Vélocimétrie et débitmétrie : méthodes de mesurage par dilution

Methods of flow measurement by tracer scattering

J.L. Dutillet
D. Grange
J. Augarde
et J. Lesavre
M. Launay
et G. Beaudoin

Ministère de l'Agriculture, Diame, Paris
Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien, Trappes
Create, Agence de bassin « Seine-Normandie », Colombes
C.E.A., Grenoble

Après un bref rappel des bases théoriques de la méthode de mesurage du débit d'un liquide par dilution d'un traceur et de ses limites d'utilisation, les différents traceurs couramment utilisés en rivière et en réseau, tant de distribution d'eau que d'assainissement, font l'objet d'une étude comparée des caractéristiques de mesurage et des coûts.

La normalisation, tant internationale que nationale, de cette méthode permet d'éviter le foisonnement de « méthodes simplifiées » dont les résultats, peu fiables, ont souvent conduit à rejeter son utilisation.

L'automatisation, surtout pour le diagnostic de réseaux, est possible et des études d'utilisation de nouveaux traceurs, tant de type classique (chimiques, fluorescents ou radiocactifs) que de types « poudreux » et ferromagnétique semblent prometteuses.

First short theoretical basis of flow measurement by tracer scattering and feasibility are recalled. Different kinds of usual tracers in river and sewerage waters are compared in respect of measurements features and costs.

National and international standardization of such technologies is required to avoid swarming of unreliable reduced process, often leading to believe that tracing is unfitted.

Automation is available, mainly in sewers check up, and good luck is allowed for new tracers : soluble (chemical, fluorescent, radioactive) or powdery (ferrimagnetic).

A. Généralités

Le principe de base des méthodes de mesurage d'un débit par dilution est de mesurer la dilution, d'un traceur injecté dans l'écoulement, à une distance suffisante à l'aval du point d'injection pour que la dispersion dans tout l'écoulement soit effectuée.

Cette mesure permet, connaissant les paramètres de l'injection, de calculer le débit de l'écoulement par une

formule du type :

$$Q = KD$$

D : facteur de dilution du traceur injecté (dû à l'écoulement)

K : paramètre dépendant de la méthode d'injection (dimension d'un débit)

Q : débit de l'écoulement.

Cette formule simple (et non simplifiée) suppose qu'il soit possible de déterminer le facteur de dilution, du

1. Courbes d'apparition et de disparition du traceur lors d'un mesurage par injection instantanée.

2. Courbes d'apparition et de disparition du traceur mettant en évidence la variation de la durée du plateau en fonction de la distance lors d'un mesurage par injection à débit constant.

traceur injecté, effectué par l'écoulement. Cette détermination doit donc éliminer les effets de la présence éventuelle de traceur préalablement à l'injection ou de substances ayant les mêmes caractéristiques vis-à-vis de la technique de détermination.

Ces techniques, éliminant ce que l'on peut considérer comme un « bruit de fond », existent et, si elles compliquent un peu la détermination, permettent aussi de s'affranchir des imperfections de l'appareillage de détermination.

Sans entrer dans le détail, le lecteur pouvant avantageusement consulter les ouvrages [1] et les normes traitant du sujet, la solution la plus fréquente pour tarer l'appareil de détermination consiste en la réalisation d'une gamme de dilutions témoins connues avec la solution injectée et l'eau de l'écoulement prélevée à l'amont du point d'injection.

L'habitude a été prise de parler de « méthodes de mesurage par dilution ». En fait la méthode est unique et ce sont les procédés d'injection du traceur qui diffèrent. Selon le procédé d'injection, les définitions de K et de D et donc leur détermination seront différentes.

Par contre la distance de bon mélange, distance nécessaire entre le point d'injection et la section de mesurage afin que la dispersion soit convenable, est identique pour tous les procédés.

