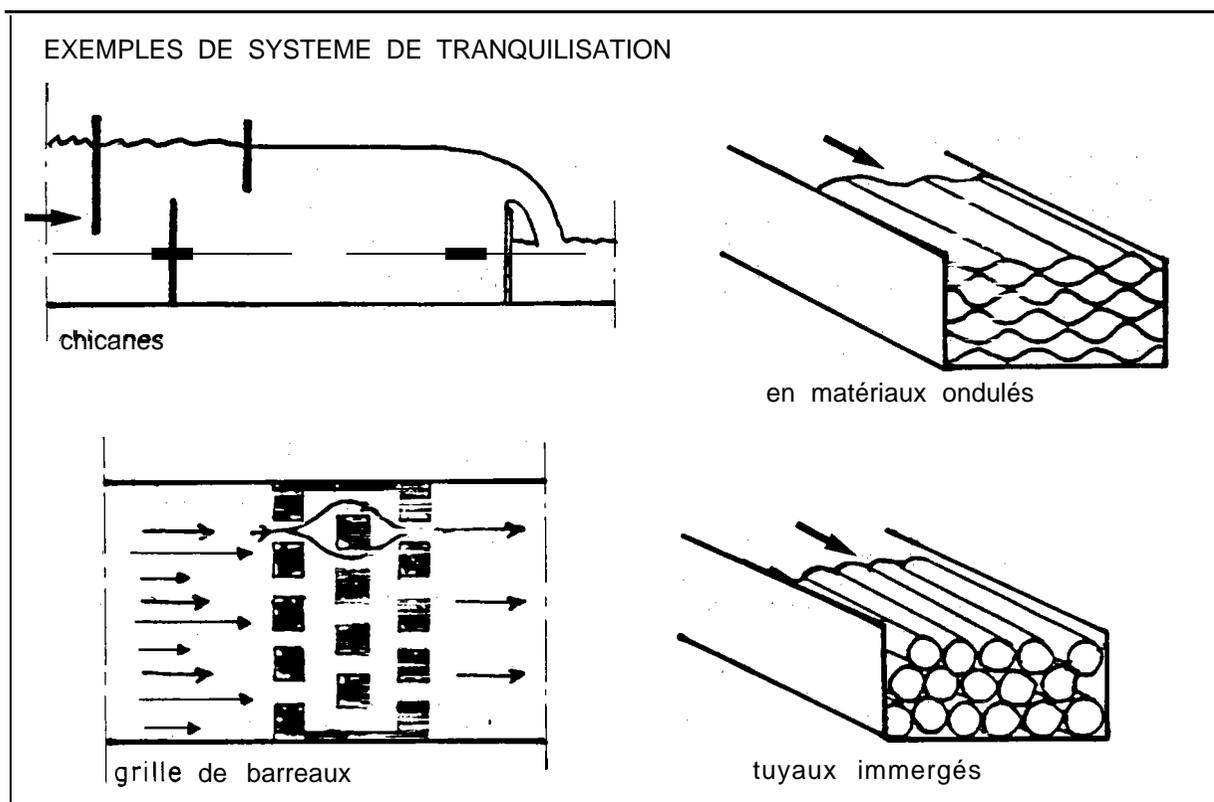
#### 4.1. - Conditions amont, canal d'approche

(1) Il faut d'abord s'assurer que l'écoulement à l'amont du dispositif de mesure soit en régime fluvial. Le chenal d'approche doit permettre d'obtenir un écoulement laminaire (bonne répartition des vitesses) et lent. En effet, la théorie débouchant sur les équations de débits impose de pouvoir considérer la vitesse d'approche comme nulle. Ce résultat est tributaire en premier lieu des conditions géométriques de ce chenal (longueur, pente...), qui ont été vérifiées en 2.

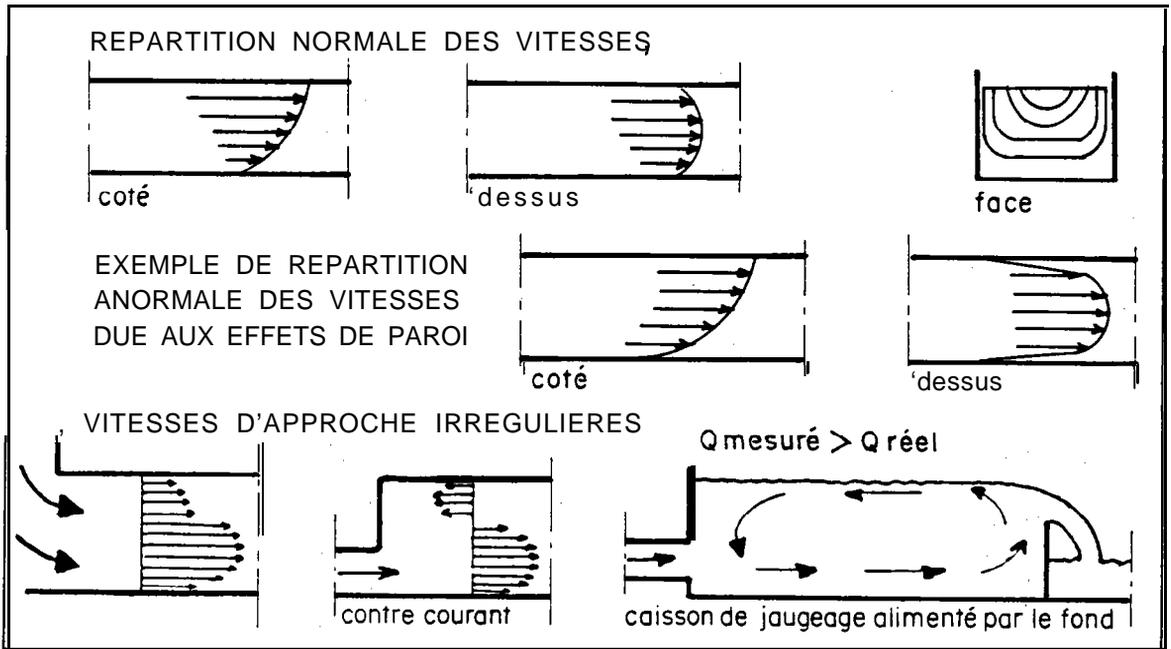
Il faut ensuite s'assurer que la situation réelle est bien celle recherchée. Il est surtout à craindre qu'à l'amont du dispositif de mesure, l'eau n'acquière une vitesse d'approche trop élevée, ou qu'il existe des courants préférentiels, ce qui fausserait la mesure. On remédiera à ce type de problème en augmentant la perte de charge (système de tranquillisation).

Si l'on veut implanter un dispositif de mesure sur un canal où l'écoulement est torrentiel dans le cas, par exemple, d'un canal à forte pente, il faudra rendre l'écoulement fluvial, en s'assurant que le ressaut formé en amont par le passage de l'écoulement de régime torrentiel à régime fluvial recherché est suffisamment éloigné de la zone de mesure et que la répartition des vitesses soit normale au niveau du dispositif.

La vérification exacte de la bonne répartition des vitesses s'effectue à l'aide d'un hélice (moulinet....).



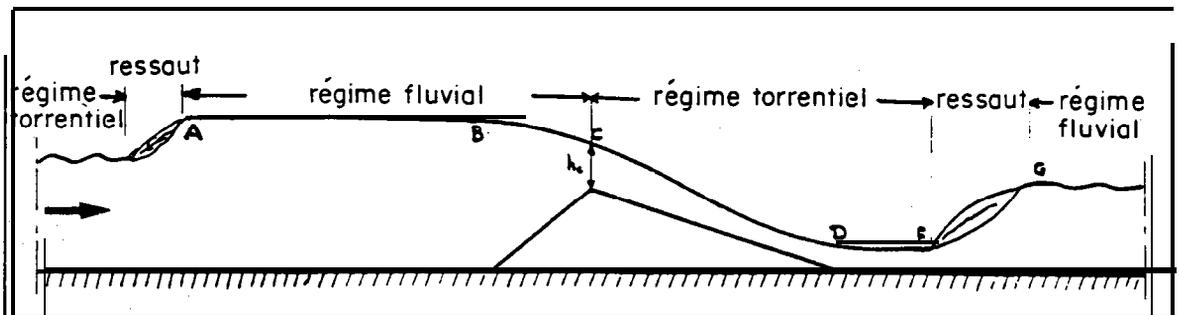
(2) Profil de vitesse - Effets de paroi



(3) Un cas très fréquemment rencontré est celui où le tuyau de préleveur, souvent associé à la mesure de débit, crée des turbulences parce qu'il est soit mal positionné dès le départ, soit mal remplacé après une intervention quelconque (entretien...).

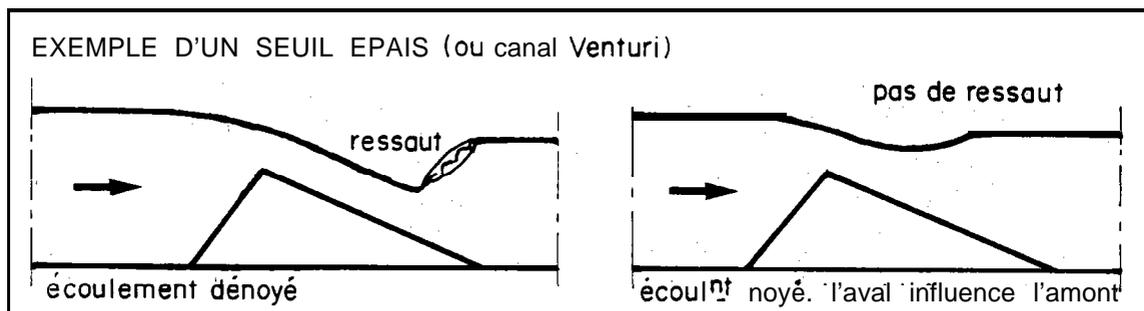
(4) On préconise 30 h max au minimum pour la distance du ressaut à la visite du dispositif (AC sur le schéma).

En cas d'arrivée rapide de l'écoulement dans le canal de mesure (régime torrentiel), le dispositif de mesure occasionne une perte de charge qui doit rendre l'écoulement fluvial dans la zone de mesure. Un ressaut se forme donc en amont mais doit être suffisamment éloigné pour ne pas gêner la mesure.

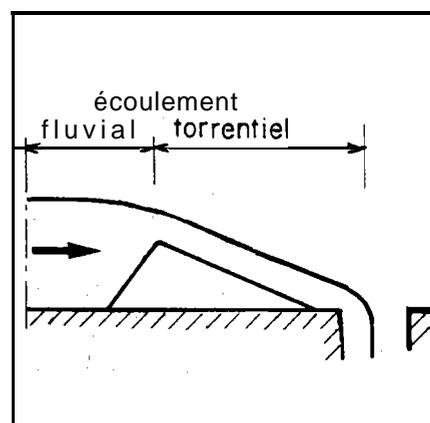


## 4.2. - Conditions de dénoyage du dispositif de mesure

(1) Le principe général à respecter pour la mesure de débit en fonction de la hauteur d'eau est que l'écoulement à l'amont du dispositif de mesure soit indépendant de l'écoulement à l'aval (dénoyage). On obtient ainsi le passage de l'écoulement fluvial à l'écoulement torrentiel.



Dans le cas où l'exutoire est un orifice incliné ou vertical, et sous réserve qu'il soit suffisamment proche du dispositif de mesure et que ses dimensions soient adaptées à l'absorption du débit maximum, l'écoulement sera forcément torrentiel en aval du dispositif et donc les conditions de dénoyage respectées.

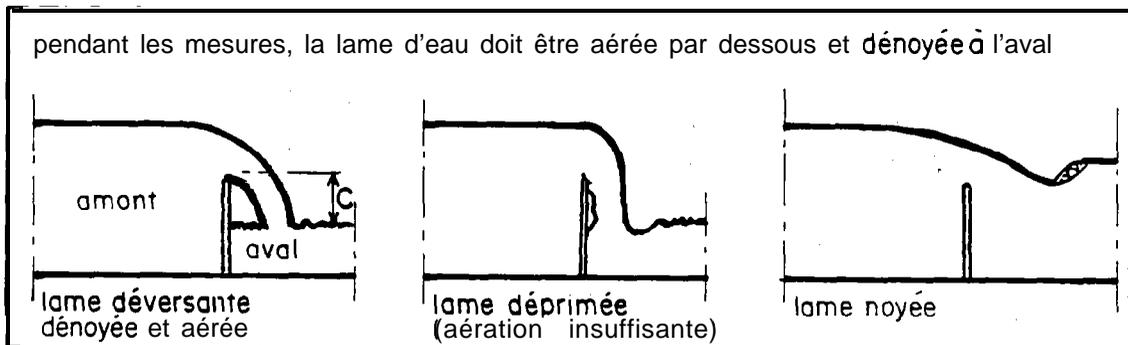


### 4.2.1. - Section de contrôle

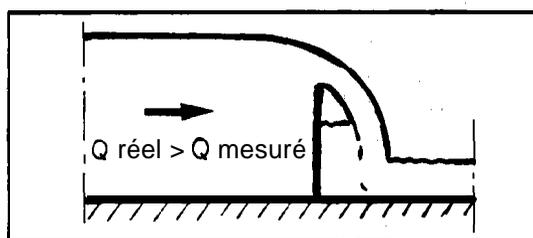
(1) Il s'agit de vérifier que les conditions de dénoyage sont effectivement remplies. On essaiera de faire les vérifications, dans la mesure du possible, pour un débit maximum, ce qui garantira le respect de ces conditions pour des débits plus faibles (sauf cas des Venturi pour des débits très faibles). (Voir 4.2.1.3. (3)).

#### 4.2.1.1. - Déversoirs en mince paroi

(1) Le passage en régime critique a lieu à proximité de la crête des déversoirs en mince paroi. La mise en charge amont permet dans la plupart des cas d'obtenir le dénoyage simplement par le déversement de la lame depuis la hauteur de pelle, sous réserve que l'évacuation en aval se fasse rapidement. Pour que l'aval n'influence pas du tout l'amont, il y a une condition supplémentaire à respecter dans le cas des déversoirs en mince paroi : la lame d'eau doit être aérée, ce qui garantit l'absence d'interaction (freinage) entre la lame déversante et la paroi à l'aval.



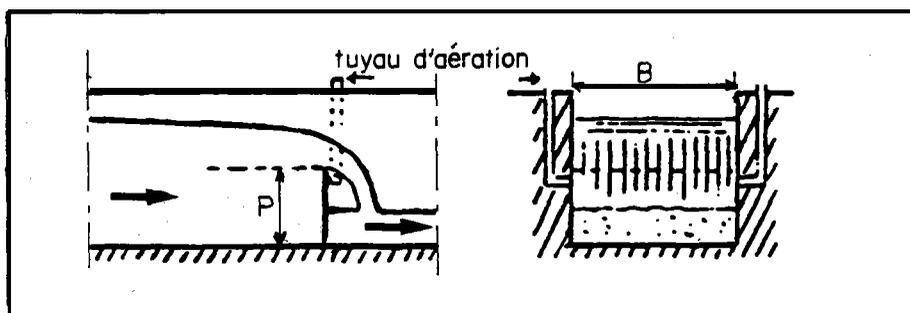
Le dénoyage sera plus facilement respecté à faible débit, l'aération sera plus facilement respectée à fort débit. On effectuera donc des contrôles à fort **et** à faible débit.



(2) Les symptômes sont : forte courbure de la lame d'eau qui "colle" au déversoir, la hauteur d'eau entre le déversoir et la lame d'eau est supérieure à la hauteur en aval.

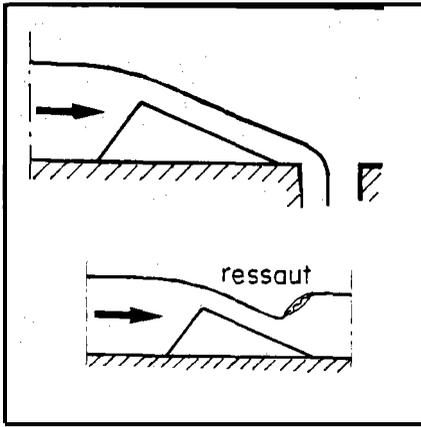
**Remarque** : la condition d'aération impose une hauteur de pelle minimum à respecter.

(3) Dans le cas d'un déversoir sans contraction latérale, l'aération ne peut être réalisée qu'en prévoyant des prises d'air latérales.



#### 4.2.1.2.- Déversoirs à seuil épais

(1) La vitesse critique est là aussi, obtenue à proximité de la crête du seuil. Mais le respect de conditions de dénoyage est dans ce cas plus délicat à vérifier.



(2) Cette condition est facilement respectée en cas d'évacuation en profondeur. Dans le cas plus fréquent des seuils épais au "fil de l'eau", la présence d'un ressaut visible en aval atteste du passage en écoulement torrentiel.

(3) Il ne doit pas y avoir formation de poche d'air au contact du seuil. La lame d'eau ne doit pas se détacher du seuil (phénomène surtout fréquent en aval de la crête). Observation difficile dans le cas d'effluents opaques.

(4) Pas de valeur précise à respecter pour ces autres seuils épais, la condition  $h > h_a$  n'est pas suffisante pour conclure à un bon dénoyage.  **$h_a$  étant la hauteur d'eau aval mesurée par rapport à la crête du déversoir.**

#### 4.2.1.3. - Canaux jaugeurs (Venturi...)

(1) Cette condition est facilement respectée en cas d'évacuation verticale. Dans le cas des canaux jaugeurs au fil de l'eau, la présence d'un ressaut visible en aval de la contraction atteste du passage de l'écoulement fluvial à l'écoulement torrentiel.

(2) Les canaux jaugeurs sont très sensibles à ce phénomène.

(3) Pour la mesure des débits correspondants à de faibles hauteurs d'eau, il est difficile de s'assurer du dénoyage de l'écoulement dans certains types de canaux (Venturis à fond plat...).

(4) Le niveau du fond du canal ne doit jamais être inférieur à celui du plan d'eau aval pour un écoulement nul, sinon l'écoulement sera probablement noyé dès qu'il s'établira.

(5) Les canaux venturi à radier en saillie favorisent le dénoyage à des débits faibles, la mise en charge à l'amont rendant celui-ci plus facilement indépendant de l'aval. Les canaux parshall ont le même avantage puisque la surélévation du radier "force" le ressaut.

(6) Les rapports  $h_a/h$  à respecter sont valables quel que soit le débit, mais la localisation précise des mesures de  $h$  et  $h_a$  rend délicate leur vérification à de faibles débits. On se contentera dans ce cas du contrôle visuel demandé plus haut.

#### 4.2.2. Conditions aval

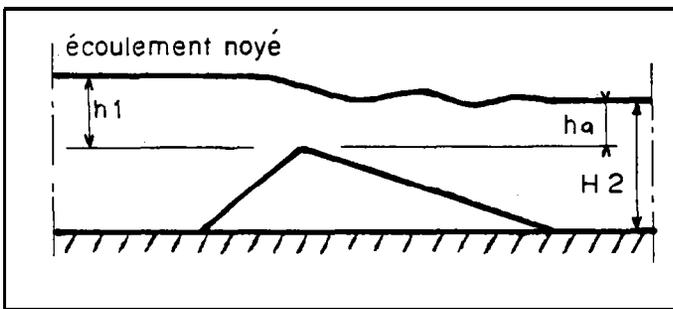
(1) La configuration du chenal aval est généralement sans importance, il suffit que les conditions de dénoyage soient respectées. Si elles ne le sont pas, il convient de savoir quelles en sont les raisons. Il convient également de s'assurer que rien ne risque de gêner le dénoyage dans des circonstances autres que celles du contrôle.

