

# Champs de vitesses et de concentrations en matières en suspension dans les réseaux d'assainissement

## Approches expérimentales et numériques

**Frédérique LARRARTE**

Chargée de recherche  
Division Eau  
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées  
Centre de Nantes

**Jean-François SINI**

Professeur  
Laboratoire de mécanique des fluides  
École centrale de Nantes

**Jean-Pierre LEGENDRE**

Technicien supérieur

**Yannick SAUVOREL**

Technicien supérieur  
Division Eau  
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées  
Centre de Nantes

### RÉSUMÉ

Le suivi des débits et des charges polluantes transitant dans les réseaux d'assainissement est de plus en plus nécessaire. Pour effectuer cette mesure dans les meilleures conditions, une connaissance précise du contexte hydrodynamique de chaque site est indispensable. Le LCPC a entrepris un programme pluriannuel de recherche sur les champs de vitesses d'écoulement et de concentrations en matières en suspension dans une section droite de collecteur. Ce programme comporte une partie expérimentale avec des campagnes de mesures *in situ*, dont on présente ici les méthodes et les premiers résultats. On montre ainsi que sur ce site, en période de temps sec, le rapport des vitesses moyennes expérimentales et des vitesses maximales acquises en continu varie peu, et que les concentrations obtenues à partir d'un préleveur à poste fixe sont représentatives de la concentration moyenne. Ce programme comporte également une approche par simulations numériques, dont on présente ici les premiers résultats.

**MOTS CLÉS :** Polluant - Évacuation des eaux - Conduite (tube) - Débit (écoulement) - Mesure - *In situ* - Vitesse - Écoulement (fluide) - Concentration (chim.) - Réseau d'assainissement - Matières en suspension - Hydrodynamique.

### Introduction

Cette étude se situe dans le cadre législatif créé par la Directive européenne du 21 mai 1991, la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et ses textes d'application, qui stipulent que les agglomérations produisant une charge brute de pollution organique supérieure à 900 kg/j doivent être équipées d'un système de collecte avant le 31 décembre 2000. Les textes mettent en place un contrôle permanent et définissent les prescriptions techniques visant à assurer l'efficacité des systèmes de collecte. Ceci implique une connaissance précise des débits et des flux polluants transitant dans les réseaux, notamment ceux transportés sous forme de matières en suspension (MES).

De plus, au-delà des aspects réglementaires, ces informations sont très utiles pour gérer les ouvrages existants, et pour en dimensionner de nouveaux. Mais elles sont assez difficiles à obtenir avec les matériels disponibles, qui effectuent une mesure ponctuelle de la qualité et une mesure plus ou moins intégrée (sur le volume de mesure) de la vitesse moyenne de l'écoulement. L'utilisation de ces résultats nécessite une extrapolation à l'ensemble de la section. En pratique, cette extrapolation n'est explicite que pour les mesures de vitesses, et se limite souvent à l'application de coefficients correcteurs, s'appuyant au mieux sur quelques mesures de contrôle. Pour les

concentrations, on espère que le point de mesure choisi est représentatif de l'ensemble de la section, alors même que les données disponibles dans la littérature, bien qu'en nombre restreint, réfutent une hypothétique homogénéité du champ de concentration (Wohrle et Brombach, 1991 ; Oulhen, 1996 ; Jeal, 1997).

Le LCPC a donc entrepris un programme pluriannuel de recherches sur la connaissance des champs de vitesses et de concentrations. Cet article présente, d'une part, les travaux en cours en vue de la création d'une base de données de résultats de mesures *in situ*, et, d'autre part, les premiers résultats d'une étude numérique.

## Expérimentation

### Site expérimental

La zone d'étude retenue est celle de Cordon Bleu, qui se situe sur le collecteur principal allant à la station d'épuration de Tougas, dans l'agglomération nantaise. Il transporte les effluents venant de toute la partie nord de celle-ci, qui correspond à 600 000 EH (1 EH = 1 équivalent-habitant). Le collecteur principal est un ovoïde à banquette, de 2,8 m de haut pour 2,2 m de largeur maximale, auquel on accède par des regards situés sur le trottoir. Ces dimensions importantes permettent de disposer, lors des campagnes de mesures, d'un espace (présence de la banquette, hauteur sous la voûte etc.) suffisant pour installer du matériel de mesure.

Le site global s'étend sur plus de 100 m (fig. 1). Il comporte divers capteurs installés à poste fixe, et permettant de suivre l'évolution au cours du temps des vitesses acquises en continu avec deux débitmètres à effet Doppler situés à 25 m en amont du regard R4 et à proximité du regard R2 (soit à 80 m à l'aval de l'autre section). Sur ce site, les relevés expérimentaux de champ de vitesse et de concentration ont été effectués à proximité du regard R4 (fig. 1). Cette localisation a été retenue pour la proximité du regard permettant une

plus grande facilité de mise en œuvre des préleveurs, et car ceci permet, par temps de pluie, de mieux appréhender ce qui peut être évacué par le déversoir d'orage. Afin d'étudier la représentativité des prélèvements en un point (par rapport aux prélèvements multipoints), nous utilisons également un préleveur automatique Isco implanté en R2.

### Mesures effectuées

Pour les vitesses, on utilise un courantomètre électromagnétique. Chaque point d'un relevé correspond à la moyenne de trois ou quatre mesures (fig. 2). Chaque mesure est elle-même la moyenne sur 10 secondes des vitesses instantanées. Ne disposant initialement que d'un seul appareil devant être nettoyé très souvent en raison des flottants qui viennent se coller à sa surface, les mesures sont loin d'être simultanées : il faut environ une heure trente pour parcourir une section transversale. Après différents essais, il est apparu que la manière la plus rapide et la plus pratique de travailler est d'effectuer les mesures à hauteur constante en commençant près de la surface libre pour descendre vers le fond. À chaque hauteur, les mesures sont faites en allant de la banquette vers la paroi (selon les y décroissants), avant de revenir près de la banquette. Plus le courantomètre est proche du radier, et plus il est sujet à l'encrassement par les flottants. Les incertitudes sur les positions en y et z sont évaluées à 1 centimètre.

Les mesures de hauteur se font au milieu de l'émissaire en posant le réglelet au fond du radier. L'incertitude de lecture est évaluée à 1 centimètre.

Par ailleurs, le régime hydraulique n'est pas permanent et il n'est pas possible de maîtriser les conditions de l'écoulement : le capteur de vitesse à poste fixe situé en R2, est utilisé pour standardiser les résultats.

Des prélèvements d'eaux usées ont été effectués dans le collecteur principal. Plusieurs dispositifs ont été utilisés. Le plus simple est un seau qui permet d'écoper l'eau à quelques centimètres (3 à 5) sous la surface

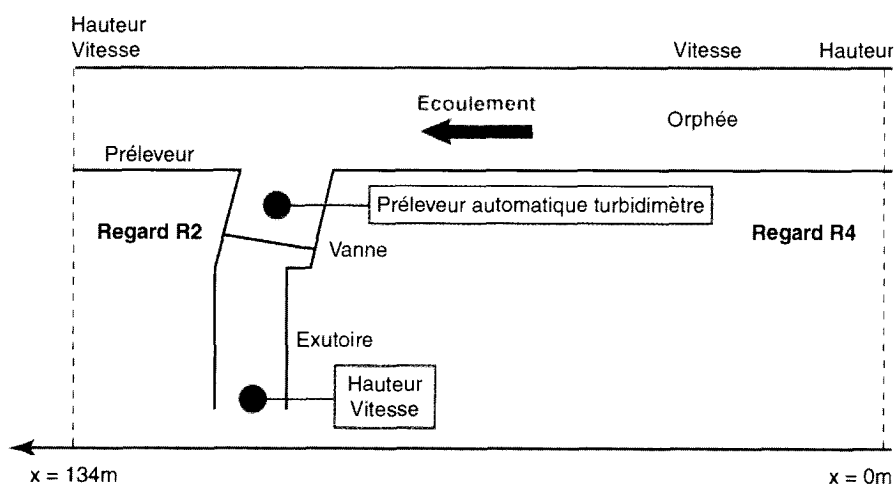


Fig. 1 - Site de Cordon Bleu.