1) Procédé par injection instantanée

Un volume V d'une solution-traceur est injecté globalement dans l'écoulement. La figure 1 montre l'évolution de la forme de la courbe de concentration du traceur « ajouté » en fonction du temps en un point d'une section aval selon la distance au point d'injection. A l'aval d'une section S correspondant à la « distance de bon mélange », l'aire comprise entre ces courbes et l'axe des temps (S_n) sera constante quelle que soit la distance et le point de la section considérée. Le temps de passage T_p et la concentration moyenne c varieront mais le produit $c \cdot T_p$ et la valeur de T_p/D seront constants (D étant la dilution moyenne correspondant à c). k correspond alors à V/T_p et la formule de débit devient : $Q = V \cdot D/T_p$.

2) Procédé par injection à débit constant

Le traceur est injecté à un débit q pendant un temps T_i (voir figure 2). Pour toute section à l'aval de la distance de bon mélange et pour tout point de cette section, un palier de concentration sera obtenu après un délai T_p défini dans le procédé précédent (les courbes 1 et 2 sont identiques) et si $T_p < T_i$, la concentration c de ce palier sera identique quelque soit la section et le point de cette section. D sera la dilution correspondant à la concentration du palier c , K correspond alors à q débit d'injection et la formule devient :

$$Q = q \cdot D$$

Si le mesurage est effectué à l'aval de la section S' où $T_p = T_i$ le procédé précédent peut être utilisé avec :

$$K = q \cdot T_i/(T_p + T_i)$$

les courbes 1 et 1' d'une part et 2 et 2' d'autre part s'obtenant par translation sur l'axe des temps.

Traceurs chimiques et fluorescents						
traceur	solubilité : dans l'au :	méthode d'analyse :	longueur d'onde : d'analyse :	concentration : finale usuelle :	coût moyen du : produit au m3 :	particularités :
		spectrophotométrie :		10 ⁻⁷	0,0016 F	nécessité d'un réactif
		moléculaire :				diphenylcarbazide en
Bichromate de sodium :	800 Kg/m3	colorimétrie :	543 nm	10 ⁻⁶	0,016 F	milieu acide -
						renconcentration 10 à
						20 possible par extrac-
						tion dans le butanol
Chlorure de lithium :	600 Kg/m3	spectrophotométrie :		10 ⁻⁷	0,006 F	
		de flamme :	671 nm			
		absorption atomique :		5.10 ⁻⁶	0,12 F	utilisation en eau usées
Rhodamine WT :	200 Kg/m3	fluorimètre :	λ_e 557 nm λ_e 582 nm	10 ⁻⁸	0,01 F	souvent livrée en so-
						lution sodée
Pyranine :	150 Kg/m3	"	λ_e 456 nm λ_e 510 nm	10 ⁻⁸		nécessité de tamponner
						à PH 10
Acide Amino G :	300 Kg/m3	"	λ_e 350 nm λ_e 440 nm	10 ⁻⁸		eaux propres

Traceurs radio-actifs

Traceur	nature et énergie du rayonnement	période	particularité
IODE 131	γ 0,25 et 0,8 Mev	8,04 j	éviter les matières organiques
brome 82	γ 0,55 et 1,48 Mev	36 H	analyse possible sur le terrain
tritium	0,018 Mev β	12,26 A	
Baryum 137	0,066 Mev γ	2,6 mm	obtenu à partir du césium 137
Indium 113	0,19 Mev γ	104 mm	obtenu à partir de l'étain 113

Tableau 1

B. Limites d'utilisation

La méthode impose sa propre limite : la condition de bon mélange doit être atteinte dans le tronçon de mesure (entre l'injection et l'échantillonnage) ou du moins la vérification du mélange ne doit pas faire apparaître de différences supérieures à 5 % entre points d'une même section d'échantillonnage. En effet, dans la zone 0-10 %, l'erreur à craindre pour la détermination du débit peut atteindre le double de celle constatée sur la perfection du mélange.

Le couple traceur-appareil de mesure impose sa propre limite pour laquelle interviennent : la solubilité du traceur, son coût, la sensibilité de l'appareil de mesure. Le *tableau 1* regroupe les caractéristiques des traceurs usuels.

Enfin il ne doit pas se produire de perte ou d'arrivée de traceur ou d'eau entre l'injection et l'échantillonnage.