(2) En aval du dispositif de mesure, le flux peut être évacué de différentes façons, selon que le dispositif soit implanté "au fil de l'eau" (en chenal, rivière...) ou que l'exutoire soit placé directement en aval (fosse...). - Voir 4.2. (1).

(3) Il est possible qu'après une partie aval, qui peut être quelconque, le flux soit évacué par un orifice limité en diamètre. Avec l'augmentation du débit mesuré, il est possible que cette limitation finisse par occasionner une mise en charge à l'aval, perturbant le dénoyage.

#### 4.23. - Cas des dispositifs à écoulement noyé (ou tranquille) - Cas particulier

(1) Par opposition aux dispositifs à écoulement dénoyé (ou torrentiel ou libre), il existe certains dispositifs (seuils épais et canaux jaugeurs) pour lesquels les écoulements amont et aval ne sont pas indépendants.



D'un usage peu courant et peu précis, ces dispositifs (canaux jaugeurs ou seuils à écoulement noyé), nécessitent la mesure des hauteurs amont et aval, ce qui rend la mesure du débit très imprécise.

On n'exposera pas ici ce type de dispositif dont l'emploi est à proscrire (ne donne qu'un ordre de grandeur).

**Remarque :** Il existe d'autres dispositifs utilisant une double mesure de hauteur et dont l'utilisation est à proscrire pour les mêmes raisons (exemple : orifice calibré).

#### 4.3. - Conclusion

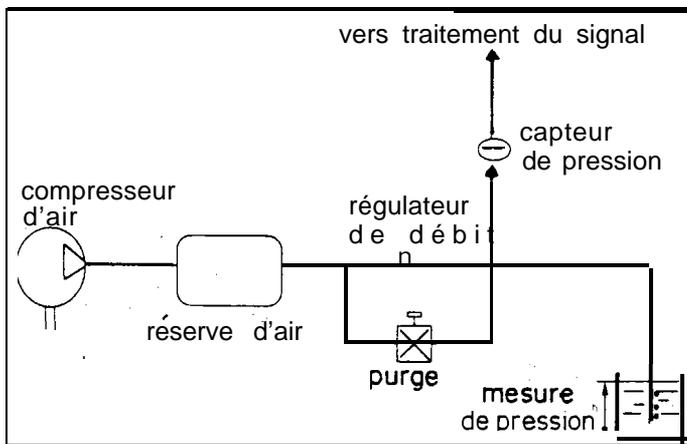
## 5. - MESURE DU DEBIT

(1) Le type de dispositif de mesure et son dimensionnement étant adaptés au cas étudié. ses conditions de pose étant respectées, les conditions hydrauliques de l'écoulement remplies, il reste à vérifier que la mesure du débit se fait bien dans les conditions requises, c'est-à-dire que le type de capteur est adapté, qu'il est bien positionné, que la chaîne de mesure est adaptée et que la mesure est juste.

### 5.1. - Type de capteur de hauteur d'eau

(1) Il existe de nombreux types de capteurs utilisant différents principes physiques permettant la transformation de la hauteur d'eau dans l'écoulement en un signal permettant sa mesure. Chacun est plus ou moins adapté au cas étudié en fonction de ses caractéristiques intrinsèques (précision, répétitivité...) et en fonction des caractéristiques de l'effluent (matières véhiculées, température...).

#### 5.1.1. - Sonde pneumatique (bulle à bulle)



(1) Le principe physique utilisé (mesure de la pression correspondant à une hauteur d'eau) permet de s'affranchir de l'influence de certains paramètres (matières véhiculées,...).

Ce type de sonde, composé d'une canne de bullage, d'un système générant la contre-pression (bullage) et d'un manomètre, est très rustique et donne en général entière satisfaction, sous réserve d'un entretien régulier (vérification du bullage...). Les inconvénients sont : risque de bouchage de la canne de bullage dans les effluents très chargés, et temps de réponse pouvant être insuffisant en cas de variations très rapides du niveau.

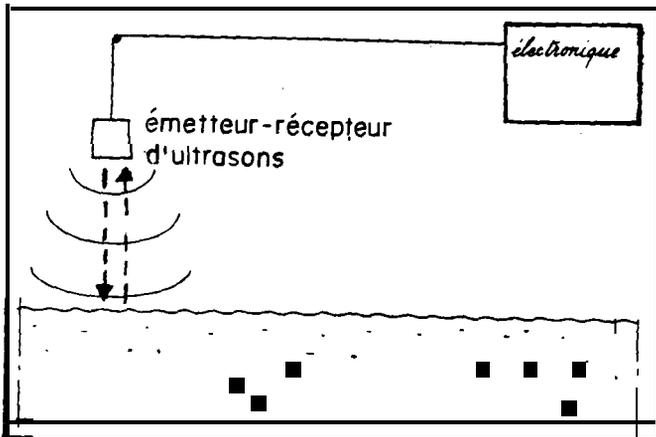
#### (2) Autopurge

Sert à prévenir le bouchage de la sonde. Elle a lieu régulièrement à des intervalles de temps programmés (à visualiser).

#### (3) Correction de pression atmosphérique :

Cette compensation est nécessaire et est réalisée en mettant à l'air libre une des entrées du manomètre.

### 5.1.2. - Sonde à ultrason



(1) Ce type de capteur mesure le temps d'aller retour d'une onde sonore qui se réfléchit sur la surface libre de l'écoulement. Il n'est pas en contact avec le liquide. Il n'y a donc pas de risque d'encrassement ni d'influence de la température de l'effluent. Cependant, des mousses ou matières flottantes présentes dans l'effluent faussent la mesure car elles réfléchissent les ultrasons. Le signal subissant un traitement électronique peut être sujet à une dérive dans le temps, ce qui rend incontournable une vérification régulière.

(2) Les erreurs deviennent sensibles pour des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm entre la sonde et la surface de l'eau. Si la distance de la sonde au fond du canal est supérieure à cette valeur, il existe un risque d'erreur si le débit devient faible.

(3) Capteur à ultrasons immergé. Ce type de capteur est rare car pas encore au point.

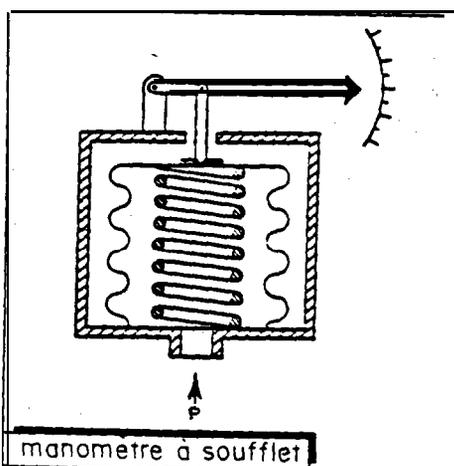
### 5.1.3. - Sonde piézorésistive

(1) Le capteur immergé utilise les propriétés piézo-électriques d'un cristal : une déformation mécanique (ici la pression de hauteur d'eau) entraîne l'apparition de charges électriques sur les faces du cristal opposées à la contrainte. Le signal est traité électriquement et est sujet à dérive. La température de l'effluent influence la mesure et la membrane est sujette au vieillissement et aux problèmes d'encrassement communs à tous les capteurs immergés. On peut en contrepartie les laisser plus facilement sans surveillance.

### 5.1.4. - Autres capteurs

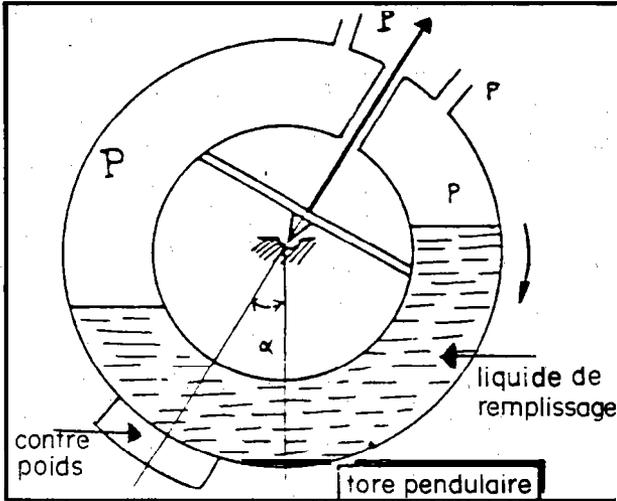
(1) Il en existe de nombreux types, mais moins courants que ceux vus ci-dessus.

\*~~Capteurs mesurant une pression~~



Manomètre à soufflet (2) : Mesure de déformation du capteur sous la pression de la hauteur d'eau, partageant certains avantages et inconvénients avec le bulle à bulle, ces capteurs sont peu précis et le signal transmis est mécanique (problèmes de traitement du signal : intégration...).

Manomètre à capsule (3) : Même principe que pour le manomètre à soufflet, mais signal électrique. Très sensible aux graisses.

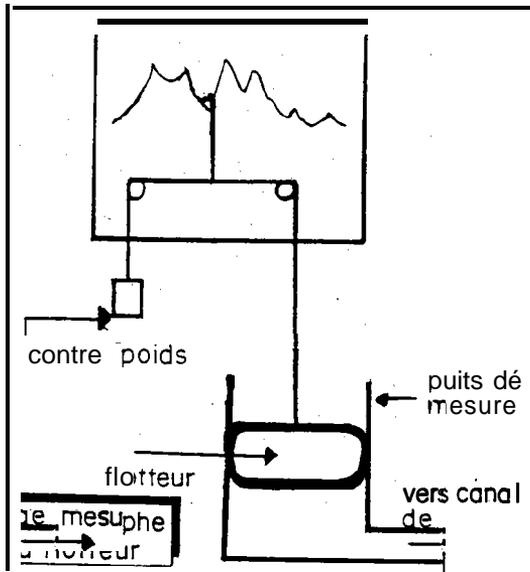


(4) Capteur à déformation mécanique très fragile, très précis mais d'un réglage très délicat. Signal mécanique (graphique).

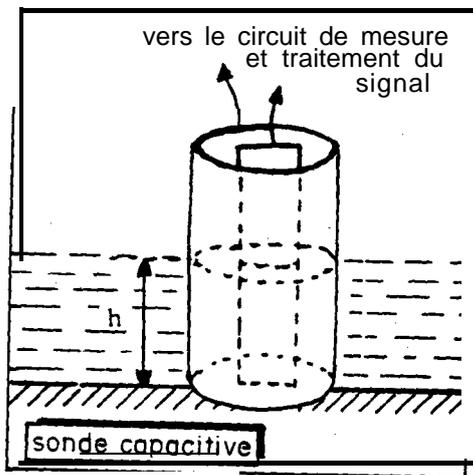
Capteur capacitif à membrane (5) : Une armature de condensateur est reliée mécaniquement à une membrane soumise à la pression à mesurer. On mesure la variation de capacité provoquée par une variation de surface des plaques en regard du condensateur (cylindrique), ou par la variation de l'écartement des plaques. Capteur immergé et à membrané, donc sujet à encrassement et vieillissement (compensation nécessaire).

\* Capteurs mesurant une hauteur

Limnigraphe à palpeur (6) : Système motorisé d'asservissement et traitement du signal complexe et difficile. Mise en place rapide et non perturbatrice.



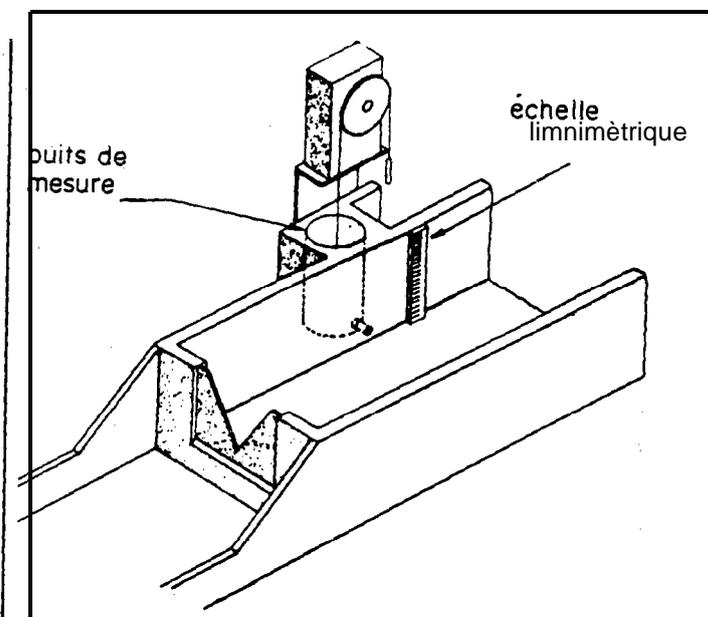
(7) Système rudimentaire très sensible aux conditions extérieures (puits de mesure indispensable). Signal mécanique.



(8) Basés sur la variation de capacité due à la variation de la surface du condensateur formé par l'eau et deux parties **métalliques**, ces capteurs sont inadaptés aux effluents gras ou chargés, sont peu précis et sujets à dérive.

## 5.2. - Mise en oeuvre du capteur (positionnement)

### 5.2.1. - Puits de mesure (1)



(1) Un puits de mesure (ou puits de tranquillisation) est constitué par une ouverture verticale placée à proximité du canal de mesure et relié à celui-ci par un dispositif (tuyau, fente...) permettant leur équilibre hydraulique (hauteur dans le puits = hauteur dans le canal). La mesure de la hauteur d'eau dans un puits permet de réduire l'influence de facteurs extérieurs de l'irrégularité de la surface tels que : exposition au vent, effets de parois..., et d'avoir réellement une vitesse d'écoulement nulle au point de mesure de hauteur.

L'emploi d'un puits de mesure est théoriquement obligatoire pour les capteurs immergés ou à flotteurs, mais peut être dans **certains** cas facultatif sous réserve de respecter un certain nombre de **règles**.

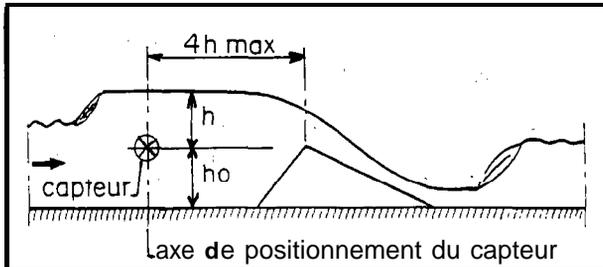
(2) Les dimensions du puits de mesures doivent être suffisantes pour que la mesure de hauteur ne soit pas influencée par des phénomènes liés à la tension superficielle de l'eau et pour que l'entretien soit facile.

(3) Le puits doit être assez profond pour que les éventuels dépôts ne gênent pas la mesure et que l'eau y soit présente même à débit nul.

(4) L'ouverture de la liaison doit être assez grande pour permettre un temps de répercussion dans le puits des variations de hauteur dans le canal **suffisamment** court et pour en permettre l'entretien, assez petite pour amortir les oscillations dues à des ondes de faible amplitude. L'orifice de la liaison côté canal doit être perpendiculaire à l'écoulement et effleurant la paroi du canal. Il sera de préférence localisé au fond du canal mais pourra être latéral.

### 5.2.2. - Positionnement en mise en oeuvre du capteur

(1) Le principe général est le suivant : la mesure de la hauteur d'eau doit se faire en un point **suffisamment** en amont de la section de contrôle d'une part pour ne pas être influencée par l'abaissement de la surface dans la section de contrôle, et d'autre part pour que la vitesse puisse y être considérée comme nulle (condition nécessaire pour obtenir une relation **hauteur-débit** univoque).



Le point de mesure ne doit pas être non plus trop éloigné en amont pour que les conditions de tranquillisation et de régime permanent soient satisfaites. On **donne** en général une valeur de 3 à 4 h max à respecter entre le point de mesure de hauteur et la section de contrôle. On utilisera cette valeur en l'absence de précisions du constructeur.

#### 5.2.2.1. - Cas des capteurs de hauteur placés dans un puits de mesure (2)

(1) Les capteurs de type flotteur doivent impérativement être placés en puits de mesure.

(2) Dans le cas de capteurs à flotteurs, il ne doit pas y avoir de frottements entre le flotteur et les parois du puits. Voir aussi 5.2.1 (2).

#### 5.2.2.2. - Cas des capteurs de hauteur placés directement dans l'écoulement

#### 5.2.2.3. - Cas général

(1) Les origines sont choisies de façon à avoir toujours la valeur de distance à respecter égale à 3 ou 4 h max. Le cas de certains canaux jaugeurs (dont les parshall) est différent en ce sens que la hauteur doit être mesurée en un point précis du dispositif (dans le convergent). Le point de mesure est dans ce cas une donnée constructeur et est en général à 2/3 de la longueur de la partie rectiligne du convergent en amont de l'étranglement.

h max est la hauteur de lame maximum mesurée au niveau du capteur. C'est en toute rigueur la hauteur **maximum** réellement mesurée, mais celle-ci n'est que rarement connue. Dans la pratique, on pourra prendre h max = capacité maximale mesurable avec le dispositif étudié.

**Attention** = voir 5.4. pour la mesure de hauteur qui doit être effectuée en tenant compte de la pelle (des déversoirs, façade du radier en saillie des canaux à fond plat...).

(2) En particulier, le tuyau d'un préleveur doit être placé suffisamment loin de la mesure de hauteur.

(3) Ceci sera toujours le cas, avec des capteurs piézo-électriques, bulles à bulles...

Ceci devra être soigneusement vérifié avec des capteurs de type limnimètre, capacitif, ultrasons immergés... Dans le cas de l'utilisation de sonde à ultrasons aérienne, on vérifiera soigneusement que le faisceau émis est perpendiculaire à la surface (support horizontal...).

#### 5.2.2.4. - Calage du zéro de la mesure de hauteur d'eau

(1) Calage du zéro (voir aussi 5.4.) : selon le type de capteur de mesure de hauteur d'eau, le calage sera **mécanique** : on réglera physiquement le capteur à la hauteur correspondant au débit nul ; cas des capteurs bulles à bulles, à flotteur . . .

(2) Electrique : le capteur est placé à une altitude approximative et le calage est fait électriquement après mesure par ailleurs de la hauteur réelle à l'aide d'une règle (cas des ondes à ultrason...).

### 5.3. - Chaîne de mesure - transmission du signal

(1) Une chaîne de mesure de débit type se compose schématiquement :

- d'un capteur de hauteur d'eau dont le rôle est de transformer toute variation de la grandeur physique en question en un signal exploitable : électrique si possible (variation de tension ou d'intensité),
- d'un convertisseur linéarisateur dont le rôle est par l'intermédiaire d'une formule de calcul, (relation hauteur-débit) de transformer la grandeur primaire (hauteur d'eau) en une grandeur secondaire (débit),
- d'un intégrateur qui permet de passer du débit instantané obtenu grâce au convertisseur, au volume transité pendant l'intervalle de temps choisi (cumul, intégration),
- à ces éléments principaux, on ajoutera les lignes de transport du signal (câblages), et les différents indicateurs (par **affichage** numérique ou enregistrement graphique) des différentes grandeurs mesurées (hauteur, débit instantané, volume totalisé...). Divers auxiliaires peuvent être également présents (transmission à distance, signalisation...).

### 5.3.1. Etat de fonctionnement

(1) Le gel peut fausser la mesure (glace...), voire détériorer la chaîne de mesure.