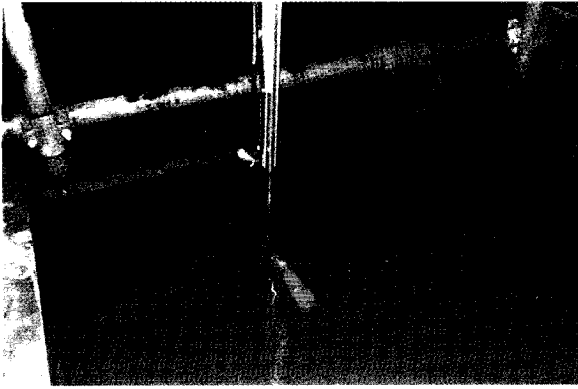


Fig. 2 - Montage pour l'établissement d'une carte de vitesse.

libre. Cette méthode, d'une grande simplicité, est fortement intrusive et peu localisée (du fait de la taille du seau). De plus, elle ne permet des mesures qu'en partie haute de l'écoulement. Une alternative au seau pourrait être les préleveurs de type Ottman, utilisés en hydraulique fluviale et en océanographie, mais ils se sont avérés impossible à mettre en œuvre dans un espace aussi confiné que l'intérieur du collecteur.

La canne Oulhen est une rampe positionnée manuellement et permettant d'effectuer jusqu'à quatre prélèvements simultanés sur une verticale, à des hauteurs imposées *a priori* (Oulhen, 1996). Ce dispositif permet un échantillonnage spatial, et donc une première étude des gradients de concentrations. Pour étendre son domaine d'investigation (échantillonnage selon deux dimensions, gamme de hauteur d'eau incluant les écoulement de temps de pluie), nous avons conçu et fabriqué le préleveur Orphée (Larrarte et al., 1999). Ce dispositif est installé en permanence dans le collecteur, en position « effacée », et peut être mis en service et utilisé depuis la surface (fig. 3).

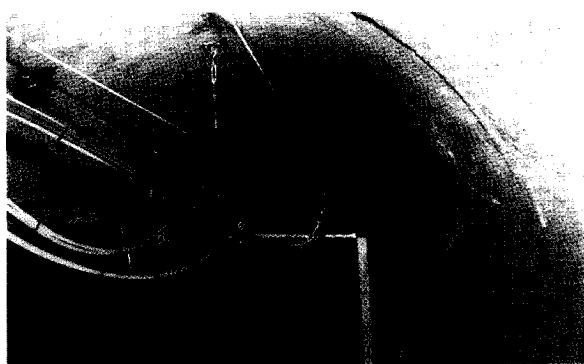


Fig. 3 - Préleveur Orphée en position relevée.

Le préleveur Isco, placé à proximité du regard R2, est un appareil traditionnellement utilisé pour déterminer la concentration à partir d'une mesure en un point, notamment lors des déversements par le déversoir d'orage. Bien qu'il soit situé à 80 m en aval des autres appareils, nous avons décidé de l'utiliser afin d'étudier aussi exhaustivement que possible l'influence du mode

de prélèvement sur la concentration moyenne (nous y reviendrons plus loin).

Afin que la comparaison des concentrations soit la plus pertinente possible, nous essayons de minimiser le temps entre les différents prélèvements.

Les échantillons d'eaux usées prélevés sont analysés en laboratoire afin de déterminer la concentration en MES (norme NF EN 872). Pour minimiser les risques d'évolution (notamment de floculation) des échantillons et vérifier la répétabilité des résultats, les prélèvements sont tous analysés dans la demi-journée qui suit. L'incertitude sur les analyses est évaluée à 10 milligrammes par litre.

## Étude numérique

### Présentation du code de calcul

Le code Chensi a été initialement développé par l'équipe Dynamique de l'atmosphère habitée de l'École centrale de Nantes, pour simuler les écoulements atmosphériques dans la canopée urbaine.

Dans le cadre de cette étude, le code a été adapté pour prendre en compte les écoulements à surface libre dans des collecteurs. Il résout les équations de Navier-Stokes bidimensionnelles incompressibles, écrites en moyenne de Reynolds (c'est-à-dire que chaque variable est la somme de sa valeur moyenne plus sa fluctuation turbulente). Le code Chensi permet de déterminer les composantes cartésiennes du champ des vitesses, l'énergie cinétique turbulente, son taux de dissipation et le champ de variables scalaires. Chaque résolution se décompose alors en un calcul des champs dynamiques (vitesse, énergie cinétique turbulente, viscosité turbulente) puis en un calcul du champ scalaire.

Le champ dynamique (fluide sans particule) est calculé en résolvant le système d'équations constitué de :

- > l'équation de continuité,
- > les équations de quantité de mouvement pour la vitesse moyenne,
- > l'équation de transport pour l'énergie cinétique de la turbulence  $k$ ,
- > l'équation de transport pour le taux de dissipation de  $k$ .

La résolution se fait par une méthode aux différences finies formulée dans un repère rectangulaire cartésien. Les composantes de la vitesse moyenne sont localisées au centre des facettes et les valeurs scalaires au centre des cellules du maillage. Il n'y a pas d'échange de matière, ni au niveau de la surface libre ni au niveau des parois solides. Des conditions de Neuman sont imposées sur les faces perpendiculaires à l'écoulement (c'est-à-dire que le gradient longitudinal des variables est nul). Le schéma est explicite en temps.

Une fois la convergence du calcul obtenue pour le champ dynamique, on étudie le champ de concentrations en MES. Celles-ci sont considérées comme des particules passives (au sens où elles n'influent pas sur

la dynamique de l'écoulement fluide). On étudie l'évolution de la concentration  $C$  de particules (en g/gramme d'eau) en un point. Pour cela, on résout une équation de transport-diffusion, en faisant l'hypothèse qu'il n'y a ni dépôt ni érosion (donc les termes source et puits sont nuls). La résolution se fait par une méthode de volumes finis avec une formulation conservative pour la phase solide. Les particules sont caractérisées par leur concentration initiale  $C_0$  et leur vitesse de chute.

### Configurations d'études

Pour l'étude numérique, parmi toutes les configurations existantes, nous avons décidé de retenir en premier une géométrie circulaire (cas de la majorité des collecteurs non visitables et des plus petits collecteurs visitables tels que ceux de diamètre 1 200 mm). Ce choix s'appuie de plus sur le fait que des données sont disponibles dans la littérature (Wohrle et Brombach, 1991), et qu'un site réel de diamètre 1 200 mm pourrait être étudié dans la partie expérimentale de ce programme de recherche. Les collecteurs visitables sont généralement de forme ovoïde car, pour une hauteur d'eau donnée, les vitesses d'écoulement en régime permanent gravitaire sont plus élevées et cela facilite l'autocurage des réseaux. La géométrie ovoïde à banquettes du site de Cordon Bleu en est une variante.

Pour la géométrie circulaire, nous avons retenu quatre vitesses de débit,  $U$ , qui permettent de balayer la gamme de vitesses observées sur des sites réels et trois hauteurs d'eau,  $h_0$ , représentant les hauteurs de remplissage par temps sec et en cas de pluies de faible, moyenne et forte intensité. Les rugosités,  $z_0$ , ont été choisies afin de couvrir la gamme allant de lisse (amiante-ciment, PVC) à rugueux (béton). Pour la géométrie ovoïde à banquettes, les configurations ont été définies à partir des mesures faites *in situ* avec une rugosité correspondant à du béton très lisse (Lencastre, 1995).

## Résultats et discussion

### Champs de vitesses

#### Résultats expérimentaux

Dans les résultats expérimentaux qui suivent, il faut noter que les mesures ont été faites aussi rigoureusement que possible, mais que les nombreux flottants présents entre deux eaux viennent encrasser le capteur. Si une baisse marquée (plus de 10 cm/s) entre deux mesures à un point donné entraînent la vérification de l'état du capteur, il est possible que des débuts d'encrassement (baisse plus faible de la vitesse) ne soient pas détectés et diminuent la vitesse moyenne en ce point sans que l'on s'en soit rendu compte.

La figure 4 présente les cartes de vitesses. Les mesures faites à l'aide du courantomètre ( $V_{ott}$ ) sont rendues adimensionnelles en les divisant par les résultats ( $V_{aval}$ )

du capteur situé à l'aval du site. On remarque qu'à chaque fois le maximum de vitesse mesuré se situe au deux tiers de la hauteur d'eau et au milieu de la section mouillée (en  $y = 0,80$  m), ce qui correspond aux cas généralement rencontrés en hydraulique. Par ailleurs, on note l'existence d'un gradient transversal avec des vitesses toujours plus faibles du côté de la banquettes, notamment au fond.

La figure 5 montre un exemple de profils de vitesses ( $h_0$  est la hauteur d'eau à l'instant initial). Les profils verticaux fluctuent beaucoup et présentent souvent près de la surface libre une baisse de la vitesse dont l'amplitude est inattendue. Les profils transversaux sont globalement réguliers et forment des arcs de paraboles.