C. Nécessité de la normalisation

L'exposé des principes de cette méthode ne saurait être exhaustif sur les précautions à prendre et les techniques opératoires tant sur le terrain qu'au laboratoire. Trop souvent, des hydromètres ont appliqué cette méthode en simplifiant à l'extrême tant les techniques de terrain que les procédés de détermination en laboratoire. Quelquefois, l'essai d'un nouveau traceur a conduit, à tort, à la

publication d'un rapport sur une « nouvelle méthode de mesurage par dilution ». Ce qui ne pouvait qu'introduire un doute dans l'esprit des utilisateurs sur la validité de mesurages effectués avant l'apparition de cette « nouvelle méthode ».

La méthode a été codifiée de façon détaillée et pratique par la Division Technique Générale d'EDF (sous l'impulsion de notre président de séance M.H. André), en utilisant comme traceur, le bichromate de sodium, qui, un moment considéré comme polluant, a permis d'effectuer des milliers de mesurages dans tous les continents, dans une gamme allant de quelques litres à plusieurs milliers de mètres cubes par seconde. La norme internationale (ISO 555) actuellement en vigueur [2] est divisée en trois parties : méthode par injection à débit constant, méthode par injection instantanée, utilisation des traceurs radio-actifs — (en vente à l'AFNOR).

Une nouvelle version paraîtra prochainement en deux parties :

I — Exposé général très détaillé et pratique sur la méthode mais indépendant du type de traceur.

II — particularités selon le type de traceur : radio-actif, fluorescent ou chimique.

Cette nouvelle norme devrait, dans l'esprit de ses rédacteurs, permettre d'éviter les déviations citées plus haut et le futur utilisateur de cette méthode la consultera avec intérêt. Les recherches actuelles concernent l'utilisation de nouveaux traceurs, l'automatisation de la méthode ou ses nouveaux domaines d'utilisation.

3. Complexe ferrite — Bentonite constituant la « solution mère »
Grains irréguliers noirs = Ferrite
Grains irréguliers gris = Bentonite
Grains ronds clairs = Gouttes de latex de 10 μ m.

4. Exemple d'enregistrement (les créneaux présentent une montée et une descente très nette).

5. Schéma de la cellule de mesure.

D. Perspectives d'utilisation de nouvelles techniques de traçage

Dans la méthode de mesure de débit par dilution, la détermination de la concentration du traceur fait souvent appel à des techniques analytiques sophistiquées, généralement coûteuses et difficiles à mettre en œuvre sur le terrain. L'exploitation des résultats ne peut donc s'effectuer qu'en différé après passage des échantillons au laboratoire.

Pour pallier ces inconvénients, le CREATE (*) a étudié la possibilité d'utiliser des traceurs économiques dont le dosage pourrait être effectué in situ, sans traitement de l'échantillon prélevé, pour des débits faibles ou moyens, correspondant à des zones de collecte rurales ou semi-rurales qui constituent le champ d'action courant des équipes des SATESE (**).

a) Dosage d'un traceur ferrimagnétique en suspension

Les traceurs utilisés sont des ferrites douces à perméabilité magnétique élevée. Ces produits ne sont pas solubles dans l'eau : leur forte densité, voisine de 5, implique un conditionnement pour éviter toute décantation dans la solution mère à injecter ainsi que dans le réseau (fig. 3).

Le détecteur est un perméamètre portatif léger et peu encombrant, mis au point en collaboration avec le Laboratoire de Magnétisme du CNRS de Grenoble. Le dosage s'effectue en temps réel par passage de l'eau tracée dans un tube en verre de $\varnothing = 10 \text{ mm}$ protégé par une simple crépine (mailles de 5 mm). Le traceur peut être véhiculé soit librement dans l'eau soit absorbé sur des matières en suspension : le dosage n'en est aucunement affecté, il est obtenu avec une erreur absolue de 1 ppm. Sur réseau expérimental, avec des débits de l'ordre de 50 m³/h, la précision obtenue par rapport à une capacité jaugée SIM est de 2 à 4 %; les essais de terrain montrent que l'écart par rapport à la méthode classique au chlorure de lithium est du même ordre. Les signaux présentent des créneaux très nets : les temps d'injection peuvent être réduits à une dizaine de secondes (fig. 4).