(2) Le vent peut causer des turbulences à l'écoulement, en particulier à la surface (vagues), gênant la mesure de hauteur.

(3) On peut relever des traces de submersions antérieures du dispositif, dépassement des hauteurs maxi tolérées...

### 5.3.2. Grandeurs mesurées et mesurables

**1) Conseil pour la conception et l'exploitation d'une chaîne de mesure de débits**  
(à l'usage des exploitants) :

- pose d'une réglette graduée pour mesure simple de la charge sur le dispositif de mesure,
- disposer d'un affichage de la hauteur d'eau instantanée, si possible en numérique, avec les mêmes unités que la réglette,
- disposer d'un affichage du débit instantané si possible et dans l'unité d'utilisation (en général m<sup>3</sup>/h),
- disposer à côté de l'ensemble, la table hauteur-débit calculée par exemple au pas de 0,5 ou 1 cm pour pouvoir effectuer les contrôles du convertisseur,
- tenir un cahier des relevés de contrôle pour pouvoir apprécier les dérives avec :

DATE, HEURE, H-REGLETTE, H-AFFICHEUR, Q-AFFICHEUR, V

**N.B.** les 2 afficheurs peuvent être condensés en un seul avec un commutateur pour afficher H ou Q.

#### 5.3.2.1. Hauteur d'eau

#### 5.3.2.2. Débit instantané

#### 5.3.2.3. Totalisation, récapitulatif

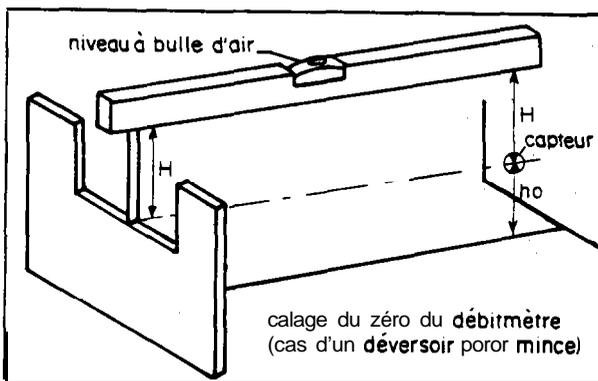
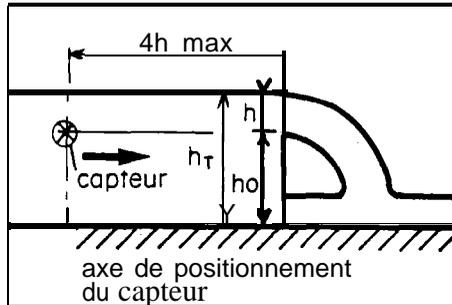
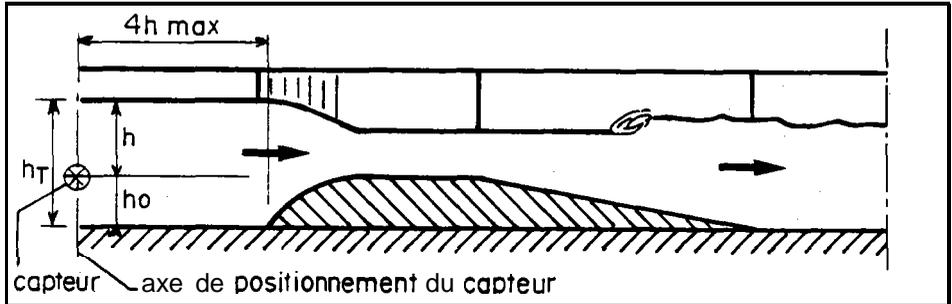
#### 5.3.2.4. Equation de conversion hauteur-débit

(1) L'équation de conversion hauteur-débit est applicable à un type de dispositif de mesure déterminé mis en oeuvre dans des conditions déterminées. Son adéquation au cas particulier étudié ne sera pas vérifiée sur le terrain.

## 5.4. - Vérification des indications du débitmètre

### 5.4.1. Hauteur d'eau

(1) La hauteur d'eau à prendre en compte dans la relation hauteur-débit est la hauteur totale de liquide au niveau du capteur diminuée de la hauteur mesurée à débit nul. Cette hauteur à débit nul est différente selon le dispositif de mesure mis en place (déversoir, Venturi...).



(2) La hauteur d'eau à prendre en compte pour le "zéro" n'est pas évidente à mesurer si on ne peut bénéficier d'un arrêt réel de l'écoulement. On la connaît indirectement grâce aux données géométriques et d'implantation du dispositif (crête de l'échancrure des déversoirs si l'amont est horizontal, fond des canaux Venturi...). On pourra éventuellement l'estimer, par mesure au niveau du capteur si l'amont n'est pas exactement horizontal grâce à un niveau à bulle d'air.

### 5.4.2. Débit

# MESURES DE DEBITS EN CONDUITES FERMEES

## INTRODUCTION

L'autre grande catégorie d'infrastructure de mesure de débit qu'on peut rencontrer en épuration est celle qui concerne les conduites fermées. On rencontrera ces infrastructures :

- dans le cas où la mesure de débit est réalisée en aval de pompes (effluents sous pression ou à grande vitesse),
- dans le cas où le débit à mesurer est **difficilement** mesurable par un dispositif en canal ouvert de par son importance (très faible débit) ou de par la nature de l'effluent (vapeurs toxiques, matières abrasives, présence de graisses....)
- dans tous les types de cas envisageables car ces appareils peuvent couvrir des gammes de débit très larges.

Dans le cadre de l'autosurveillance, on rencontrera principalement des points de mesure de débit en conduite fermée dans des stations d'épuration industrielles (physico-chimiques, détoxification,...).

## 1 - IDENTIFICATION DU POINT DE MESURE

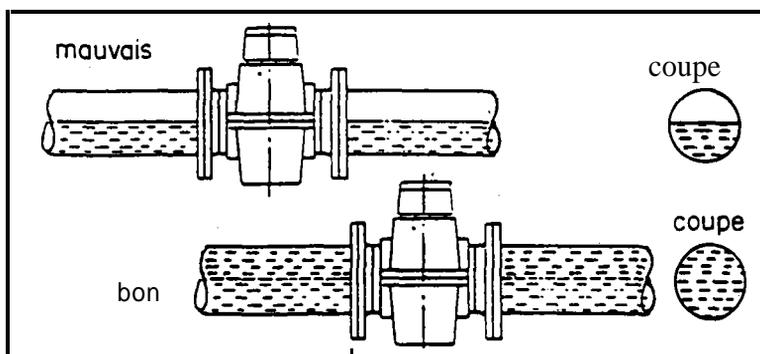
## 2 - CONDITIONS D'IMPLANTATION DU DEBITMÈTRE

(1) En résumé, les principales conditions à respecter dans l'implantation des débitmètres sont :

- les conduites doivent être en charge (remplies à pleine section)
- profil de vitesse permanent.

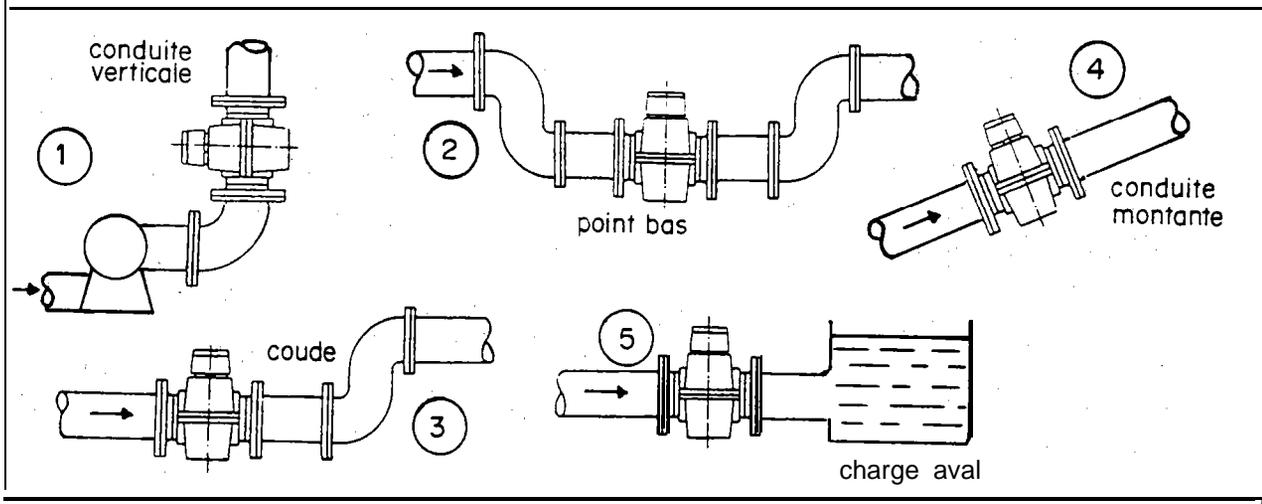
### 2.1 - Conduite en charge

1) La mesure de débit prend en compte une section de conduite supposée pleine, si ce n'est pas le cas, la mesure sera faussée, quelque soit le principe de mesure et le type d'appareil utilisé.

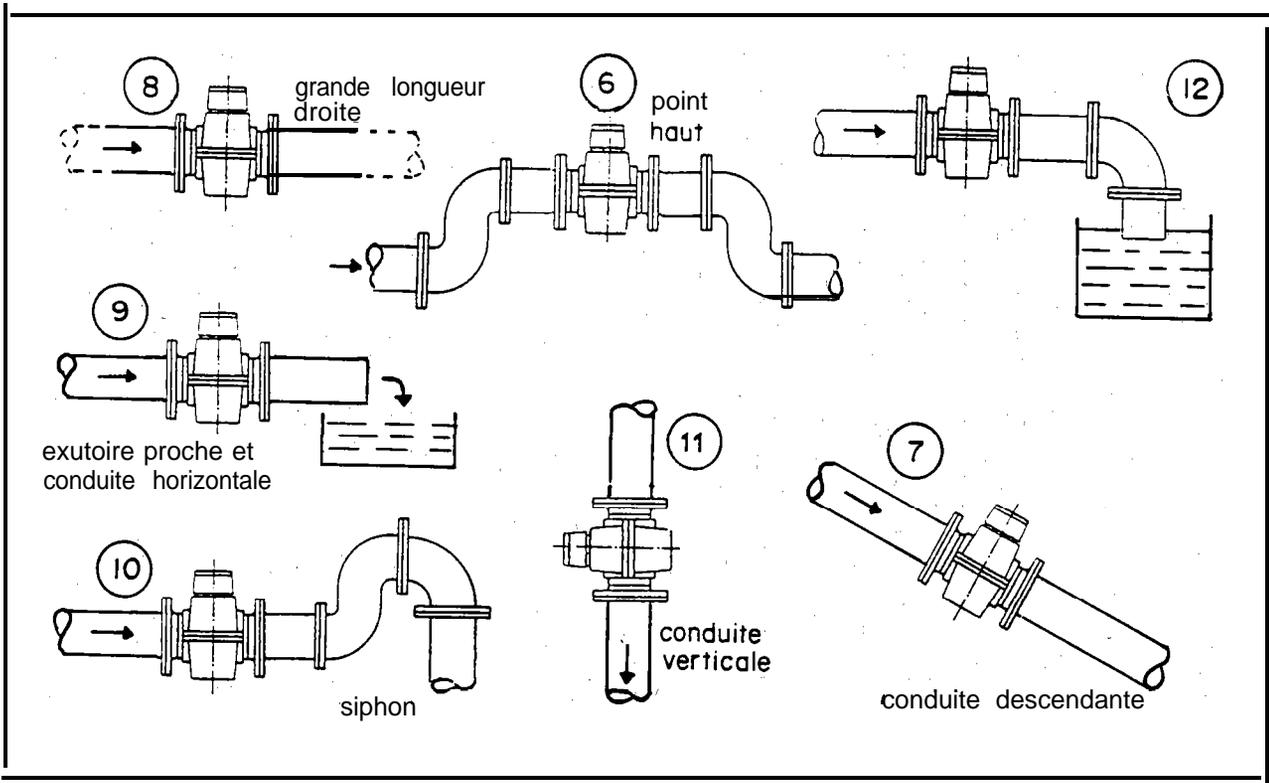


Pour s'en assurer, il convient d'examiner la configuration de la tuyauterie au voisinage de l'appareil de mesure (le montage vertical est bien souvent préconisé car il élimine beaucoup de facteurs d'erreur).

- Exemples de cas où la section est forcément pleine en cours d'écoulement.



- Exemples de cas où le remolissage de la section est suiet à caution.



2) Lors de l'arrêt de l'écoulement, le débit mesuré doit être nul. Ceci implique

- soit que la conduite reste pleine avec une vitesse d'écoulement nulle,
- soit que la conduite est vide.

Dans ce deuxième cas, il faut que la conduite passe directement de pleine à vide, de façon qu'à aucun moment, on ait en même temps une conduite non pleine et une vitesse non nulle.

Là aussi, seule la configuration de l'installation peut nous renseigner à ce sujet (voir exemples en (1)).

(3) Lors de l'interruption de l'écoulement, les clapets **antiretour** empêchant le retour inverse du fluide et donc dans certains cas de configuration (par exemples les n° 1, 3, 4, 5 (1)), permettent de s'assurer de la persistance du remplissage des conduites.

(4) Une purge régulière permet d'éliminer les poches de gaz dont la formation est toujours possible (dégazage du liquide, . ..) dans les points hauts. A noter que, pour cette même raison, il y a des précautions à prendre lors de l'installation de certains types de débitmètres de façon à ce qu'aucune électrode ou élément de mesure ne soit positionné en partie supérieure de la tuyauterie (là où se rassemblent les bulles de gaz).

## 2.2 - Zone de mesure

(1) Dans le cas des mesures de débit en conduites fermées, c'est la canalisation elle-même qui va jouer un rôle équivalent à celui du canal d'approche dans les mesures de débit en canal ouvert. En effet, mis à part les compteurs volumétriques et les débitmètres massiques, la plupart des débitmètres utilisés sur les conduites en charge sont influencés par la répartition de la vitesse du fluide dans la section de mesure. Après une singularité d'écoulement dans une conduite (vanne, coude, élargissement ou rétrécissement brusque, . ..). le profil de vitesse ne retourne à un état permanent qu'après une certaine longueur de tuyauterie.

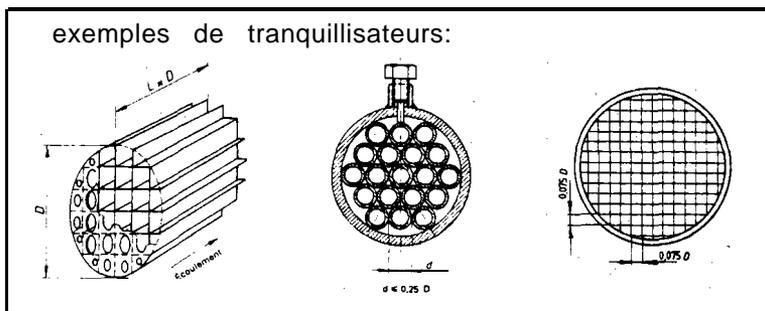
Une longueur droite minimale est donc souvent nécessaire à l'amont des débitmètres afin que le profil des vitesses à leur entrée soit le plus reproductible possible. De même, l'aval peut entraîner dans certains cas des perturbations et on prendra souvent, par sécurité, une longueur droite minimum en aval. C'est l'ensemble du **débitmètre** et de ces longueurs dont on doit maîtriser les caractéristiques que l'on appellera "zone de mesure".

Les longueurs droites à respecter sont fonction du type de débitmètre utilisé. On trouve par exemple dans la littérature :

<b>Débitmètre</b>	<b>Longueur droite amont minimum</b>	<b>Longueur droite aval minimum</b>
Electromagnétique	5 diamètres	2 diamètres
Effet Vortex	10 diamètres	5 diamètres
Ultrason (effet Doppler ou temps de transit)	10 diamètres	5 diamètres
Compteur à turbine	20 diamètres	10 diamètres

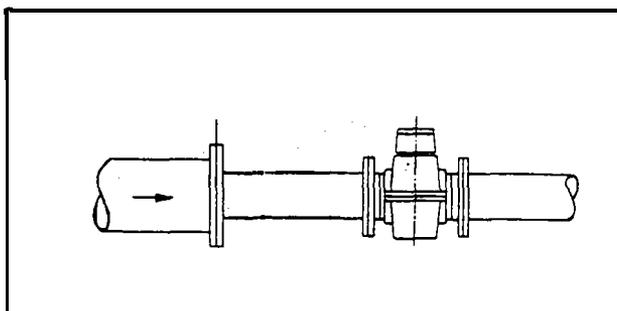
On s'efforcera, dans tous les cas, de disposer d'au moins 3 **diamètres** de longueur droite en amont.

(2) Lorsque les conditions de longueurs droites minimum, absence de coudes, . . . ne peuvent être respectées, on peut utiliser des stabilisateurs.



(3) Selon le type de vannes, le profil d'écoulement sera plus ou moins affecté, et donc les longueurs droites à respecter ne seront pas les mêmes.

(4) Un rétrécissement brusque impose de disposer d'une longueur droite supérieure à celle nécessaire pour la plupart des autres singularités.

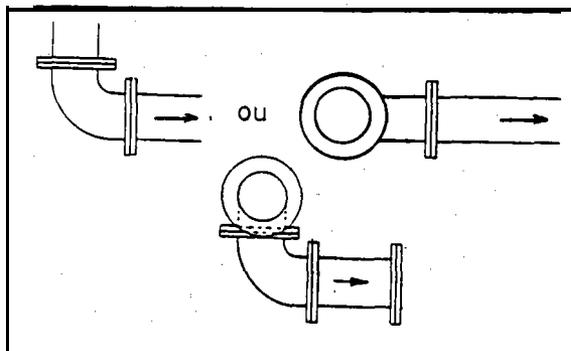


(5) Lorsque le diamètre du débitmètre est inférieur à celui de la conduite, les longueurs droites doivent être implantées après le convergent et avant le divergent. On privilégiera l'emploi de convergent ou divergent d'angle petit (l'augmentation de l'angle entraînant l'augmentation de la longueur droite nécessaire). Cette remarque n'est pas valable dans le cas des débitmètres électromagnétiques pour lesquels l'implantation de convergents-divergents à proximité immédiate du débitmètre n'est pas gênante, et est même favorable et souvent préconisée (voir 3.2.1. (3)).

(6) La présence de coudes successifs dans des plans différents peut entraîner une mise en rotation ("swirl") très préjudiciable à la précision des mesures (prévoir au moins 10 diamètres de longueur droite)

. axes amont et aval dans le même plan,

. axes amont et aval dans des plans différents.



### **3 - LE DEBITMETRE**

#### **3.1 - Débitmètres mécaniques**

(1) Dans ce type de débitmètre, le fluide met en mouvement un dispositif mécanique.

##### **3.1.1 - Compteurs**

(1) On rencontre fréquemment ce type de débitmètre. Développé pour le comptage d'eau propre, il est cependant utilisé pour les eaux usées, du fait de ses qualités : robustesse (si eau propre), précision, gamme de mesure élevée, utilisable à haute pression ou température, montage dans n'importe quelle position.... Ils sont cependant à déconseiller pour le comptage d'eaux usées du fait de la grande sensibilité de ces appareils aux impuretés (pièces en mouvement sujettes à usure par abrasion) et par les difficultés rencontrées pour suivre le débit en continu avec ce type de matériel.