Pour chaque carte de vitesse, nous avons calculé la vitesse moyenne dans la section. Comme dans chaque section, nous n'avons qu'un nombre limité de points expérimentaux, nous avons utilisé une méthode des aires un peu optimisée. À une profondeur donnée, chaque profil expérimental peut être lissé de manière très satisfaisante par un arc de parabole. Nous avons donc utilisé ces polynômes pour calculer la vitesse tous les dix centimètres entre la paroi de gauche et la banquettes (située en  $y = 1,75$  m). Ensuite, nous avons découpé la section en surfaces élémentaires et considéré que la vitesse est constante sur chaque surface. En divisant la somme des débits adimensionnels élémentaires (vitesse sur une surface \* aire élémentaire) par la surface mouillée de la section, nous avons obtenu la vitesse moyenne adimensionnelle. Nous n'avons pas tenu compte du fait que la vitesse est théoriquement nulle aux parois, mais les polynômes utilisés s'appuient sur les résultats expérimentaux et les aires élémentaires sont relativement petites.

Le tableau I récapitule ces résultats. On constate que le rapport  $V_{moy}/V_{max}$  ainsi obtenu est généralement compris entre 0,78 et 1,02. Le résultat du 2 décembre 1998 peut s'expliquer par la mauvaise répartition des hauteurs de mesure, qui amène à privilégier les vitesses près du fond lors du calcul de la vitesse moyenne. À *contrario*, le résultat du 25 août 1999 peut s'expliquer par le fait que les vitesses enregistrées par le capteur aval étaient beaucoup plus faibles que celles mesurées au courantomètre électromagnétique et aussi avec un courantomètre portable utilisant en parallèle comme témoin. Ceci est attribué au fait que les effluents étaient très chargés (travaux sur le réseau en amont) et que cela perturbait la propagation des ondes ultrasonores émises par le capteur aval (fixé en banquettes à 40 cm au-dessus du radier).

### Comparaison des résultats numériques et expérimentaux

Pour la géométrie circulaire, les résultats numériques sont comparés à ceux obtenus par Wohrle et Brombach (1991) (fig. 6). Pour la configuration ovoïde à banquettes, la vitesse de débit utilisée pour les calculs est de

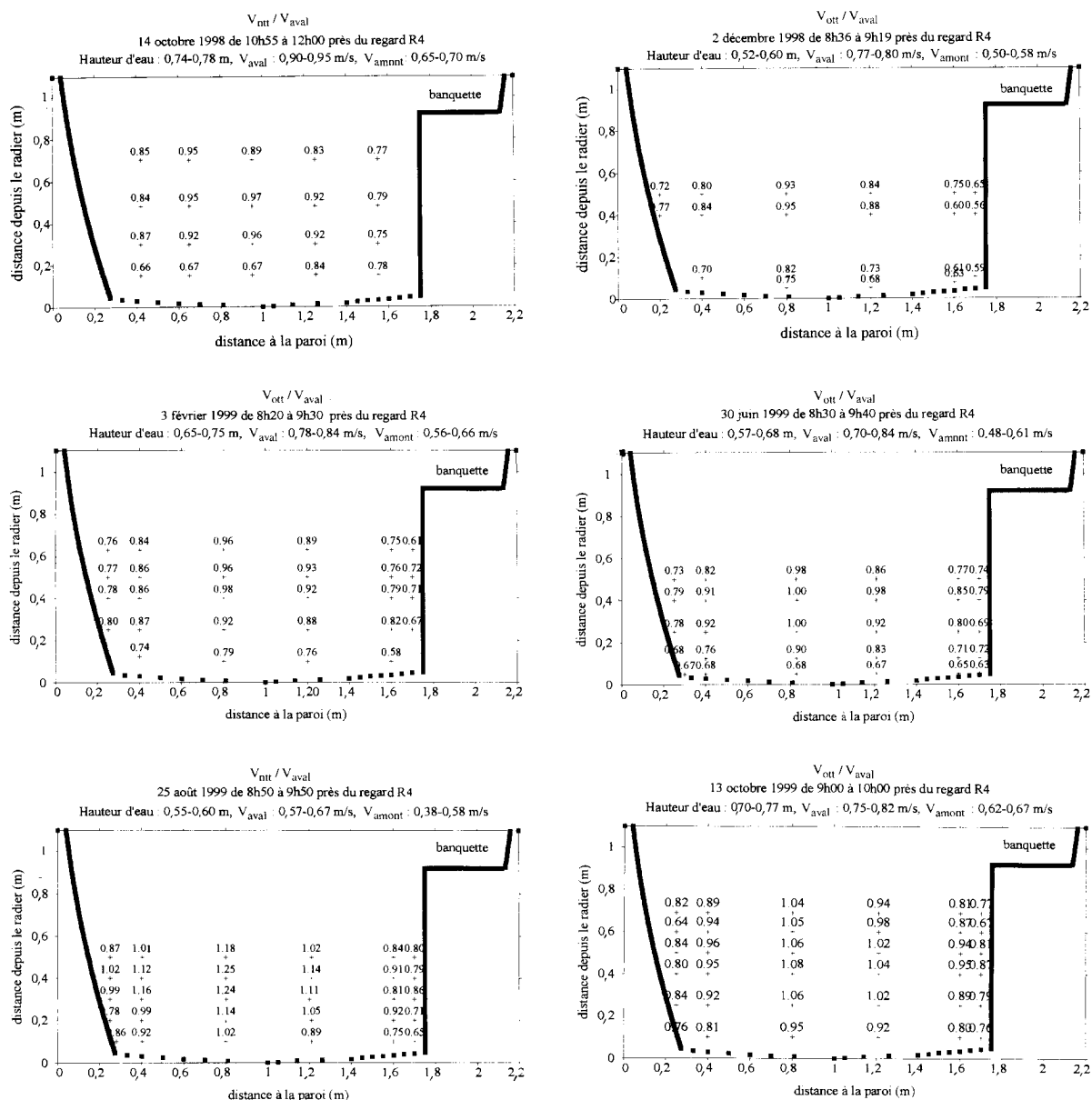


Fig. 4 - Cartes de vitesses mesurées au courantomètre près du regard R4.

TABLEAU I  
Rapport de la vitesse moyenne sur la vitesse maximale

Date	14/10/98	16/11/98	02/12/98	03/02/99	09/06/99	30/06/99	25/08/99	13/10/99
$z_0$ (m)	0,73	0,67	0,54	0,66	0,65	0,57	0,55	0,70
$V_{moy}/V_{max}$	0,85	0,86	0,78	0,84	0,84	0,86	1,02	0,95

0,75 m/s, ce qui est très proche de la vitesse maximale mesurée en R2 lors des mesures expérimentales du 3 février 1999.

Pour la géométrie circulaire, on notera que le code donne des gradients transversaux de vitesses nettement plus marqués que les mesures expérimentales (fig. 6a). Par ailleurs, la figure 6b montre que, si les vitesses calculées évoluent de manière classique en augmentant

depuis le fond vers la surface, et si l'allure générale des profils expérimentaux est respectée, les vitesses sont surévaluées au centre de la section droite et sous-évaluées sur les côtés.

Pour l'ovoïde à banquette, les mesures à hauteur donnée (fig. 7a) font apparaître que les vitesses sont plus élevées du côté gauche (paroi en arc d'ellipse) que du côté droit (paroi verticale de la banquette), alors que les

Fig. 5 - Exemples de profils de vitesses.