Il faut veiller particulièrement aux conditions de bon mélange car la « solution » mère est dense et visqueuse (un prémélange est en général nécessaire).

Les principaux avantages de ce procédé sont :

- résultats en temps réel
- insensibilité aux phénomènes d'adsorption
- dosage sans prétraitement de l'eau tracée
- économie : pas d'échantillonnage, pas d'analyses, le prix du m³ tracé est faible puisque l'on peut utiliser comme traceur des déchets industriels de ferrites gratuits.

b) Détection photométrique d'un traceur

L'utilisation d'un photomètre (400 à 700 nm) à fibres optiques [3] muni d'une cellule de mesure ouverte (fig. 5)

(*) Centre de recherche et d'essais appliqués aux techniques de l'eau, Agence financière de bassin Seine-Normandie.

(**) Service d'assistance technique aux exploitants de stations d'épuration.

RHODAMINE B $\lambda = 550 \text{ nm}$				BENTONITE $\lambda = 600 \text{ nm}$			
Concentration de l'injection mg/l	Q1 déversoir m ³ /h	Q traçage m ³ /h	Q - Q1 m ³ /h	Concentration de l'injection g/l	Q1 déversoir m ³ /h	Q traçage m ³ /h	Q - Q1 m ³ /h
15	33,1	31,1	-2,0	10	33,4	31,9	-1,5
	33,1	32,0	-1,1		28,1	26,7	-1,4
	32,5	32,1	-0,4		24,6	22,8	-1,8
	32,5	31,4	-1,1		33,1	33,4	0,3
	32,5	31,3	-0,2		32,3	30,4	-1,9
	32,5	31,9	-0,6		32,3	32,0	-0,3
	31,6	29,2	-2,4		33,1	30,9	-2,2
	25,3	23,8	-1,5	12	30,8	30,2	-0,6
	31,6	28,7	-2,9		23,0	22,0	-1,0
	31,1	28,1	-3,0		16,4	17,0	0,6

Tableau 2. — Mesures de débit par détection photométrique d'un traceur.

6. Enregistrement de la variation de la transmission provoquée par le passage du traceur.

permet de plonger directement le capteur dans l'effluent tout en réduisant la surface des parois offertes à l'encrassement.

Après avoir étudié la corrélation entre la concentration des traceurs retenus (bentonite, rhodamine B) et l'extinction lumineuse, des essais ont été réalisés sur réseau expérimental pour adapter la méthode et comparer les résultats obtenus à des mesures de débit par déversoir [4].

L'enregistrement en continu de la transmission permet de séparer, lorsqu'on effectue des injections en crâneau, la part du signal due à la qualité de l'eau résiduaire de celle provoquée par le passage du traceur (fig. 6).

Résultats

Le tableau 2 présente quelques valeurs obtenues lors des essais. L'examen de l'ensemble des résultats montre que :

- les mesures par traçage à la rhodamine B donnent systématiquement, par rapport au déversoir, des résultats par défaut : l'erreur moyenne étant comprise entre 1,27 et 2,17 m³/h pour un débit de 30 m³/h.
- les valeurs obtenues avec la bentonite et avec le déversoir peuvent être considérées comme identiques, compte tenu des conditions expérimentales.

**

Des essais complémentaires seront poursuivis afin de confirmer ces premiers résultats avant d'envisager de coupler le photomètre à un ordinateur enregistreur, ce qui permettrait d'utiliser la méthode par intégration et éviterait le dépouillement fastidieux des enregistrements graphiques.

7. Schéma du dispositif d'injection.

8. Implantation des dispositifs dans le collecteur.

9. Implantation des dispositifs dans l'armoire.

E. Exemples d'applications du traçage chimique

1. Mesures ponctuelles ou de courte durée

1.1. Etalonnage de collecteurs d'eaux usées

La mesure des débits en collecteur se heurte à de nombreuses difficultés :

- soit on pratique une mesure « directe » des débits en utilisant un dispositif pré-étalonné (déversoir, venturi...) : cela n'est pas toujours possible (difficulté d'accès, chargement important de matières s'accrochant sur les déversoirs, risque de mise en charge amont, ...).