##### **3.1.1.1. - Compteurs volumétriques**

(1) Une quantité déterminée de fluide est enfermée dans une chambre de mesure et entraîne un système mécanique (donc pas de longueur droite minimum nécessaire en amont ni en aval). Ces appareils peuvent être munis d'un cadran indicateur avec totalisateur, ou de dispositifs émetteurs d'impulsions électriques permettant la transmission à distance de l'information et son traitement pour totalisation, et plus rarement pour suivi en continu de débit instantané. Les compteurs volumétriques sont étalonnés pour une gamme restreinte de température, ont un temps de réponse lent et surtout sont très sensibles aux impuretés, et de ce fait à déconseiller en épuration.

(2) Dans un compteur à palette, la chambre de mesure est constituée par un secteur de 90° délimitée par deux palettes successives (4 palettes au total montées à 90° dans un rotor).

(3) Un compteur à piston peut être à pistons radiaux ou rotatifs dont les caractéristiques (alesage-course) déterminent le volume de liquide mesuré.

(4) Compteurs à roues : Deux roues ovales dentées roulent l'une sur l'autre, entraînées par l'écoulement liquide. Un volume déterminé de liquide traverse le compteur à chaque tour.

##### **3.1.1.2. - Compteurs à turbine**

(1) Les compteurs à turbine sont des compteurs de vitesse. L'écoulement entraîne la rotation d'une turbine ou d'une hélice **placée** dans la chambre de mesure. La vitesse de rotation, détectée le plus souvent par un système électromagnétique, est proportionnelle au débit. A déconseiller en épuration (sensible aux sui-vitesses instantanées, aux impuretés,...).

(2) Les compteurs à turbine axiale sont très sensibles au profil de vitesse (donc très grandes longueurs droites nécessaires en amont et aval).

(3) Pas de longueur droite minimum nécessaire en aval pour les compteurs à turbine verticale.

(4) Dans les compteurs à jet, l'**écoulement** forcée dans un (jet unique) ou plusieurs (jets multiples) orifices avant d'entraîner la turbine. Ces appareils ne nécessitent pas de longueur droite minimum à l'amont ni à l'**aval**.

### 3.1.2 - Autres

(1) Débitmètre à flotteur (rotamètre) : le flotteur conique placé dans un tube est en équilibre sous la triple action de son poids, de la pousse d'Archimède et de la traînée due à l'écoulement. La position du flotteur sur l'axe vertical est fonction du débit qui peut être déterminé soit par lecture directe sur une échelle graduée sur le tube (qui doit alors être transparent), soit par l'intermédiaire d'un couplage optique ou magnétique entre le flotteur et l'extérieur du tube, ce qui rend alors possible le suivi en continu du débit.

Ce type de débitmètre peut être utilisé avec un tube transparent pour visualiser l'écoulement et l'état d'encrassement des conduites et éventuellement pour confirmer l'ordre de grandeur du débit instantané mesuré par ailleurs. Il est à rejeter pour effectuer seule la mesure de débit du fait de ses nombreux inconvénients : conditions d'utilisation limitées, faible précision, étalonnage nécessaire et valide pour un fluide donné (de viscosité et masse volumique constante).

(2) D'autres appareils existent (moulinets pour exploration du champ de vitesse,...) mais ne sont pratiquement jamais utilisés pour des mesures de routine.

## 3.2 - Débitmètres statiques

(1) Dans les débitmètres statiques, aucune pièce n'est en mouvement.

### 3.2.1. - Débitmètres électromagnétiques (ou "à induction magnétique)

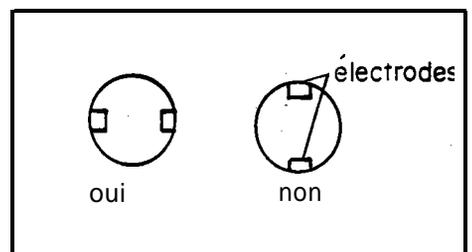
(1) Les débitmètres électromagnétiques sont des compteurs de vitesse. Le principe de mesure exploite la loi de Faraday qui dit qu'une force électromotrice est produite lorsqu'un conducteur traverse un champ magnétique. Le conducteur étant le liquide en écoulement, on développe un champ magnétique en excitant des bobines entourant un élément de conduite isolante. La force électromotrice induite dans le fluide traversant le champ magnétique est détectée par deux électrodes affleurant l'élément isolant. La tension induite est traitée pour donner un signal proportionnel à la vitesse du fluide et donc au débit instantané avec toutes possibilités de totalisation, etc . . . par traitement électronique du signal.

On peut avec ce type de débitmètre mesurer le débit de n'importe quel fluide, même de forte viscosité, corrosif ou chargé, sous réserve qu'il soit conducteur, ce qui sera toujours le cas dans le domaine qui nous intéresse. La mesure est indépendante de la température, de la pression et des caractéristiques physiques du liquide. Les débitmètres électromagnétiques sont d'une bonne précision (de l'ordre de 1 %), et sont très couramment rencontrés. Ils peuvent équiper des conduites de diamètres de 3 mm à 3 m environ., mais leur prix de revient augmente très rapidement avec le diamètre.

La mesure de débit à l'aide de ces débitmètres à faire l'objet d'une normalisation (NF X 10-120).

A noter que, hormis la nécessité d'avoir une conduite pleine, comme dans tout compteurs de vitesse, le montage vertical est d'autant plus préconisé pour ces appareils, qu'il faut éviter les dépôts, les films d'huile ou la formation de bulle de gaz au niveau des électrodes, ce qui fausserait la mesure (voir 2.1. (4)).

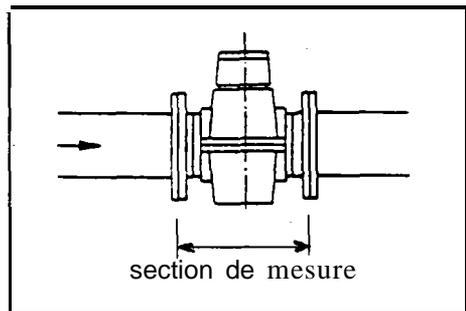
Pour ces mêmes raisons, on prendra soin d'éviter de placer les électrodes en vis-à-vis sur un axe vertical.



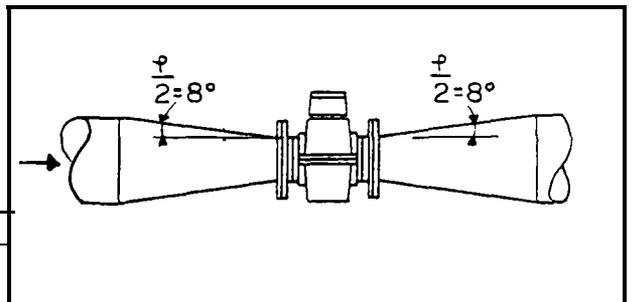
Les débitmètres électromagnétiques sont relativement peu sensibles au profil des vitesses, et les indications concernant les longueurs droites à respecter qu'on peut trouver dans la **littérature** sont préconisées surtout par sécurité. En effet, le principe de mesure et la qualité actuelle des bobines d'induction fait que la mesure de vitesse est intégrée sur toute une section d'écoulement, rendant la mesure **théoriquement** indépendante du profil de vitesse. Les débitmètres électromagnétiques nécessitent une calibration soignée qui est faite en usine, aucune opération d'étalonnage ne restant à faire par le client.

A noter également des précautions à prendre lors de l'installation vis-à-vis des perturbations électriques : les transformateurs, **moteurs, etc.**, ont en général la même fréquence que le signal du **débitmètre** et peuvent interférer sur la mesure. Leur proximité est à éviter et le blindage des câbles de liaison est obligatoire. D'autres part, toutes les pièces métalliques du débitmètres doivent être mises à la terre.

(2) Section de mesure : Les débitmètres électromagnétiques classiques nécessitent le remplacement d'une longueur de canalisation pour une section de mesure **adaptée**. En effet, on a vu que la mesure doit se faire dans une canalisation isolée électriquement à l'**intérieur**. Le débitmètre sera donc classiquement situé sur une conduite en acier revêtue **intérieurement** d'une doublure isolante, ces **différents** éléments étant le plus souvent solidaires et formant : **le débitmètre**.



(3) Le respect des longueurs droites évoqué en 2.2. impose que le diamètre intérieur de la section de mesure soit le même que celui des conduites amont et aval. Cependant, les débitmètres électromagnétiques ont besoin d'une vitesse minimum d'écoulement pour donner de bons résultats. Pour cela, **un rétrécissement du diamètre de la conduite peut être localement souhaitable** (voir 2.2 (5)), et donc on préconisera dans certains cas le montage de convergents - divergents ( $\varphi/2 \leq 8''$ ) sur le débitmètre.



(4) Le principe de mesure fait que les **débitmètres** électromagnétiques sont utilisables pour des liquides corrosifs ou chargés mais ceci est dans la pratique valable sous réserve que le **gainage** intérieur soit étanche au niveau du passage des électrodes et soit fait d'un matériau résistant à ces produits corrosifs ou abrasifs. On trouvera des **gainages** en élastomères, ébonite, PTFE . . . Les revêtements peuvent également avoir une influence sur la vitesse de dépôts (entartrage...) susceptibles de fausser la mesure de **débit** en modifiant le diamètre réel de la section de mesure.

(5) Les électrodes sont le plus souvent en platine ou en acier inoxydable

(6) L'**extrémité** des électrodes **au** contact avec le liquide peut être sphérique ou pointue. Un appareil équipé d'électrodes pointues sera beaucoup moins sensible à l'encrassement.

(7) Certains modèles de débitmètres électromagnétiques ont des électrodes démontables pour nettoyage, ce qui est pratiquement le seul moyen d'éliminer des dépôts non conducteurs (calcaire...). Les opérations de **démontage** et remontage doivent être effectuées avec beaucoup de soins pour que l'**étanchéité** et l'isolation soient conservées.

(8) Pour les dépôts conducteurs, il existe des dispositifs de nettoyage des électrodes par ultrasons. Pour des dépôts non conducteurs, il existe des dispositifs de nettoyage mécanique. Certains appareils sont équipés d'un système provoquant à intervalle régulier une inversion de polarité des électrodes, ce qui permet le décollement du dépôt.

### 3.2.2 - Débitmètre à ultrasons

(1) Les débitmètres à ultrasons sont des compteurs de vitesse. Le principe de fonctionnement consiste à utiliser la variation de vitesse du son dans le liquide. Les émissions et réception sont faites par des cristaux piézo-électriques (transducteurs) excités par un signal sinusoïdal. On rencontre deux types de débitmètre à ultrasons :

- les débitmètres à **différence** de temps de transit,
- les débitmètres à effet Doppler.

#### 3.2.2.1 - Débitmètre à différence de temps de transit.

(1) Les ondes acoustiques qui se propagent dans un fluide voient leur vitesse apparente de propagation modifiée par le déplacement du liquide. Les débitmètres à effet de transit mesurent la différence des temps de parcours de l'onde ultrasonore dans le sens de l'écoulement et dans le sens inverse. Pour cela, les sondes à ultrasons (cristaux piézo-électriques) sont alternativement émettrices et réceptrices. Dans le sens de l'écoulement, la vitesse du liquide s'ajoute à la vitesse de propagation de l'onde ; dans le sens inverse, elle s'en retranche. On peut donc déterminer par différence la vitesse du liquide et donc son débit.

Ces débitmètres sont donnés pour une précision jusqu'à 1 à 2 % et permettent de mesurer des débits rapidement variables. Ils sont insensibles à l'usure (pas de contact avec le fluide) et leur prix de revient reste sensiblement identique quelque soit le diamètre de la conduite, ce qui le rend particulièrement compétitif vis-à-vis des débitmètres **électromagnétiques** pour les diamètres importants. Ils sont en contrepartie peu adaptés aux faibles diamètres de conduites.

**Attention** : La méthode du temps de transit impose que le fluide ne soit pas traversé par les ultrasons et soit exempt de gaz ou de solides entraînés qui provoquent une dispersion des ondes sonores entre les transducteurs.

Pour cette raison, les débitmètres à différence de temps de transit ont longtemps vu leur utilisation limitée au comptage d'eau propre et ont été pour les usages qui nous intéressent ici délaissés au profit des débitmètres à effet Doppler. Cependant, les nouvelles générations de débitmètres à temps de transit utilisent des électroniques performantes permettant un grand nombre de mesures successives dans un faible intervalle de temps et un traitement statistique de ces mesures. Ceci permet leur utilisation pour la mesure de **débit** de fluides chargés **jusqu'à** environ 1 % en volume de matières en suspension, donc dans la plupart des cas dans le domaine qui nous occupe.

La mesure s'effectuant sur une corde (axe complet de section) et non pas sur la section toute entière, la mesure est tributaire du profil des vitesses. Certains appareils utilisant un faisceau élargi d'ultrasons ou effectuant la mesure simultanément sur plusieurs cordes permettent de limiter cette sensibilité. Ces appareils peuvent être rencontrés sous forme de manchette à insérer ou d'équipement mobile.

### 3.2.2.1.1. - Equipement fixe (électrodes intrusives)

(1) Les modèles à insérer se présentent sous forme d'une section de conduite équipée du système de mesure qui est alors constitué de deux sondes fixées de part et d'autre de la conduite et en vis-à-vis sur un axe formant avec l'axe de l'écoulement un angle de 45° (dans la plupart des cas). Les incertitudes sur le diamètre intérieur réel de la section de mesure et sur la qualité de transmission du signal sont limitées, de même que les opérations de calibration *in situ* (étalonnage en usine).

(2) Le respect des longueurs droites évoqué en 2.2. impose que le diamètre intérieur de la section de mesure soit le même que celui des conduites amont et aval.

(3) Dans le cas de liquides pouvant occasionner des dépôts sur les parois, la section où s'effectue la mesure peut être revêtue intérieurement d'un matériau spécial limitant l'accrochage de ces dépôts, de manière à garder son diamètre constant.

(4) Les électrodes sont le plus souvent en acier inoxydable

(5) Le démontage des électrodes permet leur entretien périodique, des dépôts pouvant diminuer le signal à l'émission ou à la réception

### 3.2.2.1.2. - Equipement "mobile" (électrodes extérieures à la conduite).

(1) La mesure de la différence de temps de transit est dans ce cas fonction des conditions de propagation du train d'onde à travers les parois de la conduite. Il est donc nécessaire lors de la calibration de prendre en compte un coefficient (issu de tables fournies), fonction du matériau et de l'épaisseur de la conduite, paramètres qu'il n'est pas toujours évident de maîtriser. Il existe des appareils ultrasoniques permettant la mesure non destructive et non intrusive de l'épaisseur de parois homogènes.

#### Avantages :

- possibilité de déplacement de la section de mesure (mesures ponctuelles, diagnostic de réseau,...)
- prix de revient sensiblement inférieur et indépendant du diamètre de la conduite
- pas de problèmes d'encrassement ou corrosion des électrodes (pas de contact avec le fluide)
- facilité de mise en oeuvre (pas d'interruption de l'écoulement)

#### Inconvénients :

- positionnement et fixation des sondes **déli**cats (alignement, solidité des fixations, couplage acoustique,...)
- calibration *in situ* nécessaire et complexe.
- compacité inférieure
- Préparation éventuelle des surfaces extérieures de la conduite avant positionnement des sondes par ponçage ou autre, **afin** d'une part d'éliminer des revêtements pouvant gêner la transmission des ultrasons, et d'autre part d'effectuer la mesure à travers une épaisseur comme et homogène de conduite (augmentée par les couches de peinture,...).
- Nécessité de maîtriser les **paramètres** d'épaisseur et de matériau de la conduite (problèmes de mesure en conduites en matériau multicouche ou composite avec la plupart de ces appareils).
- Impossibilité de maîtriser l'état de surface intérieur des parois. Une conduite entartrée aura le même comportement aux ultrasons qu'une conduite multicouche et, de plus, des dépôts ou de la corrosion modifieront le diamètre **intérieur** réel.

**N.B.** : On classera également dans cette **catégorie** les appareils en poste **fixe** équipés de sondes non intrusives, ceux-ci ne différant des véritables "portables" que par la nature et de la **pérennité** des **fixations** sondes-conduite.

(2) Les transducteurs doivent être rendus solidaires de la paroi extérieure de la conduite (fixation par collier...). Leur positionnement doit être réalisé avec soin en fonction des dimensions de la conduite (angle à respecter entre les directions de propagation). Les sondes sont le plus souvent mobiles en translation sur des réglottes graduées qui seront fixées sur la conduite.

On trouve des configurations avec les transducteurs du même côté de la conduite ou en vis-à-vis.

(3) Transducteurs opposés : avec cette configuration, on cherche à recréer les conditions de mesure des équipements fixés et on doit donc avoir les transducteurs rigoureusement alignés sur un axe formant un angle précis (souvent 45°) avec celui de l'écoulement.

(4) Des accessoires (guides, colliers, réglottes graduées), permettent d'obtenir une bonne précision sur les paramètres de positionnements.

(5) Pour les débitmètres mobiles qui doivent s'adapter à différentes configurations, les notices des constructeurs précisent la plupart du temps les paramètres de réglage du positionnement des transducteurs en fonction de la situation (écartement en fonction du diamètre,...).

(6) Lorsque le diamètre de la conduite est trop faible, il devient difficile de mesurer la différence de temps qui est alors très faible. On peut minimiser ce problème en augmentant la distance de parcours soit en utilisant un montage "en U" (palliatif à éviter), soit en utilisant la réflexion de l'onde à l'intérieur de la conduite.

(7) Transducteurs du même côté de la conduite : cette configuration permet des mesures sur des conduites de plus faible diamètre et facilite un positionnement précis des transducteurs qui sont la plupart du temps mobiles en translation sur une seule réglotte graduée.

En contrepartie, elle est encore plus tributaire de l'état de surface des parois internes de la conduite puisqu'on utilise alors la réflexion de l'onde sur la paroi opposée.

(8) La bonne transmission de l'onde à travers la paroi nécessite souvent l'emploi d'un couplant acoustique : graisse spéciale ou éventuellement résine époxy ou autre si l'appareil mobile est utilisé en poste fixe.

### 3.2.2.2 - Débitmètre à effet Doppler.

(1) Une onde ultrasonore émise par un Clément transducteur est réfléchiée par les bulles de gaz ou les particules solides présentes dans le fluide. Lorsqu'il existe un mouvement relatif (ici : s'il y a déplacement du fluide) entre un émetteur et un récepteur, on observe un changement de fréquence de l'onde. La fréquence de l'onde reçue diffère de celle de l'onde émise d'une valeur proportionnelle à la vitesse du déplacement (effet Doppler).

La nature (matériau et épaisseur) de la conduite n'intervient pas dans la mesure, ce qui rend son utilisation sur tous types de conduite ou pour des mesures ponctuelles particulièrement simples.

Les débitmètres à effet Doppler sont en général à sondes non **intrusives**, extérieures à la conduite, et la distinction entre les appareils à porte **fixe** et les véritables portables n'est souvent fonction que de la nature et de la pérennité des fixations sondes-conduite. En effet, les modèles compacts (fixes sur manchette à insérer) sont rarement rencontrés.