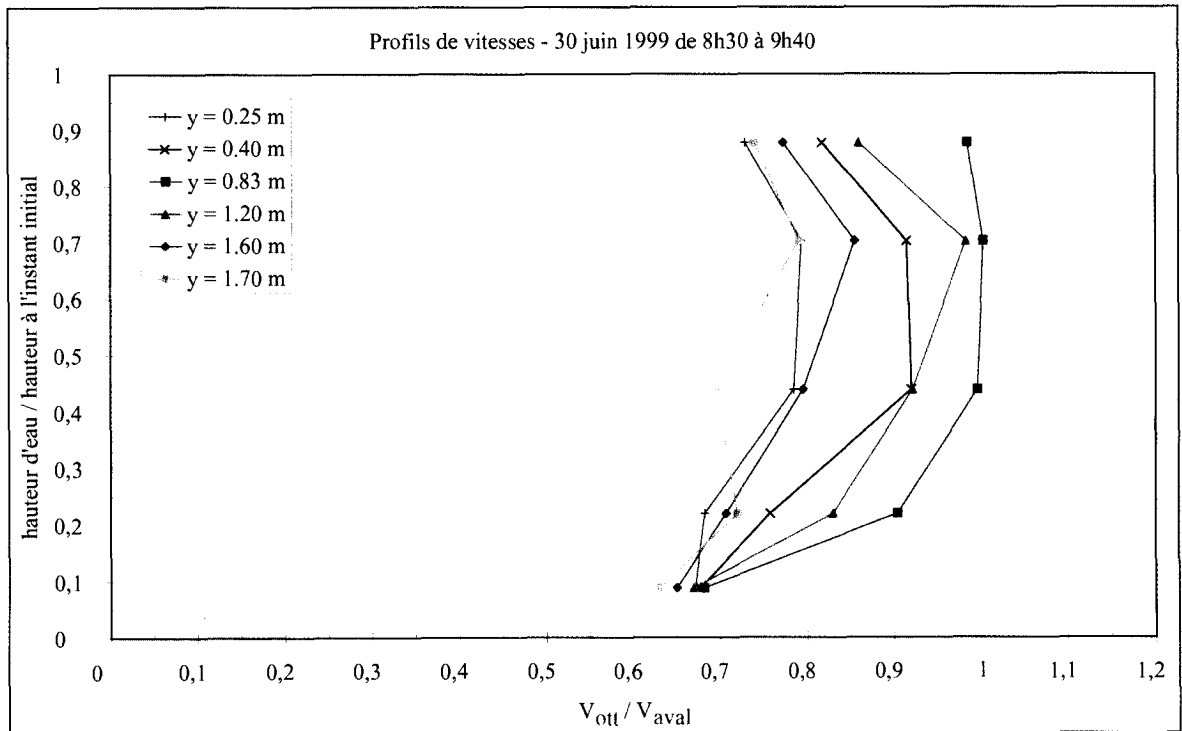


Fig. 5a - Profils verticaux, en fonction de la distance à la paroi.

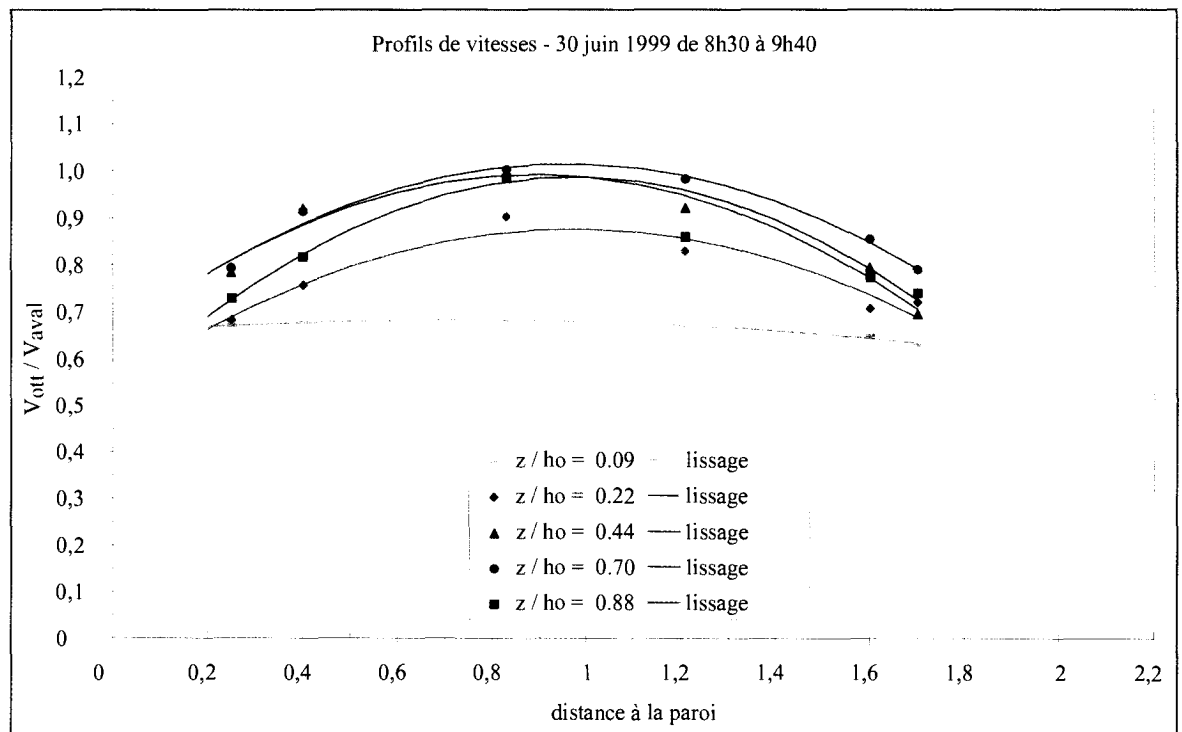


Fig. 5b - Profils transversaux, en fonction de la hauteur (adimensionalisée).

profils numériques sont symétriques par rapport au milieu local du collecteur. On notera que le code détermine bien les vitesses près du fond.

La figure 7b montre que les vitesses calculées évoluent de manière classique en augmentant depuis le fond vers

la surface. Ces profils diffèrent nettement des résultats expérimentaux. Ceci est peut être dû au fait que les calculs Chensi sont faits pour un écoulement établi, alors que les résultats expérimentaux concernent un écoulement non permanent et non uniforme.

Fig. 6 - Comparaison des mesures expérimentales de Wohrle et Brombach (1991) et des calculs Chensi pour  $U = 0,60 \text{ m/s}$ ,  $h = 0,30 \text{ m}$ .

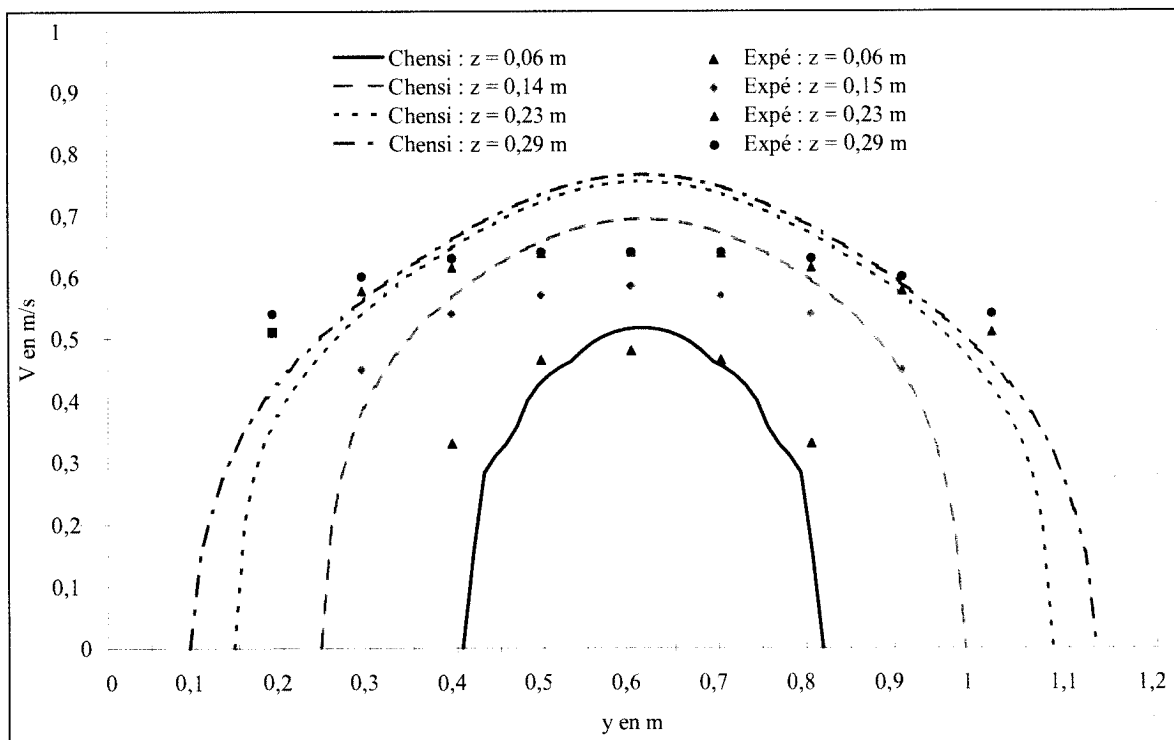


Fig. 6a - Profils transversaux, à différentes hauteurs.