- soit on pratique une mesure « indirecte » par enregistrement des hauteurs d'eau et utilisation de la relation $Q = f(h)$ (Manning - Strickler) après calage expérimental. Ce calage peut être fait par des mesures de vitesse au moulinet, ce qui pose quelques problèmes en eaux chargées (accrochage de matières sur l'hélice) ou sur des collecteurs d'accès difficile et (ou) présentant des vitesses d'écoulement très élevées (impossibilité pour l'agent de se maintenir dans le flot).

Tous les problèmes évoqués peuvent la plupart du temps être surmontés en pratiquant un traçage chimique.

1.2. Etalonnage de collecteur d'eaux pluviales

Les méthodes « classiques » évoquées dans le paragraphe précédent ne sont plus applicables dans ce cas, ne serait-ce que par le caractère aléatoire de l'écoulement rendant impossible l'intervention d'une équipe de jaugeage. Le L.R.O.P. (Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien) a été amené à développer une méthodologie spécifique pour l'établissement de la courbe $Q = f(h)$ en collecteurs pluviaux, faisant appel à l'injection d'un traceur (le chlorure de lithium) et le prélèvement automatique après bon mélange lors des crues.

La figure 7 donne le schéma général d'implantation des appareils dans le collecteur; les figures 8 et 9 permettent de comprendre le fonctionnement des dispositifs installés respectivement, en amont et aval, de la section de mesures à étalonner.

Les particularités du système sont les suivantes :

- le dispositif de déclenchement de l'ensemble est constitué par un analyseur de seuil permettant de choisir la hauteur d'eau à partir de laquelle on souhaite avoir des mesures;
- l'enregistreur des hauteurs d'eau défile à grande vitesse, et se met en route uniquement pendant la crue. Un signal en provenance de l'échantillonneur permet de situer avec une très grande précision sur l'hydrogramme les échantillons prélevés automatiquement. Il sera donc possible d'attribuer très précisément une concentration en traceur, donc le débit, à une hauteur d'eau dans le collecteur;
- le préleveur échantillonneur (de 24 à 28 flacons) prélève un seul échantillon par flacon. Il est indispensable qu'il soit muni d'un système de purge entre chaque prise pour éviter les contaminations à partir de la ligne de pompage.

Pour compléter le dispositif, il est préférable d'installer un autre préleveur automatique en amont de l'injection de

10. Enregistrement d'une crue avec repères des prises d'échantillons.

façon à pouvoir contrôler la présence éventuelle de lithium dans l'effluent.

Un exemple d'enregistrement de hauteur d'eau avec les repères des prises d'échantillons est présenté dans la figure 10.

On peut objecter que la méthodologie présentée n'est pas compatible avec l'une des règles énoncées pour l'utilisation des traceurs : à savoir que le régime d'écoulement doit être uniforme. Mais il en est de même pour toute application de formules hydrauliques du débit et, de toute façon, il est préférable de multiplier le nombre de crues analysées de façon à sélectionner de préférence les couples « concentration — hauteur d'eau » correspondant à de faibles fluctuations de débit (ce serait le cas des bidons 5 et 6 dans l'exemple présenté sur la figure 10).

1.3. Etude de diagnostic de réseau

La localisation et la quantification des apports permanents d'eaux parasites représente une part importante et souvent très astreignante des études de diagnostic des réseaux d'assainissement. Là aussi, la méthode du traçage chimique peut être substituée à des méthodes traditionnelles.

Un tronçon de collecteur n'ayant pas de raccordement peut être contrôlé de la sorte avec une seule injection en tête de tronçon et prélèvement au niveau de tous les regards situés à l'aval.