Les appareils partagent avec les débitmètres à temps de transit à sondes extérieures les avantages des "portables" (voir 3.2.3.1 .b (1)), et ils présentent moins d'inconvénients en ce sens que :

- le positionnement des sondes est moins délicat (une seule sonde ou deux à placer simplement de part et d'autre de la conduite),
- la nature et l'épaisseur de la conduite n'influent pas et la préparation par ponçage ou autre de la surface avant positionnement des sondes n'est nécessaire qu'en cas de revêtement (ou salissure) de nature à gêner la transmission des ultrasons (mesure possible sur tout type de conduite),
- pas de calibration nécessaire,
- la maîtrise de l'état de surface intérieur des conduites est tout aussi difficile mais les dépôts ou corrosion ne gênent pas (s'ils conduisent les ultrasons) la mesure de la vitesse, mais seulement celle du débit par l'intermédiaire de leur influence sur le diamètre intérieur réel.

Les débitmètres à effet Doppler sont fréquemment utilisés, car d'une mise en oeuvre simple, pour les mesures de débit **d'effluents** chargés, de boues,... En effet, le principe de la mesure impose que le fluide contienne des impuretés (et soit conducteur des ultrasons). Dans la pratique, un trop fort taux de matières en suspension, ou une distribution trop dispersée de la taille de ces particules rendent la mesure aléatoire.

Avant les développements récents des débitmètres **électromagnétiques** et d'électroniques performantes pour les débitmètres à temps de transit, les débitmètres à effet Doppler étaient les plus performants pour les fluides chargés. Actuellement, ils sont souvent dépassés car les nombreux phénomènes intervenant dans la mesure ainsi que les erreurs induites font que les précisions des mesures par effet Doppler n'excèdent pas 5 % dans le meilleur des cas ; d'autant que la mesure de vitesse étant effectuée localement, ces débitmètres sont très sensibles au profil des vitesses. Cette sensibilité est diminuée dans le cas de mesure avec deux sondes séparées.

#### 3.2.2.2.1.- Equipement fixe (manchette à insérer)

(1) L'utilisation de ces modèles limite les incertitudes sur le diamètre intérieur réel de la section de mesure et sur la qualité de transmission du signal à travers les parois

(2) Le respect des longueurs droites évoqué en 2.2. impose que le diamètre intérieur de la section de mesure soit le même que celui des conduites amont et aval.

(3) Dans le cas de liquides pouvant occasionner des dépôts sur les parois, la section où s'effectue la mesure peut être revêtue intérieurement d'un matériau spécial limitant l'accrochage de ces dépôts, de manière à garder son diamètre constant.

### 3.2.2.2.2. - Equipement mobile.

(1) Mesures par deux sondes séparées : les éléments transducteurs émetteurs et récepteurs sont séparés chacun dans une sonde. Les sondes sont placées de part et d'autre de la conduite.

Les avantages du système à deux capteurs sont : plus grande précision et fiabilité du fait que :

- les ultrasons traversent toute la section de la tuyauterie,
- l'important angle d'ouverture du faisceau d'ultrason permet d'atteindre la totalité de la section et donc d'intégrer dans la mesure tous les vecteurs de vitesse,
- la puissance d'émission peut être renforcée afin d'assurer une meilleure réception.

(2) Des accessoires (guides, colliers, réglottes graduées), permettent d'obtenir une bonne précision sur les paramètres de positionnement.

(3) La bonne transmission de l'onde à travers la paroi nécessite souvent l'emploi d'un couplant acoustique : graisse spéciale ou éventuellement résine époxy ou autre si l'appareil mobile est utilisé en poste fixe.

### 3.2.3 - Débitmètre à effet Vortex

(1) Les débitmètres à effet Vortex sont des compteurs de vitesse, basés sur un phénomène naturel : quand un écoulement fluide rencontre un obstacle, des couches limites prennent naissance à la surface de ce dernier. Si l'obstacle n'est pas profilé, ces couches limites peuvent décoller de sa surface pour former des tourbillons entraînés ensuite vers l'aval. La fréquence à laquelle sont émis ces tourbillons est proportionnelle à la vitesse de l'écoulement. Elle est mesurée à l'aide d'un capteur sensible aux variations de pression ou de vitesse.

On peut, à l'aide de ce type de débitmètre, mesurer des débits de la plupart des fluides (très utilisé pour les gaz), mais pour que la loi liant la vitesse du fluide à la fréquence d'émission des tourbillons soit valable, certaines conditions hydrauliques doivent être respectées (existence d'un nombre de Reynolds minimum). Ces débitmètres sont peu sensibles aux variations de température et de masse volumique du fluide, et sont très précis (de l'ordre de 1 % dans les meilleurs des cas). Par contre, on doit pour les utiliser disposer de longueurs droites importantes (voir 2.2. (1)), et on doit dans le traitement du signal s'affranchir d'un bruit de fond important. Ils ne sont pas valables pour les faibles vitesses d'écoulement.

(2) Pour accéder à la vitesse, on peut utiliser divers capteurs pour détecter les variations de différentes grandeurs physiques induites par la création de tourbillons (variation de températures, de pression, des forces mécaniques,...).

(3) Le respect des longueurs droites évoqué en 2.2. impose que le diamètre intérieur de la section de mesure soit le même que celui des conduites amont et aval.

### 3.2.4 - Organes déprimogènes

(1) Les débitmètres à organes déprimogènes mesurent des pressions et exploitent la loi de BERNOUILLI reliant le débit et la perte de charge résultant d'un changement de section dans la conduite.

Les appareils de ce type ne doivent pas être utilisés dans le cadre présent car : l'écoulement doit être turbulent, la mesure est souvent peu précise, la formule de calcul est déterminée pour chaque cas en fonction de paramètres qui dès lors doivent rester constants : pression, température, caractéristiques physiques du fluide. De plus, certains types sont sensibles à l'usure et à l'encrassement :

### 3.2.5 - Autres

(1) D'autres méthodes ou appareils existent (sonde à dépression, tube de Pitot...) mais sont peu courants dans le domaine qui nous occupe car peu adaptés, ou car d'un développement récent et d'un prix encore prohibitif (débitmètres **massiques**, à effet coriolis, etc...).

## **COMPARAISON DES DIFFERENTS DEBITMETRES POUR CONDUITES FERMEES**

Le tableau récapitulatif ci-après permet de comparer les avantages et inconvénients des débitmètres pour conduites en charges les plus courants dans le domaine qui nous intéresse : **électromagnétiques** et à ultrasons.

Ils ont en commun les caractéristiques suivantes :

- ↺ large étendue de mesure,
- ↺ dynamique élevée,
- ↺ perte de charge nulle,
- ↺ absence d'usure (hors électrodes),
- ↺ temps de réponse rapide,
- ↺ mise en oeuvre facile,
- ↺ haute température et haute pression,
- ↺ prix élevés,
- ↺ conditions d'implantation à respecter (conduite en charge, longueurs droites,...),
- ↺ non adaptées aux faibles vitesses d'écoulement.

<i>ELECTROMAGNETIQUE</i>	<i>ULTRASONS A TEMPS DE TRANSIT</i>	<i>ULTRASON A EFFET DOPPLER</i>
bonne précision	- bonne précision (mais conditions idéales difficiles à obtenir *)	- faible précision
prix élevé et augmentant rapidement avec le diamètre	- prix élevé et augmentant peu (ou pas*) avec le diamètre.	- prix sensiblement inférieur et indépendant du diamètre.
tous liquides conducteurs	- non adaptés aux liquides trop chargés	- intermédiaire.
large gamme de diamètre	- non adapté aux faibles diamètres.	- non adapté aux faibles diamètres.
montage vertical quasi impératif		
sensibilité moyenne au profil des vitesses.	- forte sensibilité au profil des vitesses.	- très forte sensibilité au profil des vitesses.
pas d'étalonnage sur site.	- étalonnage complexe sur site *	- pas d'étalonnage sur site.
mise en oeuvre facile (hors implantation).	- mise en oeuvre complexe (hors implantation).	- mise en oeuvre facile.
possibilité d'autocontrôle permanent.	- possibilité d'autocontrôle permanent.	
possibilité de comptage, bidirectionnel	- possibilité de comptage bidirectionnel	- pas de différenciation du sens d'écoulement
mesures de vitesse et de débit sensible à entartrage, dépôt et corrosion.	- mesures de vitesse et de débit sensible à entartrage, dépôt et corrosion (mesure de débit seule *).	- mesures de vitesse insensible à entartrage, dépôt et corrosion, (Mais mesure de débit influencée).

(\* = appareils mobiles seuls)

# PRELEVEMENTS - ECHANTILLONNAGE

## INTRODUCTION

Une bonne représentativité est la caractéristique principale d'un échantillon de qualité. Cette représentativité existe à deux niveaux :

. Représentativité dans l'espace : chaque prélèvement élémentaire doit être représentatif de la section complète de l'écoulement, au point de prélèvement et à l'instant de la prise d'échantillon. Ceci impose de choisir un point de prélèvement où l'effluent est le plus homogène possible (turbulence, ...). et de prélever dans des conditions précises (orientation de la prise, isocinétisme,...) ; ces conditions ne seront suffisantes que si l'effluent n'est pas trop chargé en matières flottantes ou en suspension.

. Représentativité dans le temps : l'échantillon **final** (journalier dans la plupart des cas en autosurveillance), est le plus souvent constitué par un certain nombre de prélèvements élémentaires, et doit être représentatif de l'ensemble de l'écoulement sur la durée de référence (24 heures pour un échantillon journalier). C'est la répartition dans le temps (éventuellement déterminée par la mesure du débit) de ces prélèvements élémentaires qui déterminera la qualité de la représentativité à ce second niveau (on pourra éventuellement aussi faire varier le volume des prélèvements élémentaires).

## THEORIE DE L'ECHANTILLONNAGE

Pour connaître la quantité totale (flux) d'une substance polluante x véhiculée par un écoulement pendant T heures en un point, il est nécessaire de connaître à tout instant en ce point le débit de l'écoulement Q(t), en m<sup>3</sup>/h par exemple, ainsi que sa concentration C(x,t), en g/m<sup>3</sup> par exemple (voir page 10).

On obtient ainsi

$$P(x,T) = \text{flux de x en T heures} = \int_0^T (C(x,t) \cdot Q(t)) dt$$

Le débit et la concentration varient indépendamment dans le temps, et on ne pourra connaître P(x,T) que si on connaît leur loi de variation en fonction du temps, ou si on connaît leur valeur à tout instant. On a vu dans les chapitres précédants qu'on peut mesurer le débit en continu ; reste le problème de la concentration dans l'écoulement.

Celle-ci ne suit quasiment jamais, dans le cadre qui nous intéresse, une loi de variation définie en fonction du temps (sauf le cas où elle est constante) et, du fait qu'il est impossible d'effectuer des analyses en continu pour la plupart des paramètres et que la multiplication des analyses entrainerait des coûts rapidement prohibitifs, on peut considérer qu'on ne connaît en général pas  $C(x,t)$ .

Donc la connaissance de  $P(x)$  n'est a priori possible que dans deux cas

1.  $C(x)$  est constante dans le temps :  $P(x) = C(x) \cdot \int_0^T Q(t) dt$

⇒ Un prélèvement ponctuel à un instant quelconque est alors suffisant.  
(on suppose que le débit est mesuré en continu par ailleurs et donc qu'on connaît  $\int_0^T Q(t) dt$ )

Le cas où la qualité à l'écoulement d'un effluent est, constante (concentrations constantes) est suffisamment rare pour qu'on ne l'envisage pas ici, on ne rencontrera cette situation que dans le cas d'un traitement discontinu (par exemple : l'effluent est collecté intégralement dans une fosse où sera mené le traitement d'épuration - cas de certaines stations de détoxification en traitement de surface), sous réserve d'homogénéisation.

2. 0 est constant dans le temps :  $P(x) = C(x)$  moyen x débit écoulé

⇒ Un prélèvement "moyen temps" (voir plus loin) est alors suffisant.

Cette situation peut être rencontrée en aval du refoulement de pompes à débit constant, ou en aval de certains bassins tampon par exemple.

Dans la grande majorité des cas, ni le débit, ni les concentrations ne sont constants. Le problème se pose alors de réaliser un échantillon qui soit représentatif de l'ensemble de la pollution écoulée, sachant qu'on ne peut pas effectuer d'analyses sur l'ensemble du flux. On mesurera alors une concentration en  $x$  :  $c(x)$ , non plus dans l'écoulement mais dans un échantillon représentatif de celui-ci.  $c(x)$  n'est pas fonction du temps et on a  $P(x) = c(x) \int_0^T Q(t) dt$ .

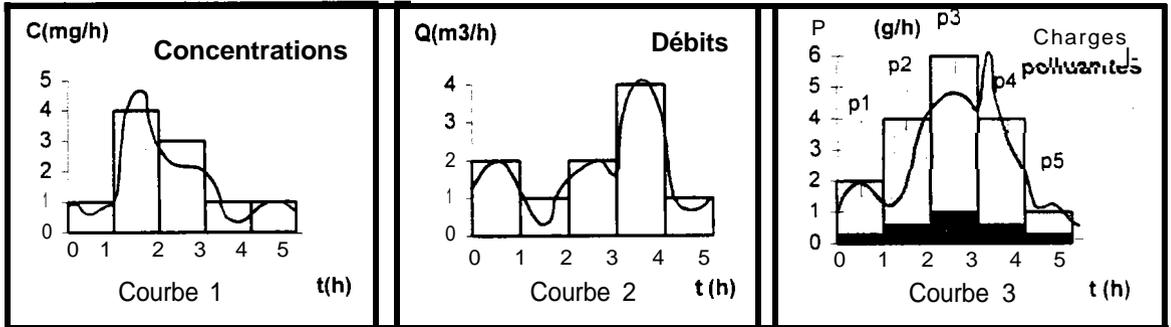
*Si on prélève par exemple un échantillon de 2 litres d'effluent en 24 heures d'écoulement d'un rejet s'effectuant à 100 m<sup>3</sup>/h, l'échantillon représentera  $\frac{2}{24 \times 100\,000}$  soit de l'ordre de un millionième de la totalité de l'eau écoulée*

On voit donc les difficultés qui vont être rencontrées pour obtenir un prélèvement correct. La fiabilité du résultat final en flux de pollution va dépendre de la qualité de l'échantillonnage par l'intermédiaire des résultats d'analyse. Il convient donc d'insister sur le fait que la représentativité de l'échantillon est un problème auquel le plus grand soin doit être accordé. En effet, le prélèvement est la première étape du processus permettant d'obtenir une valeur de concentration (puis de flux de pollution), et qu'il n'y a aucune utilité à s'appliquer à réaliser des analyses fiables si le prélèvement n'est pas représentatif.

**Méthodes pratiques de réalisation d'un échantillon représentatif**

Comment, au moindre coût, c'est-à-dire avec le minimum d'appareils de calculs, le minimum d'analyses et de temps passé, traduire la réalité du phénomène, c'est-à-dire connaître le flux de pollution ?

On cherche à déterminer la quantité **P(x)totale** de polluant x écoulee au cours d'un temps T.



L'échantillon tentera de reproduire une réduction ( [ ] ) de l'histogramme des charges écoulees ( [ ] ). La concentration c(x) sera idéalement la même que celle qu'on obtiendrait dans un grand bassin où l'intégralité de l'effluent serait collecté et homogénéisé.

**. Méthode d'intégration exacte**

. La seule méthode rigoureusement exacte consiste à prélever continuellement une fraction constante du débit. Elle requiert un système d'asservissement complexe et une pompe de prélèvement très élaborée (débit variable...). On la rencontrera rarement car un tel niveau d'exactitude n'est pas nécessaire dans le domaine qui nous occupe. Un **prélèvement** en continu peut être nécessaire lorsque la qualité de l'effluent varie très rapidement.

**. Echantillonnage pondéré par le débit**

$$c = \frac{q_1 C_1 + a_2 C_2 + \dots}{Q} = \frac{v_1 C_1 + v_2 C_2 + \dots}{V}$$

Dans la pratique, on réalise un échantillon pondéré par le débit en prélevant des échantillons élémentaires de volume et à fréquence déterminés par les variations du débit.

**Deux méthodes principales**

1. On prélève à des intervalles de temps constants des fractions constantes du débit écoulé (ex : on prélève toutes les minutes 10 ml par m3 écoulé). L'échantillon de volume V soumis à analyse est constitué de **n** parties qui sont prélevées régulièrement au cours du temps, mais dont le volume est déterminé par le débit écoulé pendant cet intervalle de temps.

2. On prélève à des intervalles de volume écoulé constants des volumes constants d'échantillon (ex : on prélève 10 ml à chaque fois qu'un mètre cube s'est écoulé). L'échantillon de volume V soumis à analyse est constitué de **n** parties de même volume  $v = \frac{V}{m}$  prélevées à des instants déterminés par l'évolution du débit.

**Remarque :** à noter que, en toute rigueur, le flux total P(x) de polluant est la somme intégrale des quantités p(i) écoulees au cours d'intervalles de temps t infiniment petits (voir courbe 3 ci-dessus) et que la "résolution pratique" de cette intégration par une méthode de prélèvement adaptée permettra la constitution d'un échantillon d'autant plus représentatif que les intervalles de prélèvement (qu'ils soient de temps ou de débit) Seront petits, ou que la variabilité de concentration et débit sera faible. Il ne doit pas être perdu de vue qu'il y a un optimum à trouver en tenant compte de la faisabilité et de la précision requise dans le cadre de l'autosurveillance.

Ce mode d'échantillonnage est celui préconisé en général.

La représentativité de l'échantillon obtenu par ce procédé, si elle reste dépendante des intervalles de temps ou de débit auxquels sont effectués les prélèvements, est souvent bonne.

Toutefois, il convient de signaler certains inconvénients :

- . nécessité d'emploi de matériel assez sophistiqué et de couplage débitmètre-échantillonneur compatible,

- . difficultés de réglage du système si l'on ne connaît pas bien la gamme de variation des débits de l'effluent mesure (on peut se retrouver, soit avec un manque d'eau pour les analyses, soit avec trop d'eau et une autonomie limitée de l'appareil),

- . pour les échantillonneurs multiflacons, difficultés pour prévoir et parfois repérer le moment où l'échantillonneur change de bidon. En effet, on constate que le volume prélevé n'est pas connu en fonction du temps. Dans le cas d'étude de la pollution déversée lors d'une opération ayant lieu à une heure précise, on risque de ne pouvoir l'individualiser sur un échantillon puisqu'on ne maîtrise pas le changement de flacon dans le temps,

- . perte d'informations concernant la qualité de l'effluent au cours de certaines opérations ponctuelles (vidange de solution, nettoyage, incidents...).

Le système est cependant bien adapté aux échantillons longs (moyen jour par exemple) dont la représentativité se trouve nettement améliorée par comparaison aux autres méthodes (voir plus loin).

**Remarque** : voir remarque ci-après.

#### **. Echantillonnage "moyen temps"**

On prélève à intervalle de temps régulier (ou en continu) une quantité constante d'effluent. Cette méthode reste une des plus utilisées car facile à mettre en oeuvre mais elle ne permet d'obtenir des échantillons de représentativité suffisante que dans le cas d'un écoulement à débit constant. Dans les autres cas, la mesure de la pollution globale sera en général sous-estimée, surtout si concentration et débit croissent simultanément (les débits importants à forte concentration ayant le même poids statistique que les petits débits à faible concentration) et pourra être surestimée si débit et concentrations variant en sens inverse : l'erreur ainsi introduite, qui dépend de la fréquence de prélèvement peut atteindre 30%.

