

# Premières approches d'une méthode expérimentale pour l'étude des écoulements dans les bassins de rétention autoroutiers

Nathalie Jordana et Jean-Baptiste Faure

*Pour préserver le milieu environnant, les autoroutes sont équipées de bassins de rétention destinés à collecter les polluants déversés accidentellement ou non sur la chaussée. Cet article présente une méthodologie expérimentale mise en œuvre pour suivre le trajet d'un polluant miscible à travers un bassin de rétention. L'objectif est de mieux connaître les temps de transfert ainsi que d'autres paramètres comme le niveau d'eau dans le bassin ou les débits. Les premiers résultats sont présentés dans la perspective d'une modélisation numérique.*

Les premiers bassins de rétention destinés à gérer les effluents autoroutiers par temps de pluie ont été mis en service par ASF<sup>1</sup> en 1981, au sud de la ville de Saintes (Charente-Maritime). Des exemples de réalisation ou de projets de tels bassins en France et en Europe ont été décrits dans une note d'informations du Setra<sup>2</sup> (Setra, 1980).

Lors de sa conception, un bassin comprend un dispositif de sortie, équipé d'une vanne qui reste normalement ouverte pour permettre l'évacuation des eaux de pluie drainées par l'autoroute. En cas de déversement accidentel d'un polluant sur la chaussée, le bassin doit être fermé pour piéger les substances dangereuses et les empêcher d'atteindre l'environnement naturel. Pour cela, la fermeture de la vanne de sortie doit être réalisée avant que le polluant ait pu traverser le bassin. Un délai d'intervention de 45 à 60 minutes a été retenu dans le cadre des essais réalisés pour prendre en compte les délais d'intervention des services. La capacité de rétention du bassin doit donc être conçue pour que le temps de transfert du polluant entre son entrée et sa sortie à l'exutoire, soit compatible avec le délai d'intervention.

En l'absence de règles de dimensionnement reconnues, le Setra a lancé une étude pour analyser les relations entre ce temps de transfert

et les paramètres de construction d'un bassin, en vue de recueillir les données indispensables pour le calage de modèles numériques capables d'évaluer le temps de transfert dans de multiples conditions. *In fine*, ces modèles conduiront à la réalisation d'un outil de dimensionnement sous la forme d'un abaque d'utilisation simple et automatique, qui permettra d'évaluer des modifications sur les bassins existants et de définir des règles de construction pour les nouveaux bassins. Cette étude est menée par le Cemagref, en collaboration avec ASF, le Cete<sup>3</sup> d'Aix-en-Provence et le laboratoire de mécanique des fluides de l'Insa<sup>4</sup> de Lyon.

Dans cet article, après un rappel sur le principe de fonctionnement d'un bassin, nous décrivons notre dispositif expérimental puis nous exposons les méthodes d'acquisition de données *in situ* susceptibles d'être comparées, ultérieurement, aux résultats fournis par un modèle numérique. Dans une seconde partie, nous présentons des résultats issus des campagnes de mesures et les premières conclusions relatives au comportement des bassins. Les étapes ultérieures de modélisation feront l'objet d'autres publications. Cependant, pour des raisons de confidentialité liées à la conception de l'outil de dimensionnement, les résultats ne peuvent pas être fournis ici dans leur

1. Autoroutes du Sud de la France.

2. Service d'études techniques des routes et autoroutes.

3. Centre d'études techniques pour l'équipement.

4. Institut national des sciences appliquées.

## Les contacts

Cemagref, UR Hydrologie et hydraulique, 3 bis, quai Chauveau, 69336 Lyon Cedex 09

intégralité. Des précisions sur les outils de mesure sont néanmoins disponibles auprès du Cemagref (Jordana, à paraître).

### Le principe de fonctionnement d'un bassin

Les bassins ont pour but de collecter les fluides et particules transportés par le ruissellement des pluies sur la chaussée de manière accidentelle ou naturelle. Ces fluides se dirigent vers les bassins par un réseau de fossés attenant à l'autoroute.