Si l'on a choisi une période pendant laquelle le débit est constant, l'obtention du profil en long permettra de cartographier et de quantifier les apports parasites. Ceci présuppose cependant que les conditions de mélange sont respectées en chaque point de prélèvement. Cependant, toute augmentation des valeurs de débit suivie d'une diminution sera l'indice d'une condition de mauvais mélange. On éliminera donc cette valeur et on en conclura qu'il existe une zone d'apport très proche du regard de prélèvement.

2. Mesures de longue durée

2.1. Mesure des débits par la Rhodamine W₁ (cas des réseaux d'assainissement de Roanne et du Coteau) (étude C.E.A.)

Dans les réseaux d'eaux usées, les effluents de nature et de composition variable donnent lieu à un taux d'atténuation et d'absorption du traceur fluorescent utilisé. L'utilisation de la méthode des ajouts dosés pour évaluer ce taux suppose que dans les limites des ajouts l'atténuation est proportionnelle à la concentration en traceur. Autrement dit la capacité d'absorption des impuretés ne doit pas être saturée. Ce phénomène de saturation intervient presque sûrement quand on augmente fortement la concentration du traceur dans le milieu.

L'augmentation de concentration du traceur d'un facteur 50 à 100 par rapport à la CMM constitue une solution simple au problème d'absorption pour les faibles débits ou les petits collecteurs (inférieurs à 100 l/s). Il est nécessaire cependant, avant la prise en compte de la mesure, de s'assurer sur des échantillons que la saturation est bien atteinte.

Dans ce cas, il convient de prendre la précaution de diluer suffisamment les échantillons prélevés jusqu'à atteindre la zone de réponse linéaire des fluorimètres (de l'ordre de 10^{-6} kg/l pour la Rhodamine W₁).

Pour Roanne, la mesure du taux de fixation du traceur par la méthode des ajouts dosés donnait des valeurs s'échelonnant entre 12 et 28 % (avec des pointes à 45 %) pour les concentrations en traceur pratiquées C_2 : $3,7 \cdot 10^{-8}$ kg/l.

Ces mesures, effectuées en trois campagnes d'une semaine entière, ont nécessité l'utilisation de cuves à niveau constant de débit 2 ml/seconde alimentées par pompes à partir de cuves de 250 litres. Le plein des cuves

était réalisé toutes les 24 heures et deux prélèvements de solution-mère effectués en début et fin de vidange des cuves. Les prélèvements dans les collecteurs étaient réalisés par des préleveurs automatiques ISCO. Le traitement des échantillons prélevés nécessitait la présence sur place d'un matériel adapté : fluorimètres, centrifugeur, verrerie abondante, etc., Les mesures étant réalisées sur deux des collecteurs principaux et à l'exutoire.

A titre d'exemple les diagrammes des débits totaux sont présentés ci-après pour les villes de Roanne et Le Coteau (figures 11, 12 et 13).

2.2. Mesure des débits par le chlorure de lithium en trois points d'un important collecteur d'eaux usées (étude L.R.O.P.)

- Objectif : déterminer l'hydrogramme sur 24 h en trois points répartis en fonction des zones d'apports sur 2,5 km à l'aide d'une seule injection.
- Injection : vase à niveau constant alimenté par pompes à partir d'une réserve de 1 100 litres (environ 400 kg de traceur d'un coût de 30 000 F environ).
- Prélèvements : appareils automatiques ISCO prélevant un échantillon toutes les 1/2 heures.
- Analyses : spectrophotomètre à l'absorption atomique (analyse directe car traceur conservatif).
- Résultats : débit fluctuant entre 700 et 1 500 l/s environ — Débit journalier au point le plus en aval : environ 100 000 m³/j.
- Précision : 3 % (calculée à partir de la précision du débit d'injection et des analyses) — A noter que les doses de traceur retenues auraient permis de jauger un débit trois fois supérieur mais avec une précision moindre (7 % environ).