**Remarque** : dans la pratique, on peut prélever selon la technique du "moyen temps" dans différents flacons (par exemple, on change de flacon toutes les heures) desquels on prélèvera une quantité proportionnelle au débit écoulé pendant la durée correspondant au remplissage d'un flacon. On constituera ainsi a posteriori un échantillon pondéré par le débit (voir 2.3.2.1 (1)).

#### **. Echantillonnage ponctuel**

Il n'est acceptable que pour des effluents de qualité constante (cas rare) ou pour l'étude de phénomènes très courts. Il se pratique en général à la main ; toutefois certains appareils automatiques anciens fonctionnent selon ce mode.

#### **. Autres**

Il existe d'autres types d'échantillonnage adaptés à des situations qu'on rencontrera peu ou pas dans le domaine qui nous occupe : échantillonnage fractionné, échantillonnage avec mesure de débit instantané, échantillonnage pondéré au débit **massique**,...

# **1. D'ÉCOULEMENT À ÉCHANTILLONNER**

(1) Le choix du mode **d'échantillonnage** (appareillage, mise en oeuvre) dépend en particulier du mode d'écoulement (débit en fonction du temps) et de la qualité de l'effluent (concentration, **homogénéité**). Ces deux critères sont donc à examiner avec soin.

Les renseignements et observations demandés visent à quantifier la représentativité de l'échantillon brut, c'est-à-dire de l'échantillon **final** à transmettre au laboratoire d'analyses, du point de vue des deux niveaux de représentativité évoqués dans l'introduction de ce chapitre. On rappelle que le problème de la définition et de la localisation des points de mesure (en amont de tout retour en tête pour les entrées de stations, . . .) est, dans ce document, **considéré** comme **réglé** par ailleurs, et ne sera donc pas traité.

## **1.1. Conditions d'écoulement**

(1) La connaissance des conditions d'écoulement de l'effluent à échantillonner permettra, sans faire de mesure, d'avoir une idée du débit (constant ou non...) et donc du type d'appareillage à mettre en oeuvre.

(2) Un effluent stocké dans une cuve constitue a priori un des seuls cas où un échantillonnage ponctuel peut être envisagé (sous réserve d'homogénéisation suffisante).

(3) Le dispositif à mettre en oeuvre sera très différent, en particulier en ce qui concerne le point de prélèvement lui-même, selon que l'effluent circule en canal ouvert ou en conduite pleine (Voir 2.3.1.).

(4) La connaissance qualitative de l'origine de l'écoulement et des conditions à l'amont peut permettre la caractérisation du débit (par exemple, le débit pourra éventuellement être considéré comme constant au refoulement d'une pompe) ou de la qualité de l'effluent (par exemple : les variations de concentration d'un effluent ne pourront en général pas être brutales en sortie de **clarificateur** ou à la **surverse** d'une cuve, ce qui permettra de diminuer la fréquence des prélèvements, ou encore : un effluent après floculation sera plus facile à échantillonner).

(5) En cas **d'écoulement** non continu, les prélèvements, au cours des périodes sans écoulement sont inutiles et même dans la plupart des cas nuisibles à la représentativité de l'échantillon (voir 2.3.1 (7)).

Attention : ne pas confondre débit continu (variable mais jamais nul) et débit constant (grandeur non variable dans le temps).

## **1.2. Qualité de l'effluent à échantillonner**

(1) Le caractère minéral d'un effluent peut, à forte concentration, poser des problèmes de type entartrage, **abrasion**..., etc, dans le dispositif d'échantillonnage.

(2) Le caractère organique d'un effluent peut poser des problèmes

- de compatibilité des matériaux (par exemple : comportement de la matière plastique des tuyaux, flacons, etc, avec certains solvants),
- de volatilité de certains composés, ce qui impose certaines précautions (réfrigération, étanchéité, prélèvement sous pression, . . .).

(3) La concentration de l'effluent n'influe pas à proprement parler sur le choix du mode d'échantillonnage mais un échantillon à forte concentration évoluera plus facilement dans le temps et imposera donc des précautions (réfrigération...) pour sa conservation (voir 2.4). Un effluent de concentration variable imposera une purge parfaite du circuit entre deux prises d'échantillon (voir 2.3.1(9)).

(4) La présence de dépôts implique des risques de non homogénéité de l'écoulement lors des prises d'échantillon. Elle peut aussi être due à un mauvais entretien et peut entraîner des problèmes d'abrasion dans le préleveur, selon la nature du dépôt.

(5) Il ne faut pas confondre dépôt et matières en suspension, bien que les deux puissent avoir même origine et mêmes inconvénients (homogénéité, abrasion...). Un effluent en écoulement contenant des matières en suspension peut être tout à fait homogène (si les conditions de mélange et de turbulence nécessaires sont satisfaites - voir 2.3.1 (1)). Cependant, de façon à effectuer des prises d'échantillons représentatives, certaines conditions doivent être respectées : le prélèvement doit être en général effectué parallèlement à l'écoulement et en sens inverse (voir 2.3.1 (5)) et de façon isocinétique (même vitesse dans l'écoulement et dans le tuyau d'aspiration - voir 2.3.1 (10)).

A noter que suivant leur densité, leur forme et leur taille, l'appréhension des matières en suspension sera très différente. Par ailleurs, la présence et l'état de propreté de la crépine (voir 2.3.1 (4)) influenceront de façon importante sur la représentativité. La "ligne de prélèvement (ensemble des tuyauteries reliant le point de prélèvement à l'échantillonneur proprement dit)" doit être exempte de zone où les matières en suspension sont susceptibles de s'accumuler après prélèvement, faussant le prélèvement suivant.

(6) La présence de matières flottantes pose d'importants problèmes de représentativité de l'échantillon et rend indispensable une configuration favorisant au maximum la turbulence au point de prélèvement. En effet, dès que l'effluent est tranquilisé, ces matières remontent en surface et leur piégeage au sein de la veine liquide reste très partiel. Par ailleurs, la présence de graisses cause des dépôts sur les parois de la ligne d'échantillonnage et des problèmes de colmatage, en particulier autour des crépines. Ces phénomènes rendent difficile la mesure du rendement d'un dégraisseur par exemple.

(7) La température influe sur l'homogénéité (solubilité et volatilité des composés) ainsi que sur la durée de vie des équipements et la conservation des échantillons.

(8) Les problèmes de corrosion, en général due au pH des effluents, imposant l'emploi de matériel d'échantillonnage particulier. Il faut avoir présent à l'esprit que le moyen le plus économique n'est pas nécessairement l'emploi, pour un prélèvement de courte durée, d'un équipement coûteux chimiquement résistant, si cet équipement peut être facilement remplacé et si la contamination de l'échantillon par les produits de corrosion ne risque pas d'être importants.

(9) Seul un effluent de concentration constante pourra être échantillonné ponctuellement (cas extrêmement rare dans le domaine qui nous occupe).

## 2 - PRELEVEMENT - REALISATION DE L'ECHANTILLON BRUT

(1) Une fois **connu** le type d'**écoulement** qu'il s'agit d'échantillonner, on va pouvoir vérifier que les appareils de prélèvement, ainsi que leur mise en oeuvre, sont bien adaptés à la situation pour la réalisation d'un échantillon représentatif.

### 2.1. Appareillage

(1) D'une manière générale, le choix du mode d'échantillonnage dépend de nombreux facteurs : exigences de l'analyse (paramètres, précision requise,...), nature du fluide (composition, homogénéité,...), caractéristiques de l'écoulement (mode d'écoulement, ordre de grandeur du débit), critères économiques, etc.

Les situations rencontrées dans le cadre de l'autosurveillance sont diverses mais peuvent être regroupées en un nombre limité de cas, permettant de dégager des principes généraux pour un échantillonnage de qualité.

D'autre part, l'agrément par l'Agence des dispositifs d'autosurveillance et la validation des résultats est tributaire d'un niveau minimum de qualité dans la réalisation des mesures.

Les types d'échantillonnage adéquats, fonction de la situation et du type d'effluent à échantillonner, peuvent être résumés dans le tableau suivant :

Echantillonnage		Conception	
		Constante (2)	Variable
Débit	Constant (1)	Ponctuel	Moyen temps
	Variable	Ponctuel	Pondéré par le débit

(1) Cas rare mais possible au refoulement de pompe, en sortie de lagune,...

(2) Cas rare mais possible dans des bâchées isolées et homogènes, éventuellement en sortie de lagune ou pour des eaux de refroidissement d'une usine...

#### 2.1.1. Prélèvements manuels

(1) Prélever manuellement n'est pas à proscrire dans le principe, et peut être satisfaisant si les conditions générales (homogénéité de l'**effluent**,...) sont respectées. Le problème se situe plus du point de vue de la précision, de la ponctualité des opérations manuelles, et surtout de la sécurité de l'opérateur en cas d'effluent toxiques, chauds, corrosifs...

Les techniques employées seront fonction du type d'écoulement (en canal ou en conduite, etc).

## 2.1.2. Prélèvements automatiques

### Caractéristiques souhaitables pour le matériel d'échantillonnage automatique

La liste qui suit est fournie comme guide pour la conception ou le choix du matériel d'échantillonnage automatique ou pour les éléments composant des systèmes d'échantillonnage. L'utilisateur doit déterminer l'importance relative de chaque caractéristique à partir des impératifs de chaque situation d'échantillonnage particulière

1. Etre de construction robuste et constitué d'un nombre minimal de composants fonctionnels (spécialement électriques).
2. Avoir un nombre minimal de parties exposées à l'eau ou submergées.
3. Etre résistant à la corrosion.
4. Etre de conception relativement simple, de maintenance et maniement aisés.
5. Permettre le nettoyage des récipients pour échantillons et des canalisations, avant réception d'un nouvel échantillon.
6. Etre exempt de problèmes de colmatage par des particules solides.
7. Délivrer avec précision le volume d'échantillon.
8. Fournir une bonne corrélation des données analytiques avec les échantillons obtenus de façon manuelle.
9. disposer de récipients pour échantillons facilement détachables, lavables et réadaptables.

10. Dans le cas d'échantillonneurs portatifs être totalement fermés, être légers, résister aux intempéries, pouvoir être protégés et capables de fonctionner dans des conditions ambiantes variables.

11. Permettre l'échantillonnage proportionnel au débit et/ou l'échantillonnage composite dépendant du temps.

12. Etre équipé d'un système d'admission de liquide à vitesse réglable pour empêcher une séparation de phase si nécessaire.

13. Etre équipé d'un système d'admission ayant 12 mm de diamètre intérieur minimal et d'un tamis fuselé pour empêcher le colmatage et l'accumulation de solides.

14. Fournir la possibilité de distribuer les prélèvements aliquotes répétés dans des bouteilles individuelles.

15. Offrir pour échantillonnage sur le terrain. la possibilité d'opérer en courant alternatif ou en courant continu.

La puissance du courant continu doit permettre 1 heure de prélèvement pour 120 h de fonctionnement souhaitable. Lorsqu'une protection contre les explosions doit être respectée, un système pneumatique doit être utilisé avec un système de contrôle.

16. Etre équipé, pour des échantillons sensibles à la température et à l'effet du temps, de compartiments permettant le stockage d'échantillons d'une température de 4 à 6° pendant 24 heures à des températures ambiantes allant jusqu'à 40°C.

### Extrait de la norme ISO 5667

#### Valeurs minimales imposées par la norme ISO 5667-10

Vitesse du fluide	0,5 m/s
Répétabilité du volume	± 0,5 %

### 2.1.2.1 Système de prélèvement et de l'échantillon (préleveur proprement dit)

(1) Les critères de choix d'un appareil d'échantillonnage doit prendre en compte un grand nombre de paramètres faisant de chaque cas un cas particulier. A noter que la **polyvalence** de certains appareils n'est pas un critère à prendre en compte ici, car inutile dans le cadre de l'autosurveillance.

\* On trouvera des appareils :  
 mono ou multiflacons  
 automatiques, manuels  
 à alimentation par batterie ou secteur  
 pouvant être asservis au **débit** ou au temps  
 portables, poste à **fixe**  
 programmables  
 etc...

\* Selon les caractéristiques de l'**effluent** (agressivité - matières flottantes ou en suspension...) ou les paramètres à analyser, on trouvera des :

flacons en différents **matériaux**  
 appareil réfrigéré, thermostaté...  
 tuyaux de **prélèvement** en différents  
 matériaux,  
 avec ou sans **crépine**  
 etc..

\* Le système de prélèvement lui-même peut être de différents types (voir (2))

La diversité des systèmes de prélèvement et des configurations possibles des accessoires (flacon, répartition...) fait que les modèles commercialisés sont très nombreux, chaque constructeur étant le plus souvent spécialisés dans tel ou tel système de prélèvement qui est décliné dans la gamme avec toutes les configurations possibles

#### \* **Système de prélèvement**

(2) Les préleveurs les plus courants sont soit à air comprimé **et/ou** dépression. soit par pompage.

	+	
<b>Pompe péristaltique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Robuste - Très utilisé en portable, simple et facile d'entretien,</li> <li>- prélève dans toutes les situations,</li> <li>- moins chers pour appareils non programmables...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pièces en mouvement <b>subjectes</b> à l'usure,</li> <li>- vitesse d'aspiration limitée,</li> <li>- impossibilité de prélever à pression supérieure à pression atmosphérique...</li> </ul>
<b>Dépression</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de pièces en mouvement,</li> <li>- forte vitesse d'aspiration,</li> <li>- bonne <b>répétabilité</b> du volume prélevé,</li> <li>- maintenance réduite,</li> <li>- possibilité de prélever des échantillons sous pression modérée...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Impossibilité</b> de prélever au dessus du niveau de l'appareil (siphonnage)...</li> </ul>

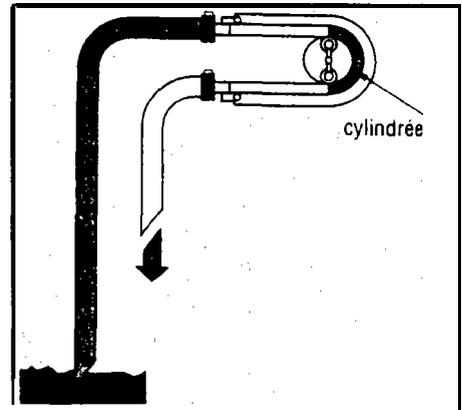
(3) Les prélèvements automatiques par électrovanne sont de conception "maison" et a priori réservés aux effluents circulant en conduite sous pression. Le prélèvement ne sera réalisable que si il règne dans la conduite une pression **suffisante** pour le transport de l'échantillon vers le flacon de réception. Les points bas sont à proscrire entre l'électrovanne et le flacon (purge impossible). Si la pression est insuffisante, ce système restera adapté si le flacon de réception est situé directement à la verticale sous le piquage de l'**électrovanne**. On choisira une électrovanne de plus petit diamètre possible pour éviter les volumes morts (dépôt et accumulation). Ce type de système ne sera adapté et rencontre en général, dans le cadre de l'**autosurveillance**, que dans le cas de petites stations industrielles (détoxication, traitement de surface...).

(4) Une pompe péristaltique (type “pompe WAB”) est un système rotatif à galet qui écrase un tuyau souple, en emprisonnant et transportant un volume connu de liquide. Le tuyau souple doit être surveillé avec soin (usure rapide). Ce système permet de pomper des liquides très chargés mais ne souffre pas la présence de matières en suspension abrasives en quantité importante (perforation du tuyau).

Une purge de la ligne d'échantillonnage est facilement réalisée (fonctionnement en sens inverse). Vitesse d'aspiration limitée (isocinétisme de l'échantillonnage impossible sur écoulement rapide). Forts débits de prélèvement possible.

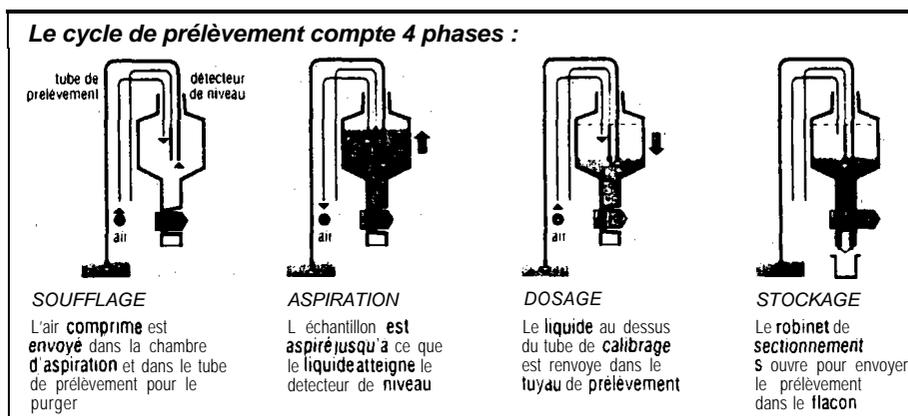
Système peu adapté aux conduites sous pression

Les préleveurs à pompe péristaltique utilisent un système rotatif pour calibrer le volume prélevé. La partie fléchée représente la cylindrée à partir de laquelle le volume envoyé dans les flacons est calculé (Doc HYDROLOGIC).



(5) Les systèmes à pompe centrifuge sont plus rares car plus fragiles et plus chers. Purges difficiles à réaliser. Utilisables pour conduites en charge. Peu adapté aux liquides chargés.

(6) Système mû par une pompe à vide (inversible en compresseur d'air pour les purges). Pas de pièce en contact avec le liquide prélevé et donc moins de problème d'usure. Systèmes en général non utilisables en “point bas” (création d'un siphon).



Préleveur utilisant une pompe à vide : Le cycle de prélèvement compte quatre phases (Doc HYDROLOGIC)

(7) De nombreux autres types de système de **prélèvement** existent :

- **préleveur** rotatif à cuillère,
- **p o m p e doseuse** ; les pompes volumétrique sont adaptées aux fortes pressions mais l'échantillonnage est effectué **à très** faible vitesse,
- etc...

Ces dispositifs, qu'on rencontre principalement sur des petites stations industrielles, peuvent parfois relever du bricolage mais peuvent s'ils sont étudiés avec soin donner entière satisfaction. Ils représentent l'avantage d'être peu **onéreux** et de mettre en oeuvre des éléments auxquels les industriels sont familiers. De plus, ils constituent parfois la meilleure solution dans certains cas. Cependant, ils ne seront **considérés** en général comme acceptables que dans le cas de validation de dispositifs déjà existants.

(8) Les matériaux utilisés doivent répondre aux critères de comptabilité avec l'effluent et avec les éléments à doser (voir 2.4.)

(9) Cas de composés volatils. Il existe des appareils **entièrement** étanches.

### 2.1.2.2. Tuyau de prélèvement

(1) Le tuyau doit être d'un matériau compatible avec l'effluent, ses caractéristiques géométriques doivent être choisies pour éviter les dépôts (longueur minimum), obtenir une vitesse de prélèvement suffisante tout en limitant les risques de bouchage : la norme ISO 5667 préconise un diamètre minimal de 9 mm, les prescriptions générales d'agrément des Agences un diamètre minimal de 5 mm (annexe à la délibération 91-50 - Conseil d'Administration du 17.12.1991,...).

La ligne de prélèvement doit être fixée et disposée de façon à limiter les points bas, zones de dépôt faussant la représentativité, même si une purge est prévue. Un tuyau horizontal de grande longueur aura tendance à présenter des zones de dépôts et imposera une grande vitesse de prélèvement. Un tuyau vertical et court est préférable.