Bien que leur forme diffère selon l'espace disponible, les bassins sont généralement de forme allongée avec un rapport longueur sur largeur égal ou supérieur à 2 et une profondeur de l'ordre de 2 m. Ils peuvent être rectangulaires (photo 1) ou en forme de « haricot » (photo 2). Ils sont bétonnés ou recouverts d'une géomembrane, plus ou moins chargés en sédiments (amoncellement de boues) et parfois même en végétation (photo 3). Ils sont alimentés à leur amont par une ou plusieurs entrées busées. À l'aval, un ouvrage contrôle la vidange du bassin (figure 1).

Ce système de sortie (figure 1) est un siphon constitué de trois orifices protégés contre les objets flottants par des grilles. Une surverse de sécurité complète le dispositif. Il transforme ainsi un bassin en décanteur capable de piéger des polluants. La cote de l'orifice intermédiaire assure un volume mort d'une hauteur de 40 à 50 cm, permettant de bloquer les particules lourdes

▼ Photo 1 – Bassin de Vienne avec la passerelle d'instrumentation, juillet 2002.



qui se déposent au fond. Dès que le niveau est supérieur à cette cote, les particules légères aussi sont bloquées et restent en surface. Seules les particules miscibles sont entraînées vers la sortie dès que le niveau d'eau dans le bassin atteint la cote du volume mort.

### Le plan d'expérience

Rappelons que notre objectif est de connaître le temps de transfert minimum pour un polluant

▼ Photo 2 – Bassin de Bédarrides avec les sédiments restant, mai 2003.

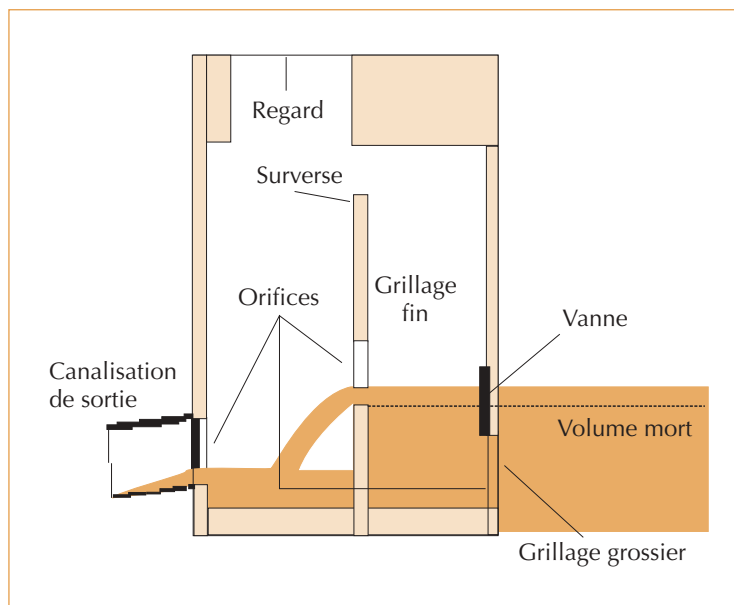


▼ Photo 3 – Bassin de Bédarrides, exemple de végétation, juillet 2002.



miscible en fonction des caractéristiques du bassin : coefficient de forme (rapport longueur sur largeur), état du bassin (présence ou non de sédiments et de végétation) et en fonction des débits d'entrée (chronique d'une pluie) et de sortie. Nous avons mis en place un plan d'expérience pour acquérir des données expérimentales, suffisantes en quantité et en qualité, pour caler, par la suite, le modèle numérique capable d'évaluer le temps de transfert dans de multiples conditions. On construira ainsi, à terme, l'outil de dimensionnement sous la forme d'un abaque d'utilisation simple et automatique, qui permettra d'évaluer des modifications sur les bassins existants dans le but d'augmenter les temps de transfert et de définir des règles de construction pour les bassins à venir. Les expériences ont pour objectif de caractériser les paramètres qui vont influencer l'écoulement, et de quantifier leurs effets dans différentes configurations. En particulier, nous voulons déterminer le temps de transfert d'un polluant simulé par une solution colorée. Nous avons besoin, entre autres, de suivre les débits et les vitesses d'écoulement.