F. Le Tritium utilisé comme traceur pour les mesures de débits d'effluents dans les gros collecteurs des réseaux d'assainissement

Le Tritium n'est pas le seul traceur radioactif utilisable pour les mesures de débit. Le Brome 82 et l'Indium 113 m (de périodes respectives 36 et 1,73 heures) qui sont des émetteurs gamma, sont bien connus. Leur période relativement courte n'autorise pas, contrairement au Tritium, des mesures différées de concentration. Celle-ci doit être mesurée dans l'écoulement lui-même à l'aide de sondes nucléaires à scintillation immergées ou bien en dehors du chenal sur des échantillons, ce qui permet un accroissement de sensibilité.

Isotope radioactif de l'hydrogène, le Tritium occupe une place privilégiée comme traceur de l'eau car il fait partie intégrante de la molécule. Son emploi dans le domaine public est, comme pour les autres traceurs radioactifs, soumis à l'autorisation de la Commission interministérielle des radioéléments artificiels (CIREA — BP n° 8 — 91190 Gif-sur-Yvette). Il est nécessaire de fournir un dossier de demande d'utilisation.

11. Mesure de débit du réseau d'assainissement de Roanne. Débit total, 17/23 juillet 1981.

12. Mesure de débit du réseau d'assainissement de Roanne. Débit total, 21/27 octobre 1981.

13. Mesure de débit du réseau d'assainissement de Roanne. Débit total, 2/10 novembre 1983.

Le Tritium est présent en faible quantité à l'état naturel; il est apporté dans l'environnement par l'activité humaine (civile et militaire). Au lendemain du Traité d'interdiction des explosions thermonucléaires expérimentales aériennes en 1962, la concentration dans les eaux de pluie de l'hémisphère Nord était couramment de 6 000 Unités Tritium (1 UT = 0,12 Bq/ℓ). Emetteur Beta peu énergétique (5,5 KeV d'énergie moyenne), il ne présente pas de risque d'irradiation externe quelle que soit l'activité. La concentration maximale admissible (CMA) dans les eaux de boisson est très élevée (111 kBq/ℓ soit 939 000 UT). On propose donc l'emploi du Tritium comme traceur à la concentration finale de 10 000 UT environ dans les réseaux d'égoût.

Mode d'injection

L'injection de la solution d'eau tritiée est décrite par la Norme. Il est important de veiller à la séparation rigoureuse des enceintes d'injection et des récipients de prélèvement surtout pendant le transport à cause des contaminations possibles (rapport de radioactivité de 10^{10} à 1 entre la réserve radioactive et les flacons de prélèvement).

Mode de détection — Mesure

La concentration en Tritium est mesurée par la technique de scintillation liquide dans un spectromètre Beta par exemple : TRICARB 4430 Packard Instruments).

Ces appareils ne sont pas transportables et sont utilisés dans les laboratoires mesurant la radioactivité (Centres du CEA, EDF, Universités, Centres Hospitaliers Universitaires). Leur coût est de l'ordre de 200 000 F (1986). La mesure porte sur des échantillons de 10 ml incorporés à un mélange scintillant du genre « Instagel ». Le rendement

de comptage — de l'ordre de 15 % — dépend des impuretés contenues dans l'échantillon et les corrections peuvent être faites automatiquement (standardisation externe) ou lors d'un deuxième comptage après introduction d'un standard interne à chaque échantillon (Activité connue du même ordre que celle de l'échantillon). La sensibilité de l'appareil est de 70 à 80 UT par impulsion/minute pour l'échantillon de 10 ml d'eau.

L'introduction de coefficients convenables dans le programme de correction automatique de la machine permet de sortir directement les résultats de débits.

En conclusion, l'utilisation du Tritium permet la quasi automatisation de la mesure de débit de réseaux d'assainissement d'une façon très simple. Aucun équipement immergé dans l'égoût n'est nécessaire, à l'exception de la crépine du préleveur automatique d'échantillons.

Mode de calcul de l'activité tritium nécessaire

Hypothèse : réseau d'assainissement unitaire $Q_0 = 500$ ℓ/s.