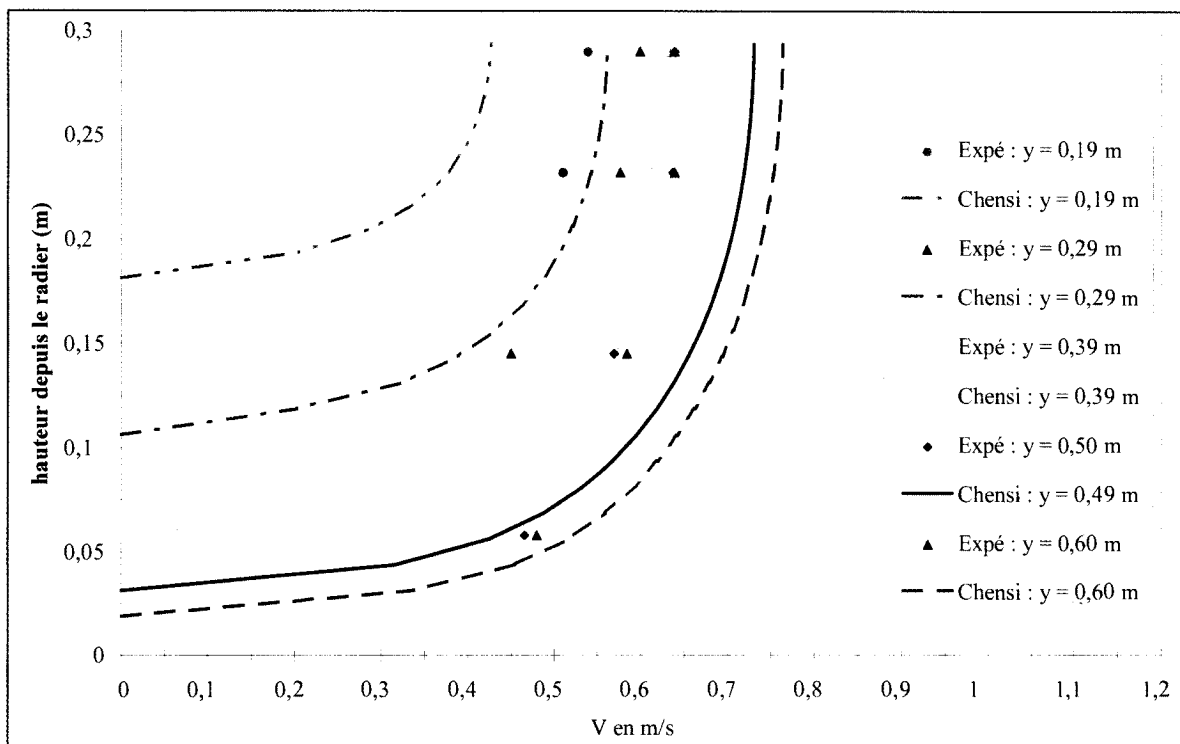


Fig. 6b - Profils verticaux, à différentes distances de la paroi.

## Mesures de concentrations

### Résultats expérimentaux

La figure 8 montre que les concentrations obtenues avec le seau sont inférieures à celles atteintes avec les autres dispositifs. Ceci s'explique facilement par le fait

que ces prélèvements sont effectués immédiatement en dessous de la surface libre. Le résultat du 13 octobre 1999 est attribué à une erreur de manipulation intervenue lors du transvasement du contenu du seau dans les flacons qui sont rapportés au laboratoire d'analyses. Quel que soit le jour, les prélèvements effectués avec

Fig. 7 - Comparaison des mesures expérimentales effectuées à Cordon bleu et des calculs Chensi pour  $U = 0,75 \text{ m/s}$ ,  $h = 0,60 \text{ m}$ .

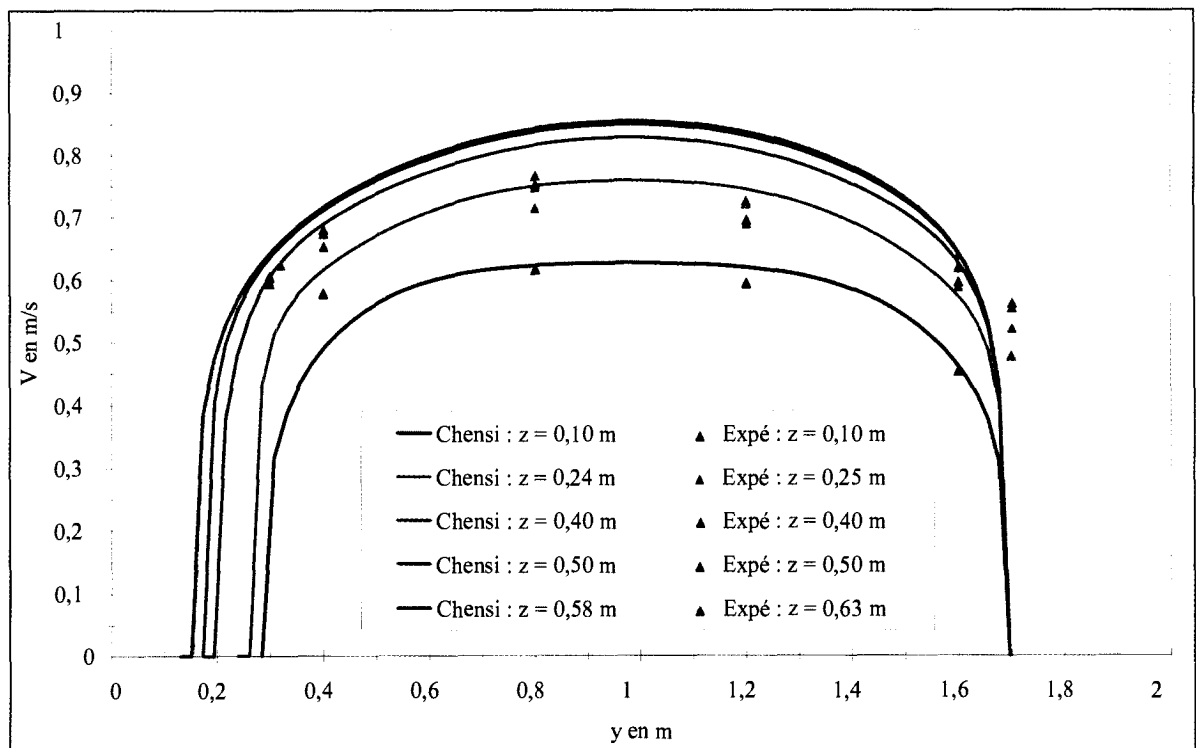


Fig. 7a - À hauteur donnée.

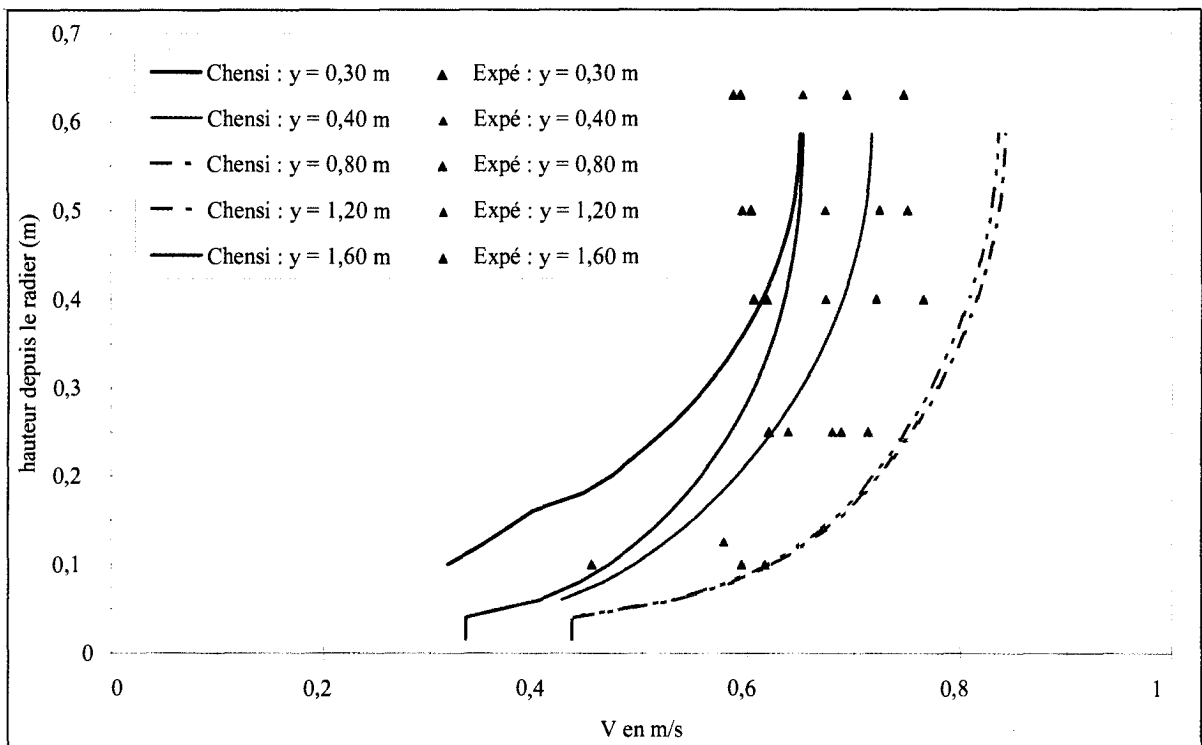


Fig. 7b - À distance donnée par rapport à la paroi.