Le scénario d'une expérience consiste à simuler le déversement sur la chaussée du chargement d'un camion-citerne par temps de pluie. Pour ce faire, un mélange de solution colorée et d'eau est réalisé dans une citerne puis relâché dans la conduite d'amenée du bassin. La pluie, quant à elle, est simulée par un apport d'eau supplémentaire. L'expérience se termine quand le bassin retrouve son état initial. Deux expériences sont réalisées à chaque mise en situation pour un même bassin, afin de tester des modifications d'aménagement susceptibles de ralentir l'écoulement. Pour chaque expérience, un traceur différent a été utilisé : d'abord la fluorescéine – de couleur verte, puis la rhodamine B – de couleur rouge. Ces deux colorants sont tout à fait miscibles à l'eau et la couleur de la rhodamine permet de bien la distinguer de la fluorescéine. Ainsi par exemple, sur l'un des bassins, pour connaître l'effet de la dispersion du jet d'entrée sur le temps de transfert, la seconde expérience est conduite avec une plaque trouée, fixée devant l'orifice d'entrée. Sur l'autre bassin, qui comporte une végétation importante, nous souhaitons voir l'effet de celle-ci sur l'écoulement. L'aménagement du bassin (coupe de la végétation) ne pouvant précéder immédiatement les expériences, nous en avons réalisé deux avec la même configuration de végétation, mais avec des chroniques de pluie différentes.



### Les sites expérimentaux et l'acquisition des mesures

Le choix s'est porté sur des bassins représentatifs du réseau autoroutier français et capables d'accueillir le matériel expérimental. Les bassins de Vienne (38) et de Bédarrides (84) situés sur l'autoroute A7 ont été sélectionnés.

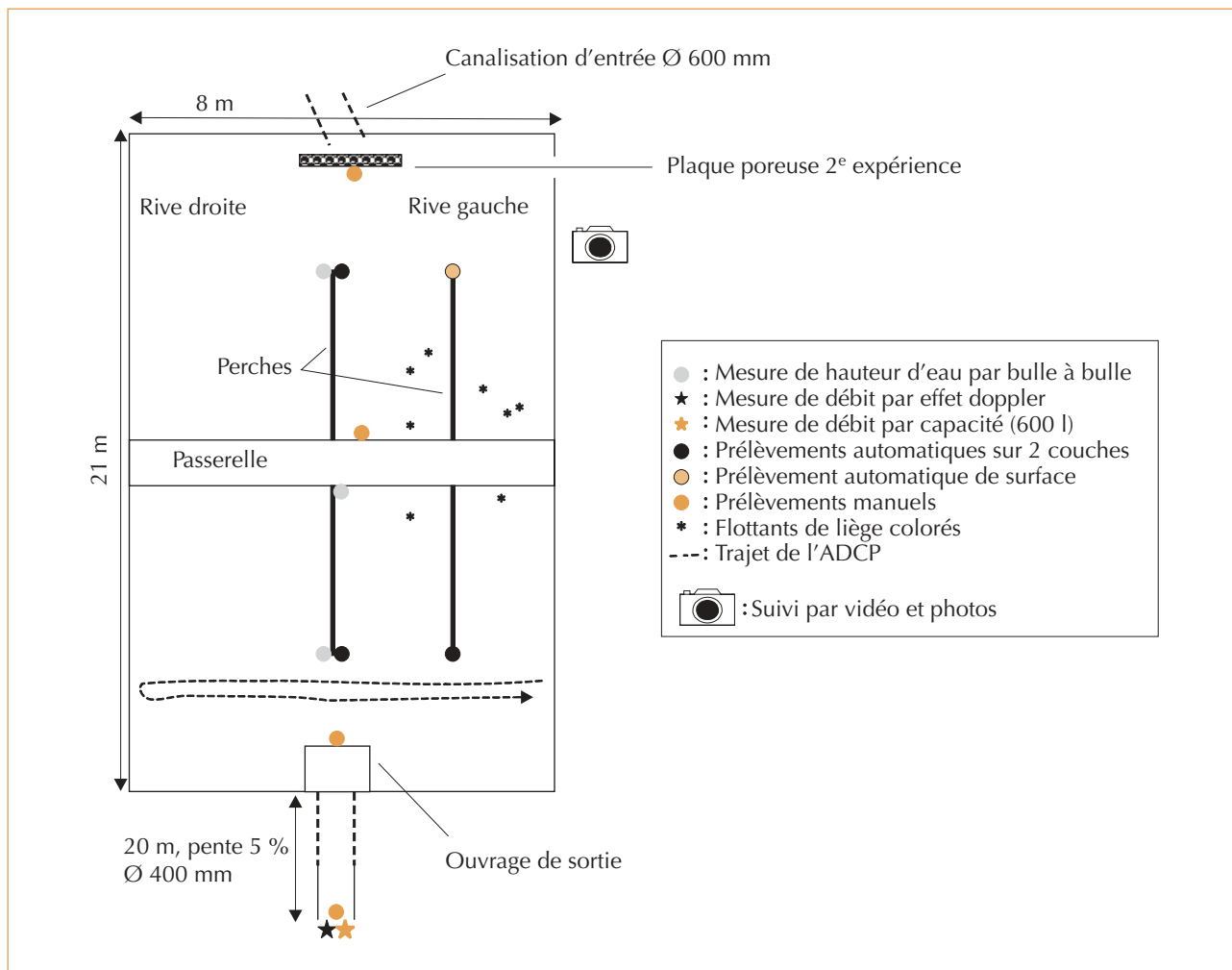
### La configuration du bassin de Vienne