Q de pointe 3 000 ℓ/s (réseau unitaire)

Durée de mesure des débits : 1 semaine (604 800 secondes) ininterrompue

Concentration $C_{200} = 7 600$ UT soit 24 microcuries/m³

Activité nécessaire : $A = 24 \cdot 10^{-6} \times 604.800 \times 0,5 = 7$ curies

Q (ℓ/s)	C_2 (UT)	Mesure impuretés (minutes)	Incertitude relative à 2 sigmas (%)	Temps de comptage par échantillon (minutes)
500	7 600	100	5	20
3 000	1 270	17	10	60

Coût du traceur : de l'ordre de 3 000 F.

Bibliographie

- [1] ANDRÉ H., AUDINET M., MAZERAN G., RICHIER C., 1976. — *Hydrométrie pratique des cours d'eau*. Eyrolles — Paris 259 p.
- [2] Recueil des normes ISO, 555. — *Mesure de débit de liquides dans les canaux découverts* — 1983, 540 p.
- [3] *Mesure en continu des matières en suspension à l'aide d'un photomètre à fibres optiques*. 1985 — Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien, 72 p.
- [4] LESAVRE J., PELLETIER S., juin 1986. — *Mesures de débit par traçage — Détermination en continu de la concentration d'un traceur par photomètre à fibres optiques*. Agence de Bassin « Seine Normandie » — CREATE — 72 p.

Discussion

Président : M. H. ANDRÉ

M. ANDRÉ, avant de donner la parole aux intervenants, rapporte une petite anecdote concernant l'interprétation d'un « gros débit », 100 000 m³/s pour des indiens et 20 m³/s pour des anglais..., et la possibilité de le mesurer par la méthode de dilution. Après avoir cité la thèse réalisée en 1966 par M. DUTILLET sur la mesure des « gros débits » par la méthode de dilution, il lui donne la parole.

M. DUTILLET rappelle que M. ANDRÉ était alors son directeur de thèse et qu'il lui est reconnaissant du transfert de savoir réalisé à cette occasion.

M. ANDRÉ insiste sur une des idées initiales de M. DUMAS (fondateur de la méthode) qui était la mesure des concentrations relatives C_1/C_2 . Ce principe reste fondamental et supprime la plupart des erreurs introduites par les mesures directes des concentrations C_1 et C_2 .

M. RENARD souhaite avoir un éclaircissement sur ce qu'on appelle la condition de « bon mélange ». Pour avoir testé de multiples formules puisées dans la littérature, il s'en trouve déçu, voire perplexe. Par ailleurs, M. RENARD souhaite savoir si la normalisation progresse en ce domaine.

M. DUTILLET. — Les Américains ont essayé de définir une nouvelle formule pour la nouvelle norme internationale. Ils ont retiré cette formule juste avant sa publication. Le débat semble difficile et nous ne donnerons pas de formules miracles. En revanche ce qui paraît acquis c'est que la précision du mesurage soit liée à la précision du bon mélange. On peut dire en effet que si le mélange est réalisé à 5 % près, l'erreur à craindre sur la mesure de débit est de l'ordre de 10 %.

La détermination de cette distance de « bon mélange » passe par des expérimentations successives et un examen de la précision des mesurages réalisés. Toute généralisation est utopique et dans la pratique un bon jaugeur sait intuitivement à quelle distance il faut se placer pour réussir le « bon mélange ».

M. RENARD rétorque que le jaugeur ne peut réellement se faire une opinion que s'il prend la précaution de réaliser plusieurs prélèvements dans plusieurs sections, compte tenu de la méthode choisie.

M. GAILLARD. — Pour optimiser la distance minimale de bon mélange, on peut réaliser une injection multipoints répartie géométriquement sur la longueur de l'écoulement. M. RENARD fait remarquer qu'il faudrait alors réaliser une pondération fonction de l'importance des veines liquides.

M. DUTILLET émet certains doutes sur la diminution de la distance de bon mélange en faisant une injection multipoints et estime qu'en fait on ne réalise ainsi plus vite qu'un mélange à peu près convenable. En fait en réalisant une injection multipoints on ne ferait que dissimuler le problème plutôt que de le résoudre. On pourrait ainsi arriver très vite à des mélanges semblant convenir mais au prix d'un nombre très élevé de points d'injections : où est l'optimum ?