Orphée mettent en évidence l'existence d'un gradient transversal, avec des concentrations plus élevées du côté opposé à la banquette. On observe également un gradient vertical faible et similaire à celui obtenu lors des prélèvements avec la canne Oulhen. Il est intéress-

sant de noter que les concentrations atteintes par pompage péristaltique avec le préleveur Isco sont très proches de celles obtenues par aspiration avec les tubes d'Orphée situés à la même position transverse en y même s'ils ne sont pas dans la même section droite.



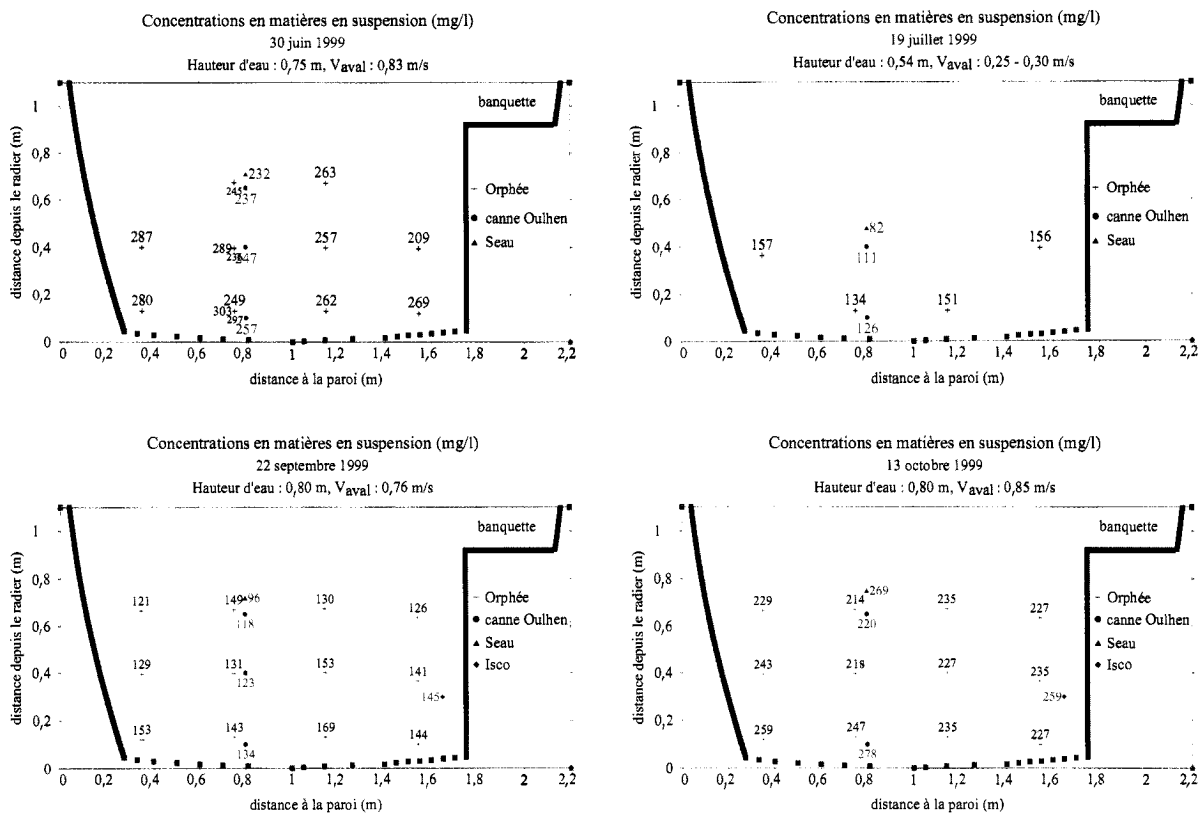


Fig.8 - Cartes de concentrations en MES.

À partir de ces cartes, il est possible de calculer la concentration moyenne en MES dans une section de collecteur. Pour le seau et le préleveur Isco, on considère la valeur comme étant représentative de la charge polluante, et donc on pose que la valeur obtenue correspond à la concentration moyenne. Pour la canne Oulhen et le préleveur Orphée, nous avons calculé la concentration moyenne dans la section en utilisant une méthode des aires. Nous avons découpé la section en surfaces élémentaires et considéré que la concentration est constante sur chaque surface. En divisant la somme des concentrations élémentaires (concentration sur une surface \* aire élémentaire) par la surface mouillée de la section, nous avons obtenu la concentration moyenne.

Il est maintenant possible d'accéder aux flux polluants, que l'on identifie ici aux débits massiques de MES. Le débit massique transitant par une section droite à un instant donné est théoriquement la somme des débits élémentaires transitant par chacune des surfaces élémentaires. Compte tenu de l'utilisation des préleveurs monopoint (pour lesquels la concentration moyenne est prise égale à celle qui est mesurée), on définit le débit massique par la relation :

$$Q \text{ (kg/s)} = C_{\text{moy}} \times S_m \times V_{\text{moy}}$$

où

- $C_{\text{moy}}$  est la concentration moyenne dans la section,
- $S_m$  est la section mouillée,
- $V_{\text{moy}}$  est la vitesse moyenne dans la section définie par  $V_{\text{moy}} = 0,875V_{\text{max}}$ , où  $V_{\text{max}}$  est enregistrée par le

capteur aval à l'instant considéré, et 0,875 la moyenne des rapports entre les vitesses moyennes et maximales présentés dans le tableau I.

Le tableau II récapitule les concentrations et les débits massiques obtenus lors de quatre journées de mesures de temps sec.

La figure 9 illustre l'influence des méthodes de prélèvements. On constate que les prélèvements au seau, mis à part le 13 octobre 1999, sous-estiment les débits massiques moyens par rapport à ceux obtenus avec des méthodes plus sophistiquées. Les trois autres méthodes donnent des résultats très proches avec un écart maximal de 11 %. On peut donc dire que, compte tenu des incertitudes de mesures, les prélèvements automatiques à poste fixe peuvent être considérés comme représentatifs de la charge polluante en MES dans une section droite par temps sec.

#### Comparaison des résultats numériques et expérimentaux

Lors des essais, la vitesse de chute des particules (et donc leur tendance à sédimenter) ne peut être contrôlée. Par contre, lors de l'étude numérique, ces paramètres peuvent être imposés. Chebbo (1992) indique que 80 % des MES ont une granulométrie inférieure à 100 µm, la densité moyenne est de 2,1 et la vitesse de chute de 50 % des particules est inférieure à 1 mm/s par temps sec (c'est-à-dire quand il n'y a que des eaux usées). Compte tenu de ces résultats et afin d'étudier

TABLEAU II  
Rapport de la vitesse moyenne à la vitesse maximale

Date	V <sub>aval</sub> m/s	H <sub>0</sub> (m)	Orphée		Oulhen		Seau		Préleveur Isco	
			C <sub>moy</sub>	Q (kg/s)	C <sub>moy</sub>	Q (kg/s)	C <sub>moy</sub>	Q (kg/s)	C <sub>moy</sub>	Q (kg/s)
30-06-99	0,83	0,75	260	0,21	247	0,20	232	0,19		
19-07-99	0,28	0,54	150	0,03	119	0,02	82	0,02		
22-09-99	0,80	0,80	140	0,12	124	0,11	96	0,08	145	0,12
13-10-99	0,80	0,80	232	0,20	246	0,21	269	0,23	259	0,22
24-11-99	0,84	0,80	269	0,24	260	0,23	238	0,21	279	0,25