## 2.2. Entretien

(1) Quelque que soit la qualité des infrastructures mises en oeuvre, un entretien insuffisant est incompatible avec un échantillonnage satisfaisant, du fait des problèmes de dépôts, entartrage et relargage d'éléments déposés, usure des appareils...

(2) Un accès facile aux appareils est à prévoir dès l'installation des appareils car indispensable à un entretien aisé, suivi et efficace, effectué en toute sécurité.

(3) Le meilleur moyen de s'assurer d'un bon entretien est de s'imposer une fréquence de contrôle régulière (carnet d'entretien).

(4) L'état de propreté des abords est souvent révélateur de fuites, problèmes divers, et d'une manière générale du sérieux accordé à l'entretien.

(5) D'une manière générale, un préleveur doit être protégé au maximum (on préférera des appareils abrités et à poste fixe) pour garantir la pérennité de son fonctionnement autant que la représentativité de l'échantillon. Par exemple, l'exposition d'un préleveur aux précipitations pour entraîner une dilution de **l'échantillon**.

## 2.3. Mise en oeuvre de l'appareillage

(1) Le matériel lui-même étant contrôlé, il reste à s'assurer de son bon fonctionnement dans l'optique de la bonne représentativité de l'échantillon. Ceci suppose de respecter un certain nombre de règles dans la mise en oeuvre, certaines générales et d'autres fonctions de la configuration rencontrée.

(2) Le volume final d'échantillon obtenu (par exemple le volume 'au bout de 24 heures pour un échantillon journalier) doit être suffisant pour pouvoir y effectuer toutes les analyses désirées tout en conservant la possibilité de réanalyser *en cas de problème* (contre analyse). Dans le cas général, on peut prévoir un ordre de grandeur de 2 à 5 l d'échantillon, selon le nombre d'analyses nécessaires.

Un échantillonnage proportionnel au temps permettra d'obtenir des échantillons de volume constant pour une durée fixée, alors qu'un échantillon proportionnel à un débit lui-même variable d'un jour à l'autre aura un volume variable : il s'agit donc dans ce cas de **paramétrer**, les prélèvements de façon à avoir un volume **final** suffisant même dans le cas où le débit est minimum, tout en garantissant le non débordement des flacons d'échantillon dans le cas où le débit est maximal (voir 2.3.2.2. (2)). En effet, un débordement, même limité, fausse de façon importante l'ensemble de l'échantillon, sauf si celui-ci est **homogénéisé** en permanence (cas rare).

### 2.3.1. Point de urèlèvement

(1) Par point de prélèvement, on entend ici le point précis de la veine liquide où le prélèvement est effectué (extrémité du tuyau d'aspiration, crépine...).

Celui-ci doit être défini lors de l'installation du matériel de façon à respecter ce qui a été défini en introduction comme un premier niveau de représentativité, c'est-à-dire que le prélèvement effectué à un instant donné doit être représentatif de toute la section fluide s'écoulant en ce point à cet instant.

Il est en général impossible de prélever tout une section de l'écoulement, et on conçoit aisément que, par exemple, un écoulement contenant des matières flottantes en surface et des dépôts au fond ne pourra pas être échantillonné de façon représentative avec un tuyau de prélèvement situé en son centre.

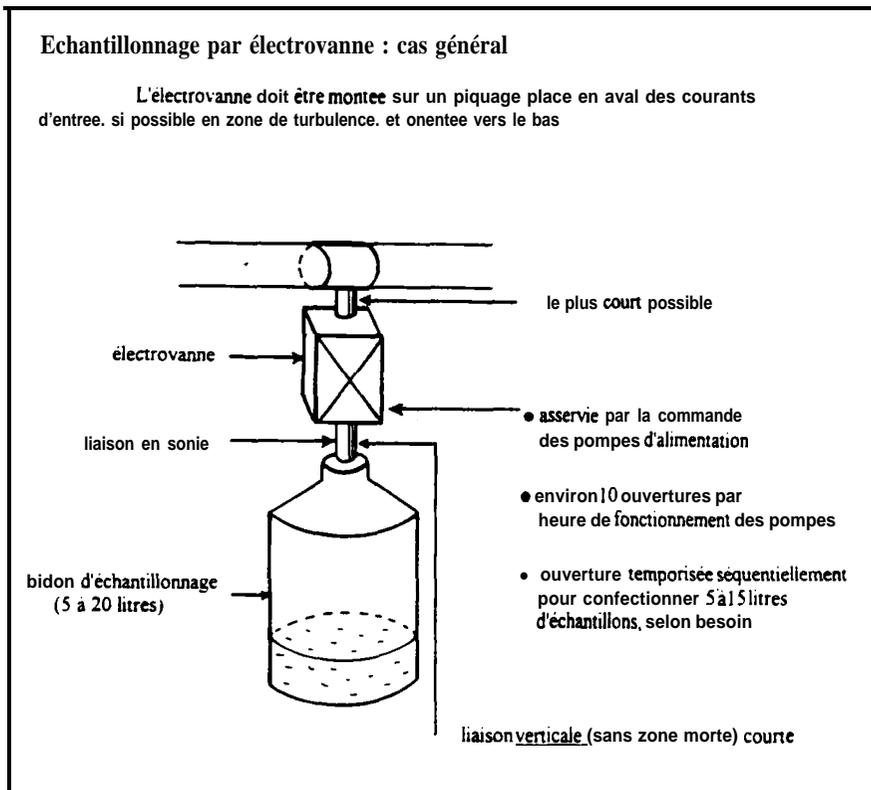
On s'affranchit en général de la plupart de ces problèmes d'hétérogénéité :

- en prélevant dans une zone agitée en permanence pendant l'écoulement et suffisamment éloignée de toute zone de mélange ou de confluence. Si ces conditions n'existent pas naturellement dans l'écoulement, il peut être nécessaire de *créer* les conditions de turbulence requises par un aménagement local (**toujours prélever en zone homogène**) :
- en prélevant à un débit assez important (vitesse suffisante - Voir (10))
- en nettoyant régulièrement la **crépine** si elle existe.

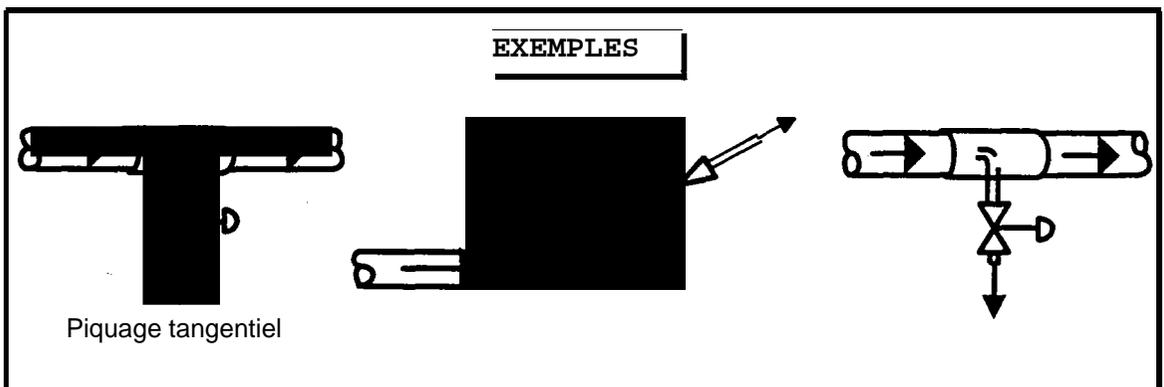
Certains des problèmes d'hétérogénéité dont il faut s'affranchir sont communs aux configuration de prélèvements en canal ouvert et en conduite fermées, d'autres sont spécifiques.

### \* Piquage sur conduite

(2) Ce type de configuration n'est courant en autosurveillance que dans les petites stations physico-chimiques industrielles (traitement de surface,...). Attention au danger de rupture des liaisons après piquage si les conduites sont sous pression.



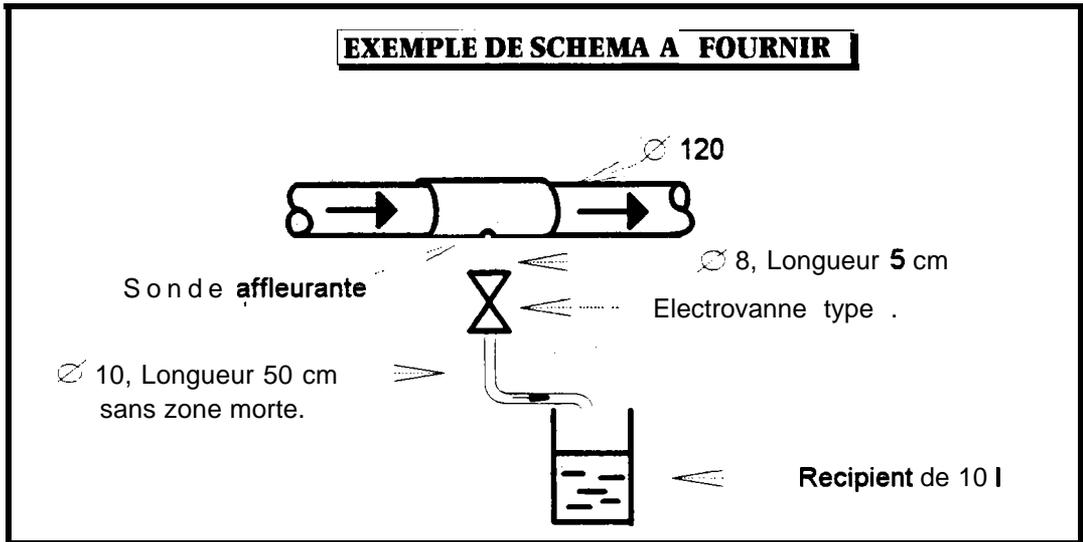
L'aménagement du point de prélèvement (forme du piquage,...) est en général effectué in situ et peut présenter des différences de détail très nombreuses. On se bornera ici à présenter quelques exemples illustrant les considérations principales à prendre en compte pour réaliser des prélèvements corrects.



La configuration du système et en particulier du piquage lui-même, est fonction de la pression régnant dans la conduite, des conditions de turbulence, de la nature du fluide. Le principe général est de limiter toutes les zones favorisant les dépôts, et de prélever de façon représentative une section de l'écoulement.

Les zones de turbulence, telles qu'elles existent aux coudes, en aval des vannes de réglage du débit,... sont en général les meilleures zones d'échantillonnage en raison de la turbulence qui s'y produit.

**EXEMPLE DE SCHEMA A FOURNIR**



**\* Prélèvement dans un écoulement en surface libre (canal ouvert).**

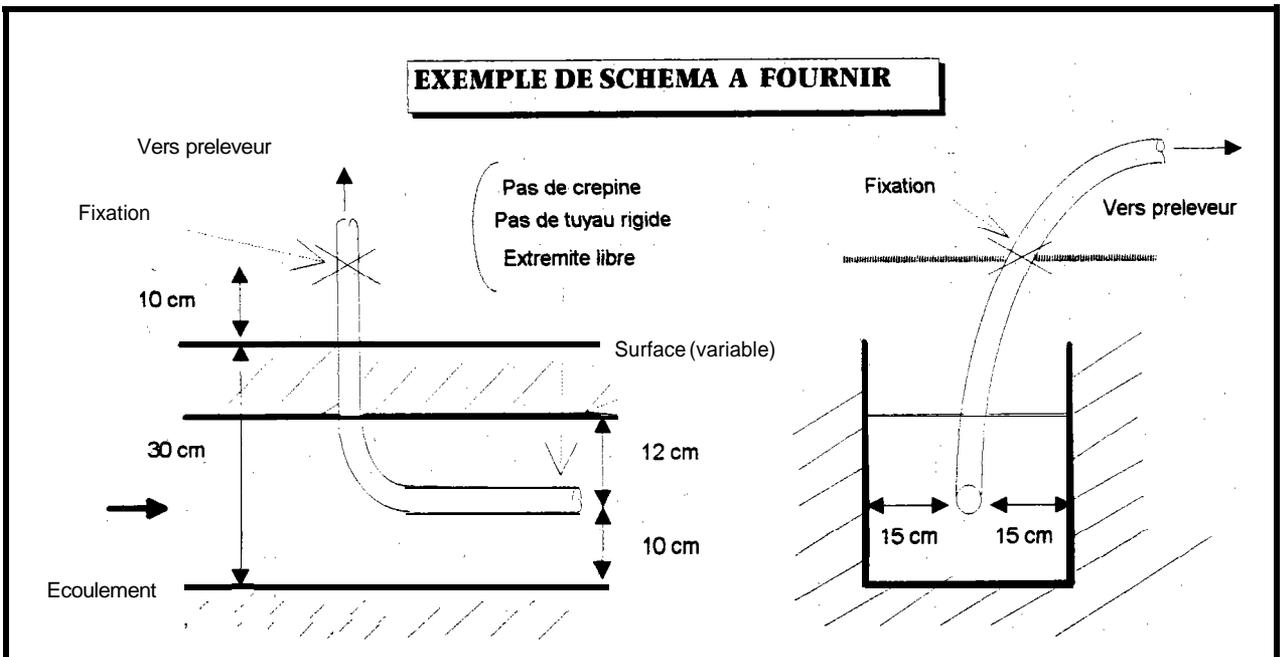
(3) Dans ce cas également, on cherchera à garantir la représentativité des prélèvements en choisissant des zones d'homogénéité (et donc de turbulence) maximum, tout en évitant les tourbillons.

(4) L'emploi d'une **crépine** est généralement déconseillé. En effet, celle-ci va jouer très vite le rôle de filtre (dépôt d'éléments **colmatants**) et l'échantillon prélevé ne sera plus représentatif des matières **particulaires** présentes. De très bons résultats sont obtenus avec un tube rigide placé à l'extrémité du tuyau d'aspiration et orienté vers l'aval.

(5) De manière à prélever de la façon la plus représentative possible les matières en suspension qui peuvent avoir une densité assez éloignée de celle de l'eau, on minimisera la perturbation occasionnée dans l'écoulement en orientant la prise de prélèvement dans le sens de celui-ci, avec une vitesse adéquate (voir (10)).

Les effets de paroi (couche limite non turbulente de l'écoulement, dépôts..) y sont en général plus marqués que dans le cas des écoulements en conduites et, pour ne prélever ni en surface, ni au fond, on peut fixer, comme règle générale, de positionner le point de prélèvement à une immersion égale au tiers de la profondeur totale de l'écoulement. Cette hauteur étant en général, dans le cadre qui nous intéresse variable, la position précise fera l'objet d'un compromis au cas par cas, après observation des conditions réelles d'écoulement (voir aussi (7)).

**EXEMPLE DE SCHEMA A FOURNIR**



### \* Conditions d'écoulement au point de prélèvement (en canal et en conduite)

(6) On vient d'évoquer les précautions générales à prendre dans la définition de la position du point de prélèvement et dans la mise en oeuvre de l'échantillonnage. Il reste à s'assurer que les conditions nécessaires à la représentativité sont effectivement remplies, en particulier du point de vue de l'homogénéité.

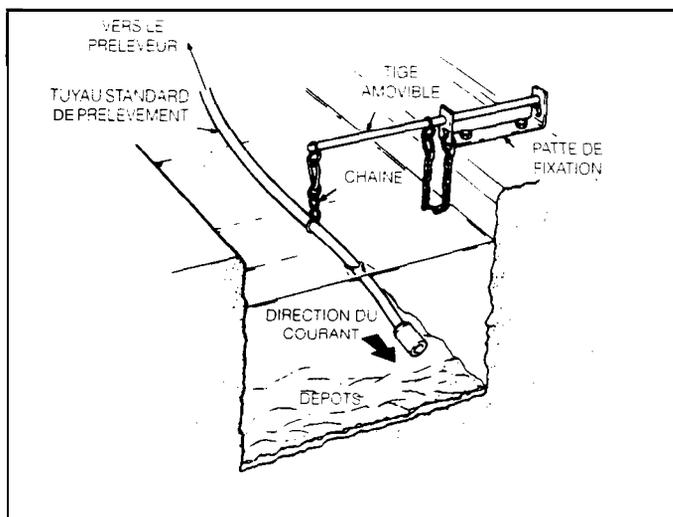
Ce contrôle sera fait dans la mesure du possible (difficultés pour s'assurer de l'homogénéité d'un écoulement en conduite fermée par exemple).

(7) En l'absence d'écoulement (débit nul), il ne doit pas y avoir de prélèvement d'effluent. quel que soit le mode d'échantillonnage.

Ce sera bien le cas, si le prélèvement est asservi à la marche d'une pompe ou à un débitmètre. mais, dans d'autres cas, le préleveur peut être activé alors que le débit est nul (cas d'une commande simple par horloge, par exemple). Ceci peut fausser la représentativité de l'échantillon, dans des proportions qui sont fonction de la fréquence et de la durée des périodes sans écoulement, ainsi que du mode d'échantillonnage, à condition qu'il y ait effectivement prélèvement de liquide, ce qui sera ou non le cas selon l'implantation du point de prélèvement.

Si l'écoulement n'est pas continu, on aura soin, pour un écoulement en canal, de positionner l'extrémité de tuyau de prélèvement au dessus de la surface libre à débit nul, puisque la hauteur d'eau n'est alors par forcément nulle. Pour les écoulements en conduite, il est plus difficile de s'affranchir de ce problème si la conduite reste en charge à débit nul : on pourra alors essayer de positionner le point de prélèvement dans une section vide en l'absence d'écoulement (point haut...) (on rappelle que ces précautions sont inutiles en cas d'asservissement à une pompe ou à un débitmètre).

(8) Afin de respecter de façon permanente les conditions ci-dessus, il est nécessaire de fixer l'extrémité du tuyau de prélèvement (à la conduite ou au canal). Il existe des systèmes à flotteur permettant de conserver, quelque soit la hauteur d'eau, le tuyau à une profondeur constante par rapport à la surface.



(9) Une purge avant la prise d'échantillon effective est indispensable pour minimiser l'influence des volumes stagnant dans la ligne d'échantillonnage et dus à la prise d'échantillon précédente, d'autant plus que la qualité de l'effluent est variable dans le temps. Elle peut être facultative dans certains cas : ligne d'échantillonnage verticale et sans zone morte, volumes stagnants négligeables devant le volume d'une prise d'essai... Elle peut être impossible à mettre en oeuvre avec certains systèmes de prélèvements (électrovanne...).

A noter que la purge de la ligne d'échantillonnage peut être réalisée de différentes façons :

- inversion du sens d'écoulement dans la ligne de prélèvement puis aspiration et prise d'échantillon (inversion du sens de rotation d'une pompe péristaltique, cycle de purge d'un préleveur à pompe péristaltique, cycle de purge d'un préleveur à pompe à vide... (voir 2.1.2. 1),
- aspiration en continu pendant la durée d'un cycle de prélèvement avec prise d'échantillon différé (on ne prélève dans la ligne d'échantillonnage qu'après que celle-ci ait été rincée par l'effluent à échantillonner).

(10) La vitesse de prélèvement doit être **suffisamment** importante dans la ligne d'échantillonnage pour y maintenir les conditions de turbulence, mais également pour ne pas perturber l'**écoulement** au point de prélèvement, c'est-à-dire pour pouvoir prélever de façon représentative dans un écoulement **hétérogène**, comprenant **des** particules non dissoutes de densité différente de celle de l'eau.