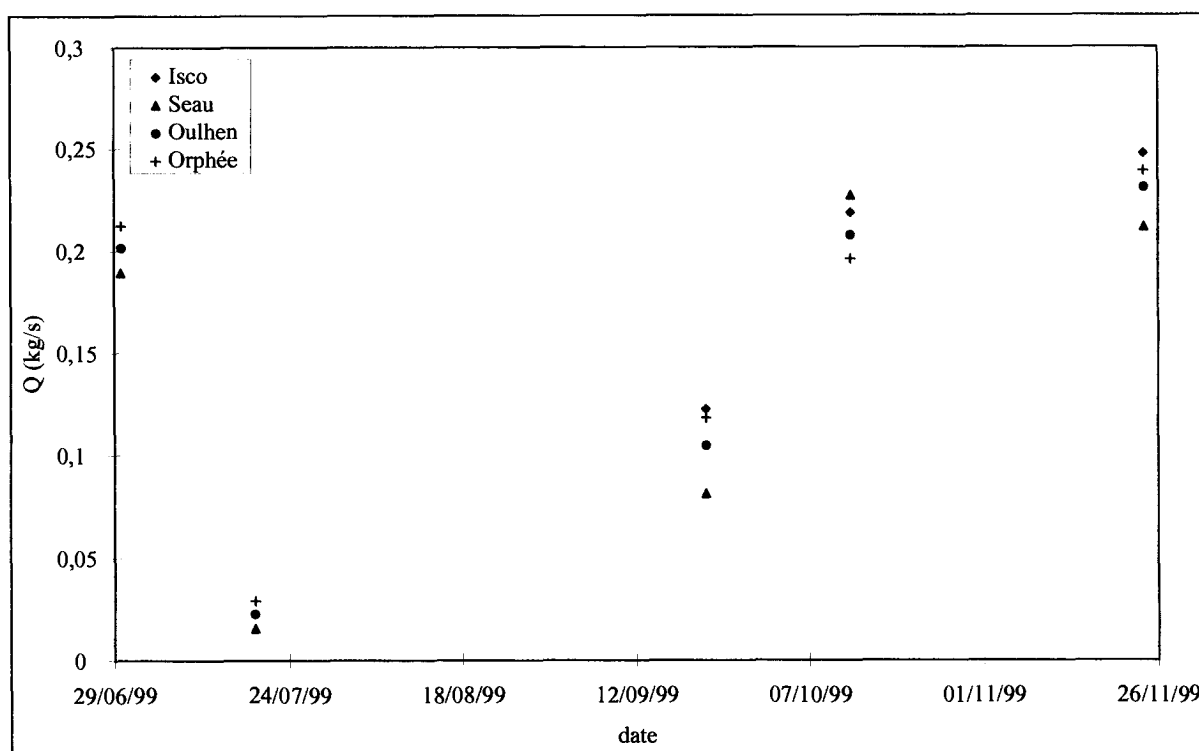


Fig. 9 - Influence de la méthode de prélèvement sur le débit massique de matières en suspension.

aussi ce qui se passerait pour de grosses particules, nous avons choisi de déterminer les champs de concentrations pour des vitesses de chutes  $W_c$  de 0,1 ; 1 ; 5 et 10 mm/s (ce qui, en appliquant la loi de Stokes, correspond à des particules dont la densité est de 2 et les diamètres de 13, 43, 95 et 135 micromètres).

La figure 10 montre nettement que plus la vitesse de chute est élevée et plus le gradient de concentration est important, puisque les particules ont tendance à se concentrer vers le fond,  $C_0$  étant la concentration à l'instant initial du calcul. De plus, la comparaison des résultats numériques avec les champs de concentrations en MES mesurés par Wohrle et Brombach (1991) montre que le code permet d'avoir une bonne approche du champ de concentration, sauf à proximité du fond. Ce dernier aspect peut s'expliquer par le fait que le modèle n'est pas muni d'une loi de dépôt.

L'étude numérique permet enfin d'étudier l'influence de paramètres très difficiles à appréhender par l'expé-

rience. Ainsi, la figure 11 montre que la rugosité pariétale n'a, dans la gamme considérée, quasiment aucune influence sur le gradient des concentrations en MES au milieu du collecteur. Ceci est très intéressant car la rugosité est un paramètre difficile à estimer et susceptible d'évoluer dans le temps puisque les parois des réseaux unitaires sont couvertes de dépôts arrivés par temps de pluie.

La figure 12 montre que la vitesse de débit n'a qu'une influence limitée sur le gradient des concentrations en MES au milieu du collecteur, et que celle-ci ne se manifeste qu'au voisinage du fond. C'est un aspect de la modélisation qui devra être affiné, car le champ scalaire est ici considéré comme passif vis-à-vis de l'écoulement. De plus, l'écoulement est supposé permanent et ne permet donc pas d'extrapoler aux champs de vitesses et de concentrations dans le cas d'un premier flot d'orage (écoulement accéléré avec montée du niveau d'eau).

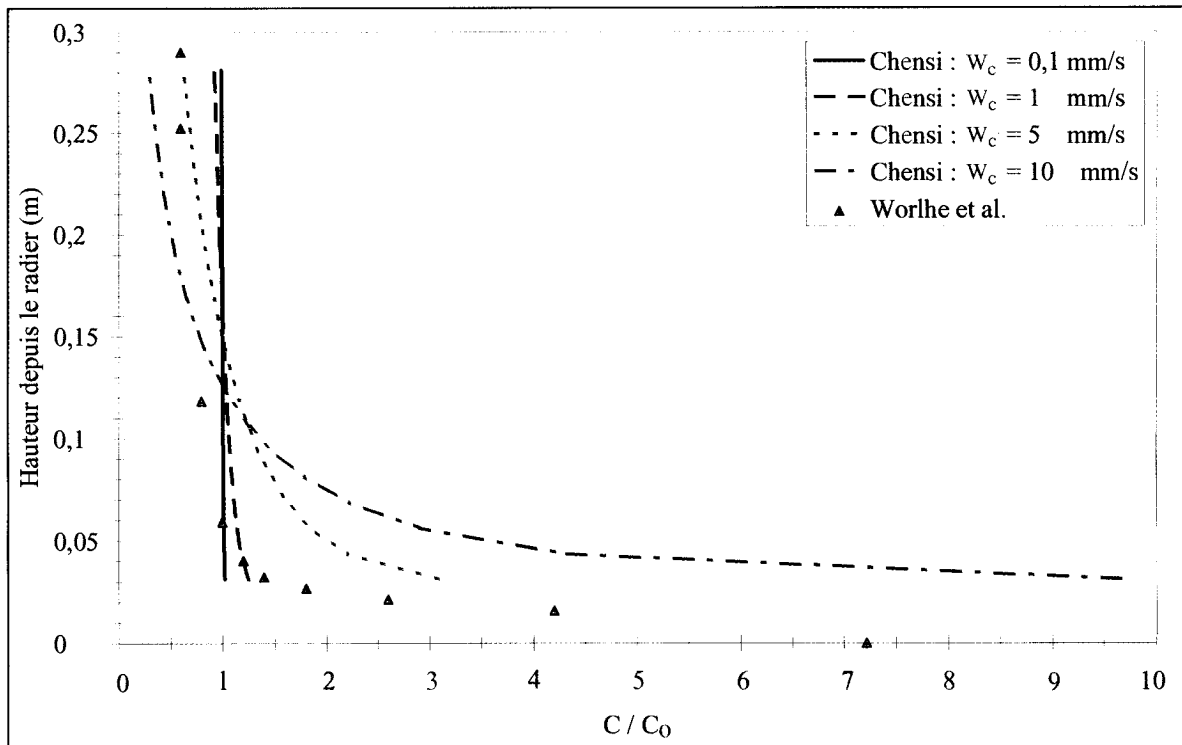


Fig.10 - Influence de la vitesse de chute sur les champs de concentration.