La vitesse obtenue est fonction du diamètre intérieur du tuyau d'aspiration ainsi que du système de prélèvement utilisé (en général, les préleveurs à pompe à vide permettent d'obtenir une vitesse supérieure à celle obtenue avec les pompes péristaltiques). Pour les préleveurs du commerce, la vitesse d'aspiration est une donnée du constructeur, pour un diamètre de tuyau et une hauteur d'aspiration donnée.

La norme ISO 5667-10 préconise une vitesse de fluide **aspirée** minimum de 0,5 m/s. On ajoutera que cette vitesse devra être au moins égale à celle du fluide en écoulement pour une bonne représentativité vis-à-vis des matières en suspension.

### 2.3.2. Réalisation de l'échantillon brut

(1) Par "échantillon brut", on entend ici l'échantillon **final** (journalier par exemple) obtenu à l'aide du dispositif d'échantillonnage en place, et éventuellement après quelques opérations manuelles (mélange, acidification...). Il s'agit du volume **d'échantillon** transmis au laboratoire pour analyses, avant toute opération (fractionnement, dilution...) effectuée dans le laboratoire proprement dit.

Les opérations nécessaires à la réalisation d'un échantillon brut représentatif sont effectués manuellement ou automatiquement : succession dans le temps de prélèvements ponctuels, mélange ou distribution dans différents flacons,.... Elles sont en **particulier** fonction du mode d'échantillonnage (voir "Théorie de l'échantillonnage"), qu'il **convient** donc de **préciser**.

#### 2.3.2.1. Echantillon(s) ponctuel(s) sans asservissement

(1) Entrent dans cette catégorie les échantillons bruts obtenus de façon non automatique. Il peut s'agir :

- d'une opération unitaire : un seul prélèvement au cours de la durée de référence, effectué en général manuellement (ouverture d'une vanne, immersion d'un récipient,...), ou éventuellement automatiquement (un seul prélèvement programmé à heure fixe)
- d'un échantillon brut final constitué posteriori par mélange des différents prélèvements unitaires, avec pondération **éventuelle** au débit.

Ce mode d'échantillonnage est à déconseiller, sauf dans quelques cas particuliers, du fait d'une mauvaise représentativité dans le premier cas, et des opérations supplémentaires (et délicates) dans le second cas.

(2) Il est important de bien préciser les détails des opérations effectuées, car c'est seulement dans **certains** cas particuliers que ce mode d'échantillonnage sera acceptable. Il sera toujours nécessaire de connaître le débit (ou le volume pour une vidange de cuve) entre deux prélèvements ponctuels, ce débit ou volume devra être identique **entre deux prélèvements** (dans le cas contraire, une pondération **a posteriori** sera nécessaire), et la qualité de l'effluent devra être constante au cours de la durée de laquelle un prélèvement ponctuel doit être représentatif.

Le cas type où on peut se contenter de ce mode d'échantillonnage est le cas de vidange d'une cuve **homogène**. On effectuera alors un prélèvement à chaque vidange, avec un décalage par rapport au début de cette vidange, ceci pour le régime **d'écoulement** soit établi et la canalisation purgée de l'effluent résiduel de la vidange précédente (voir 2.3.2.2. (13)).

(3) Dans le cas d'un échantillon moyen réalisé a posteriori (a déconseiller), il est important, dans l'optique d'un diagnostic de la représentativité, de connaître le détail des opérations effectuées. Si le débit n'est pas constant au cours de la durée de référence, une pondération au débit est nécessaire, ce qui impose bien entendu de mesurer celui-ci en continu.

(4) Le cas de la reconstitution par le calcul d'un échantillon moyen, à partir d'analyses sur des échantillons partiels, est rare et à déconseiller du fait de la lourdeur des opérations nécessaires, en particulier de la multiplication des analyses (augmentation très importante du coût).

*Exemple simple* : on cherche à connaître une charge polluante **rejetée** par une station d'épuration en 24 heures. On dispose d'un échantillon supposé représentatif des 12 premières heures, auxquelles correspond un débit écoulé **q1 (m3)**, ainsi que d'un second échantillon supposé représentatif des 12 dernières heures, auxquelles correspond un débit écoulé **q2 (m3)**.

*Soient :*

*Q (kg/j) : la charge sur 24 heures*

*C1 (g/l) : la concentration en polluant déterminée par analyse du premier échantillon*

*C2 (g/l) : la concentration en polluant déterminée par analyse du second échantillon*

*On peut ainsi déterminer :  $Q = q1C1 + q2C2$ , mais il aura été nécessaire de faire autant d'analyses qu'il y a d'échantillons partiels (2 ici).*

### 2.3.2.2. Echantillon moyen automatique - Voir "Théorie de l'échantillonnage"

(1) Dans ce cas, l'échantillon moyen (brut) est réalisé automatiquement par l'appareil d'échantillonnage ; il peut rester quelques opérations simples à effectuer manuellement (mélange simple, acidification...).

L'appareil est **programmé** de façon à réaliser des prélèvements successifs dont l'ensemble constitue un échantillon représentatif de l'écoulement sur la durée de référence. Selon le mode d'échantillonnage, lui-même fonction des caractéristiques qualitatives et quantitatives de l'écoulement, les principaux paramètres de programmation seront la fréquence de prélèvement (dans le temps ou en fonction du débit) **et/ou** le volume de chaque prélèvement unitaire.

(2) Le volume **final** (au bout de 24 heures dans le cas général) doit être tel qu'on dispose de **suffisamment d'échantillons** pour y effectuer toutes les analyses désirées (prévoir un excédent pour contre analyse éventuelle), et ce dans tous les cas de figure, en particulier lorsque le débit est minimum pour un échantillonnage asservi au débit. Il faut également que le volume d'échantillon n'excède pas celui du récipient de collecte, de manière à éviter tout débordement, même lorsque le débit est maximum, ceci toujours dans le cas d'un asservissement au débit. Ceci est à étudier avec soin lors de la définition des paramètres de programmation des prélèvements : fréquence, durée, volume (à étalonner) (voir 2.3. (2)).

#### \* Asservissement

(3) La réalisation automatique d'un **échantillon** impose d'asservir le fonctionnement du préleveur à un signal électrique extérieur issu, selon les cas d'une horloge, d'une pompe, d'un débitmètre . . .

Ce signal peut subir un traitement électronique plus ou moins sophistiqué de façon à optimiser la représentativité de l'**échantillon** final, en paramétrant la fréquence et la durée des prélèvements, le volume **prélevé** ...

(4) Echantillonnages : valable si le débit est constant (éventuellement discontinu voir 2.3.1 (7)), en aval d'une pompe par exemple.

(5) Echantillonnage asservi au temps et à la marche d'une pompe: même cas de figure mais permet d'annuler les prélèvements parasites si la pompe n'est pas en fonctionnement (équivalent à un asservissement au débit dans le cas d'une pompe à débit constant).

(6) Echantillonnage asservi à la marche d'une pompe: un seul prélèvement commandé par chaque démarrage de la pompe. Une temporisation (retard du prélèvement sur le démarrage de la pompe - voir (13)) est nécessaire à l'établissement de la turbulence et au rinçage de la canalisation. Méthode valable si les cycles de pompage ont une durée constante (cas rare).

(7) Echantillonnage: il est indispensable de mesurer par ailleurs le débit en continu. Méthode en général idéale.

(8) Echantillonnage par prélèvement continu proportionnel au débit: le prélèvement est continu et le volume prélevé est proportionnel au débit instantané mesuré par ailleurs. Cette méthode est idéale mais nécessite un appareillage sophistiqué (donc cher et fragile) et est donc rarement rencontré dans le cadre de l'autosurveillance.

(9) Autres modes d'asservissement: ils sont peu courants en autosurveillance :

- par rapport au débit massique : appareillage très sophistiqué,
- prélèvement continu et constant : dérivation d'une partie de l'écoulement éventuellement via une pompe. Simpliste et en général à proscrire,
- modes "composites" : tous types de combinaisons où on peut faire varier les paramètres volume prélevé, nombre de prélèvement par flacon, changement de flacon, ..., en fonction du temps et/ou du débit. Mode inutilement complexe,
- etc...

#### \* Appareil de commande d'asservissement

(10) Le signal électrique pilotant le fonctionnement du préleveur doit être en relation avec le débit de l'écoulement si on veut obtenir un échantillon final représentatif. Ce peut être une simple horloge si le débit est constant, un débitmètre pour un véritable asservissement au débit, etc.

(11) Le signal pilotant le fonctionnement du préleveur peut avoir des origines très diverses : sonde de niveau indiquant le remplissage d'une cuve et déclenchant le prélèvement (dans ce cas, prévoir une temporisation - Voir (13)), etc...

Là encore, les systèmes les plus simples sont préférables et, dans le cas d'installation neuve, on prévoira un asservissement direct à un débitmètre (cas général).

#### \* Paramètres d'asservissement

(12) Les paramètres de programmation sont d'une importance capitale puisqu'ils déterminent le volume de l'échantillon brut final, mais aussi sa représentativité : par exemple, pour une meilleure représentativité, on préférera, pour un volume final d'échantillon donné, augmenter la fréquence du prélèvement et diminuer le volume de chaque d'eux.

On se contentera d'un constat et d'une vérification sommaire des paramètres d'asservissement (traitement du signal électronique souvent difficile à diagnostiquer).

Selon le cas de figure, on renseignera le questionnaire sur des paramètres différents : par exemple, dans le cas d'un asservissement simple au **débit**, seuls l'intervalle de débit entre deux prélèvements et le volume prélevé à chaque prise sont à indiquer.

*Exemple : 100 ml prélevé tous les 10 m<sup>3</sup> écoulés,*

(13) On désigne ici par temporisation le retard entre l'événement entraînant l'émission du signal par l'appareil de commande, et le **démarrage** du prélèvement. Une temporisation se justifie par exemple dans le cas d'un asservissement du préleveur à la marche d'une pompe pour vidange de cuve, auquel cas le prélèvement effectif doit être différé le temps que le régime de turbulence soit établi et que le rinçage de la conduite soit suffisant.

*Exemple : prélèvement durant 20 secondes par ouverture de l'électrovanne, 30 secondes après le démarrage de la pompe (temporisation : 30 secondes ici).*

## 2.4. Conditionnement - Prétraitement de l'échantillon

(1) Cette dernière partie concerne les opérations comprises entre l'échantillonnage proprement dit, et l'analyse de l'échantillon obtenu au laboratoire. L'aspect "prétraitements" comprend en général les problèmes de choix du flaconnage, qui est lui aussi destiné à limiter l'évolution des échantillons et qu'on choisit en fonction des paramètres analytiques recherchés.

### \* Evolution des eaux après prélèvements - Généralités

Toutes les eaux, mais surtout les eaux résiduaires sont susceptibles de se modifier plus ou moins rapidement par suite de réactions physiques, chimiques ou biologiques. Les causes peuvent être diverses :

- les organismes vivants dans l'eau peuvent consommer, modifier ou produire certains constituants de l'eau (exemple : oxygène dissous, dioxyde de carbone, composés azotés, phosphore, silicium),
- certains composés peuvent être oxydés par l'oxygène de l'air (composés organiques, fer II, sulfures),
- certaines substances peuvent précipiter (par exemple carbonate de calcium, métaux et composés métalliques tel que  $Al(OH)_3$ ,  $Mg_3(PO_4)_2$ ) ou passer en phase vapeur (oxygène, cyanure, mercure),
- le pH, la **conductivité**, la teneur en dioxyde de carbone peuvent être modifiés par l'absorption du dioxyde de carbone de l'air,
- les métaux dissous ou à l'état colloïdal ainsi que certains composés organiques peuvent être absorbés ou adsorbés de façon irréversible sur la surface des récipients ou des matières solides contenues dans les échantillons,
- les produits polymérisés peuvent se dépolymériser et inversement,
- l'exposition à la lumière, la température, les conditions de transport, peuvent modifier la qualité de l'échantillon de façon importante et en quelques heures.

## \* **Prétraitement de l'échantillon brut - Généralités**

Afin de limiter l'évolution de l'échantillon et de garantir la représentativité des résultats d'analyse, certaines précautions sont à prendre. Ces opérations, qu'on appellera ici prétraitements, sont complémentaires d'autres traitements ultérieurs, nécessaires à l'analyse de certains paramètres et dont il ne sera pas question ici, puisque plus spécifiques du domaine de l'analyse chimique et physico-chimique des échantillons.

Pour cette raison, il ne sera question dans le cadre de ce document que de généralités concernant ces prétraitements, et on se contentera de signaler les opérations effectuées dans les cas diagnostiqués. On se rapportera aux nombreux documents spécialisés existants pour davantage d'information.

- Règles générales :**
- **entre la fin de l'échantillonnage et le début des analyses, il doit se passer un temps le plus court possible,**
  - **le type de prétraitement à effectuer est fonction du ou des paramètres physico-chimiques à déterminer lors des analyses.**

On peut rappeler ici quelques prétraitements parmi les plus courants :

- paramètres organiques DCO, DBO5... → Réfrigération à 4°C,
- métaux lourds → Acidification de l'échantillon (pH < 1,5) et conservation dans un flacon en verre pour limiter les risques de dépôts et d'adsorption,
- cyanures → Alcalinisation de l'échantillon (pH > 10) pour éviter une perte des cyanures par volatilisation.
- sulfures → Blocage à l'acétate de zinc et conservation à 4°C en flacon verre, bouché à l'émeri,
- fluor → Éviter le flacon verre qui contient du fluor,
- etc...

## \* **Cas de l'autosurveillance**

- Dans le cas des **effluents** urbains (paramètres organiques surtout), la réfrigération à 4°C est en général suffisante.
- Dans le cas d'effluents industriels dont la composition est très variable d'un cas à l'autre, le problème est plus complexe et, les prétraitements étant fonction des paramètres recherchés, les opérations nécessaires sont à étudier au cas par cas. A noter qu'on peut parfois être amené à rechercher dans l'échantillon plusieurs paramètres pour lesquels les prétraitements sont incompatibles (acidification pour métaux et alcalinisation pour CN par exemple,...). Un fractionnement de l'échantillon est alors nécessaire, avec des prétraitements spécifiques.

(2) Dans le cas général d'un échantillon moyen, l'âge de la première prise d'essai est, en fin de prélèvement, environ égale à la durée de **référence** de l'échantillonnage (24 heures le plus souvent). Etant donné que l'évolution de l'effluent peut être plus rapide, il est nécessaire dans certains cas de prendre les mesures nécessaires à la bonne conservation de l'échantillon dès le départ, c'est-à-dire dans **l'échantillonneur** lui-même. Ceci est classiquement fait pour le choix du flaconnage (matériau, étanchéité.), mais on peut parfois être amené à ajouter les adjuvants de conservation dès le départ, dans les flacons vides, avant le début des prélèvements. Les renseignements demandés ici ne concernant pas le type de flaconnage mis en oeuvre (déjà vu).



## BIBLIOGRAPHIE

### Les Agences de l'Eau - L'autosurveillance

- [ 1 ] L'Agence de l'Eau Rhin-Meuse : "Recueil des textes relatifs aux redevances et aux aides financières de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse "Période 1990-1 996" - Recueil des délibérations du Conseil d'Administration - Avril 1995 - (voir en particulier les délibérations n° 89/51, 89/52, 89/53 et 89/54 - p. 79 à 93).

### Généralités - Mesures de débit et prélèvements

- [2] Agence de l'Eau Adour-Garonne - Service Mesures : "Mesure des débits, Echantillonnage et analyse des rejets" - 1991 - 170 p.
- [3] THOMAS(O) : "Métrologie des eaux résiduaires" - Editions TEC et DOC (Lavoisier) 1995- 190 p.

### Mesures de débit en canal ouvert

- [4] Agence Financière de Bassin Seine-Normandie : "Notice de prescriptions spéciales pour la réalisation et l'agrément des dispositifs de mesures de débit des effluents" - 15 p.
- [5] EDF - Division Technique Générale : "Méthode de jaugeage par déversoirs triangulaires et rectangulaires en mince paroi" - 1966 - 55 p.
- [6] ISCO, INC - Environmental Division : "ISCO open channel flow measurement handbook" - 1988 - 227 p.
- [7] Ministère de l'Agriculture - Direction Générale du Génie Rural et de l'Hydraulique Agricole : "Mesureur de débit Parshall" - Mai 1954 - 50 p.
- [8] NEYROUD (J) - Société HYDROLOGIC : "Mesure de débits dans les écoulements gravitaires par organes à contraction et chaîne débitmétrique associée" - *L'eau, l'industrie, les nuisances* n° 114 - Novembre 1987 - 3 p.
- [9] Société Endress + Hauser S.A. - 68 HUNINGUE - : "Conditions de montage et d'exploitation des canaux Khafagi et des déversoirs à l'usage des projecteurs et des metteurs en route" - 1983 - 15 p.

### Mesures de débit en conduite fermée

- [10] EUGENE (J.P.) - Agence de l'Eau Rhin-Meuse : "Débitmètres à induction et à effet Doppler" - 36 p.
- [11] Fondation de l'Eau - LIMOGES - : "Mesure des débits en conduites fermées" - 25 p.

### Prélèvements - Echantillonnage

- [12] LORTHIOIS (N), RICHARD (G), SUTTER (B) - CETIM (Centre Technique des Industries Mécaniques) : "Guide d'analyse des eaux de rejets de traitement de surface" - 1990 - p. 31 à 35.
- [13] SAME (C) - Société HYDROLOGIC : "Du bon usage des préleveurs automatiques d'échantillons liquides" - *L'eau, l'industrie, les nuisances* N° 175, Juillet-Août 1994 - 3 p.

*N.B. : Bibliographie non exhaustive  
Documents disponibles à l'Agence*

# ***NORMES FRANCAISES ET INTERNATIONALES RELATIVES AUX PRINCIPALES METHODES EXPOSEES DANS LE GUIDE***

## **1. MESURES DE DEBIT EN CANAL OUVERT**

NF X 10 - 311 Septembre 1983

Mesure du débit de l'eau dans les canaux découverts au moyen de déversoirs en mince paroi - 23 p.

~~NF X 10 - 312 ou NF ISO - 4360 Novembre 1986~~

Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs (déversoirs à profil triangulaire) - 15 p.

~~NF X 10 - NF ISO - 4359 Novembre 1986~~

Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts : canaux jaugeurs à col rectangulaire, à col trapézoïdal et à col en U - 33 p.

NF X 10 - 314 Septembre 1983

Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs. Méthode dévaluation du débit par détermination de la profondeur en bout de chenaux rectangulaires à déversement dénoyé - 12 p.

## **2. MESURES DE DEBIT EN CONDUITE FERMEE**

NF X 10 - 102 ou NF ISO - 5167 Juin 1992

Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes. Partie 1 : diaphragmes, tuyères, venturi insérés dans les conduites en charge de section circulaire - 13 p.

NF X 10 - 120 Juillet 1979

Mesure de débit d'un fluide conducteur dans les conduites fermées au moyen de débitmètres électromagnétiques - 16 p.

## **3. PRELEVEMENTS - ECHANTILLONNAGE**

NFT 90 - 100 Août 1972

Précautions à prendre pour effectuer, conserver et traiter les prélèvements - 2 p.

NFT 90 - 511 ou ISO 5667-1 - Septembre 1988

Guide général pour l'établissement des programmes d'échantillonnage - 4 p.

NFT 90 - 512 ou ISO 5667-2 - Septembre 1988

Guide général sur les techniques d'échantillonnage - 5 p.

NFT 90 - 513 ou ISO 5667-3 - Septembre 1988

Guide général pour la conservation et la manipulation des échantillons - 7 p.