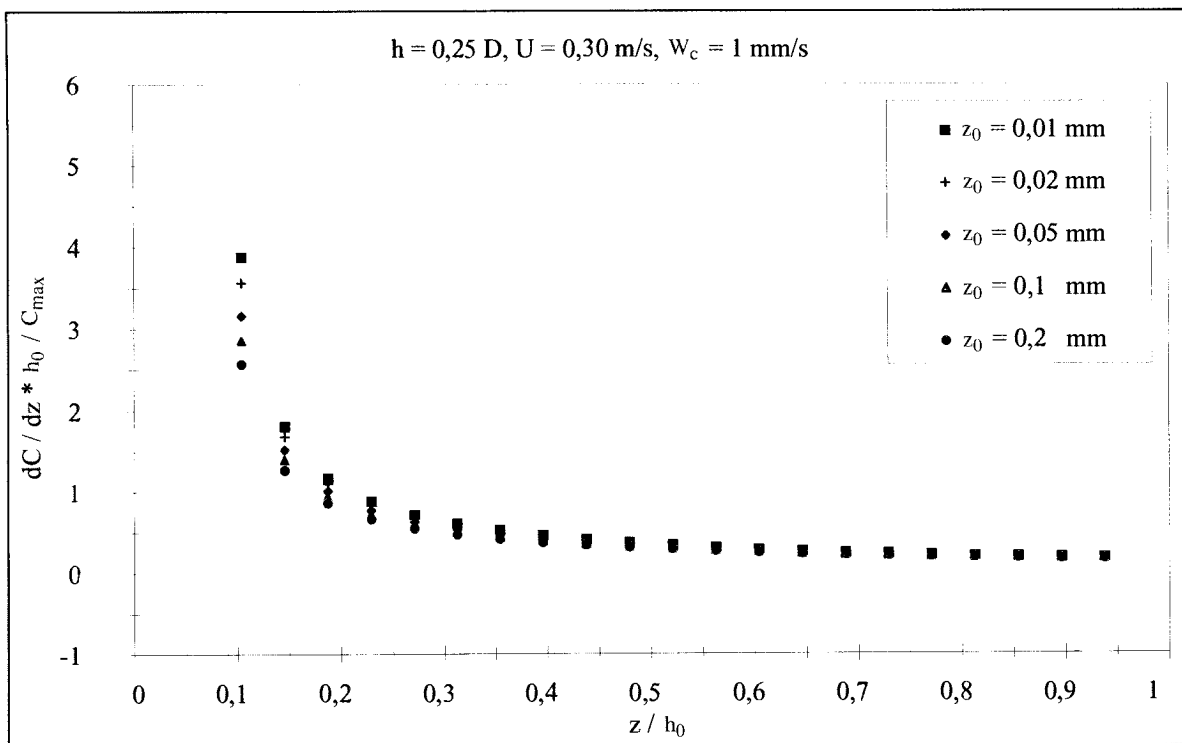


Fig. 11 - Influences de la rugosité pariétale sur le gradient vertical de concentration adimensionnel par la concentration maximale  $C_{max}$ .

## Conclusion

Ces résultats concernent la première phase d'un programme de recherche pluriannuel. Les mesures effectuées à ce jour ont permis de commencer à construire une base de données de temps sec et de montrer que :

- le rapport des vitesses moyennes calculées à partir des mesures aux vitesses maximales acquises en continu reste toujours compris entre 0,85 et 0,95 ;
- les concentrations moyennes dans la section, calculées à partir des prélèvements, montrent que l'utilisation d'un préleveur à poste fixe est représentative de la

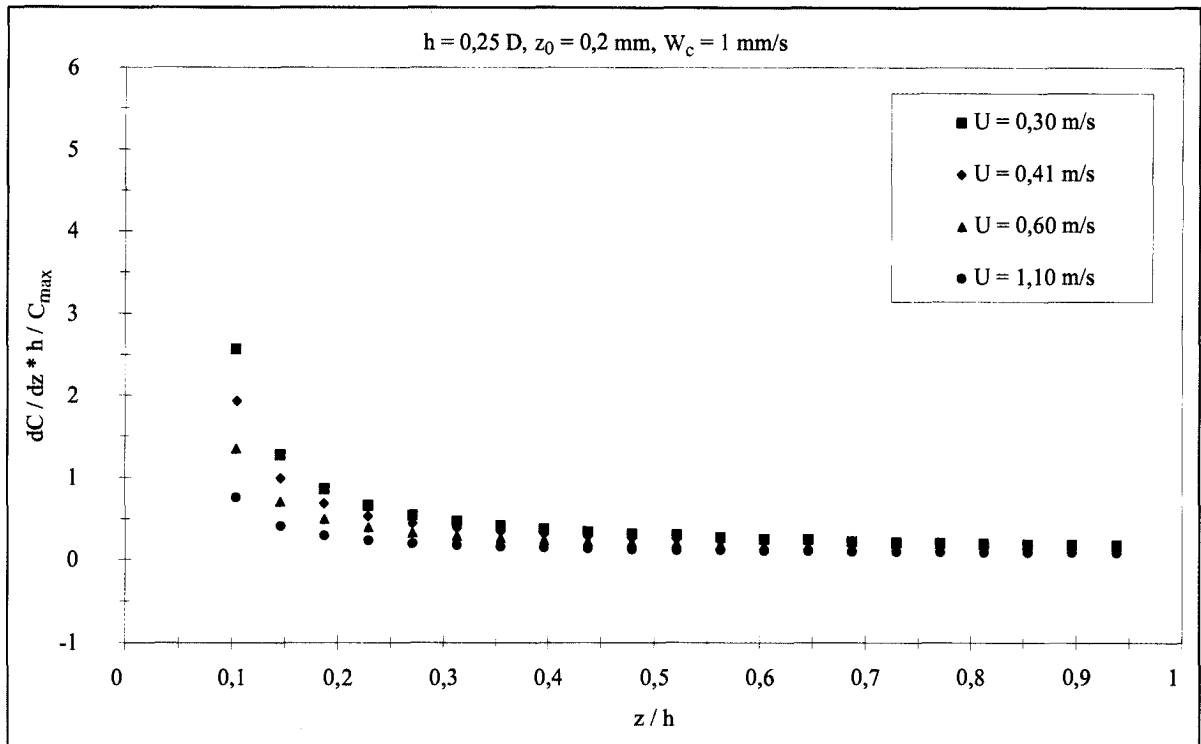


Fig. 12 - Influences de la vitesse sur le gradient vertical de concentration adimensionnel par la concentration maximale  $C_{max}$ .

concentration moyenne, au moins dans le cas d'un collecteur où le débit d'eau assure une bonne homogénéité du champ de vitesses et une très faible sédimentation.

Lors des mesures sur sites, il est impossible de maîtriser les conditions initiales et aux limites. C'est pourquoi l'approche numérique est importante. Ainsi, malgré les hypothèses réductrices prises dans cette première étude, nous avons pu voir que :

- les résultats numériques sont du même ordre de grandeur que les résultats expérimentaux disponibles, mais les gradients de vitesse longitudinale sont plus forts ;

- la rugosité pariétale des collecteurs n'a que peu d'influence sur le champ de concentrations ;
- la vitesse de débit ne modifie le champ de concentrations de façon significative que près du fond ;
- la granulométrie et la densité des particules influencent très fortement leur champ de concentrations.

Dans la suite de ce programme, on cherchera à construire une base de données de temps de pluie. À plus long terme, il sera intéressant de réitérer cette démarche sur des sites de même géométrie mais où les vitesses d'écoulement sont plus faibles, et dans les collecteurs circulaires.

**Remerciements.** Les auteurs tiennent à remercier le personnel de la Régie municipale d'Assainissement de la ville de Nantes pour leur collaboration lors des mesures sur site.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHEBBO G. (1992), *Solides des rejets pluviaux urbains : caractérisation et traitabilité.*, Thèse de doctorat, École nationale des Ponts et Chaussées, 413 pages.

JEAL G.C. (1997), *Suivi en continu d'un déversoir à seuil mobile*, Rapport LCPC, ENGEES, 42 pages.

LARRARETE F., LEGENDRE J.-P. PAUL J.-M., GROSSO A. (1999), *Développement d'un dispositif de prélèvement 2D en réseaux d'assainissement*, 14<sup>e</sup> Congrès français de Mécanique.

LENCASTRE A. (1995), *Hydraulique générale*, Éd. Eyrolles, Safège, Paris, 633 pages.

OULHEN N. (1996), *Suivi en continu des flux de pollution rejetés au niveau déversoir à seuil mobile*, Rapport de stage, LCPC-ENSP, 60 pages.

WOHRLE C., BROMBACH H. (1991), Probenahme im Abwasserkanal, *Wasserwirtschaft*, vol. 81, pp. 3-8.

## **ABSTRACT**

### **Velocity fields and concentrations of suspended matter in drainage systems : experimental and digital techniques**

F. LARRARTE, J.-F. SINI, J.-P. LEGENDRE, Y. SAUVOUREL

It is becoming increasingly important to monitor flows and pollutant loads in drainage systems. Conducting such measurements accurately requires knowledge about the hydrodynamics of each site. The LCPC has embarked on a multiannual programme of research into flow velocity fields and suspended matter concentrations in a straight section of main sewer. One part of the programme was experimental and this paper presents the techniques used and the initial findings. It has been shown that during dry weather on this site there is little variation in the ratio between the average velocities during the experiment and the maximum continuously measured velocities, and that the concentrations measured using a fixed sampling device are representative of the average concentration. This paper also presents the initial findings from numerical simulation performed as part of this programme.