Le bassin de Vienne (photo 1) se situe sur l'autoroute A7, au niveau de la gare de péage de Vienne-Reventin. C'est un bassin de forme rectangulaire et de section trapézoïdale. Comme il est bétonné, nous avons pu y installer une passerelle métallique sur laquelle sont fixées des perches (profilées d'aluminium) servant de support à l'instrumentation. La particularité de ce bassin est que l'axe de sa conduite d'entrée a un angle. Un terrain en pente conduit les fluides rejetés dans un cours d'eau en contre-bas.

### ACHEMINEMENT DE L'EAU COLORÉE DANS LE BASSIN

Une quantité de colorant est mélangée à de l'eau dans une citerne de 28 m<sup>3</sup>. Des tuyaux souples (de type « pompier ») acheminent le mélange de la citerne à l'extrémité amont de la canalisation d'entrée du bassin (figure 2, page 68). La pluie est simulée par le remplissage préalable du bassin et sa mise en mouvement par l'ouverture de la vanne de sortie.

▲ Figure 1 – Schéma du système de sortie d'un bassin.



▲ Figure 2 – Emplacement des points de mesures au niveau du bassin de Vienne.

### La configuration du bassin de Bédarrides

Le bassin de Bédarrides (photo 2, page 66) se situe à proximité immédiate de l'Ouvèze, à l'endroit où l'autoroute franchit la rivière. La proximité de cette rivière permet l'alimentation en continu du bassin. Il est en forme de « haricot », de section trapézoïdale et recouvert d'une géomembrane. Une couche sédimentaire dense pourvue d'une végétation variée (photo 3, page 66) nous a permis d'enfoncer des piquets pour le support de l'instrumentation sans percer la géomembrane. La canalisation de sortie débouche sur l'Ouvèze. Le plan de l'instrumentation est schématisé dans la figure 3.

#### ACHEMINEMENT DE L'EAU COLORÉE DANS LE BASSIN

Une fosse étanche donnant sur la canalisation d'entrée du bassin (« bassine de mélange »)

permet de réaliser un mélange homogène de la solution colorée (citerne de 17 m<sup>3</sup>) avec la pluie simulée par un pompage dans l'Ouvèze. L'injection dans le bassin de rétention s'effectue par le trop plein de la bassine.

### Les mesures expérimentales

Les principales mesures réalisées concernent les hauteurs d'eau, les débits, les concentrations et les vitesses, dans le but de suivre la progression du traceur. Le protocole expérimental, mis en place par les différents partenaires, diffère sensiblement selon la configuration du site qui accueille les instruments.

#### LA MESURE DES HAUTEURS D'EAU

Afin de connaître l'évolution du plan d'eau et du volume stocké, nous avons positionné des capteurs de pression bulle à bulle comme indiqué



sur les figures 2 et 3. Les stations d'acquisition qui leur sont associées enregistrent les données toutes les minutes. Le principe de fonctionnement et les conditions d'utilisation sont décrits dans Benoist *et al.* (2002). L'orifice de sortie du bulle à bulle est calé par une mesure manuelle en début d'expérience.

#### LA MESURE DES DÉBITS

Les instruments sont utilisés conformément à la norme NF X10-311 (1983) relative à la mesure de débit de l'eau dans les canaux découverts au moyen de déversoirs en mince paroi.

#### Débit amont

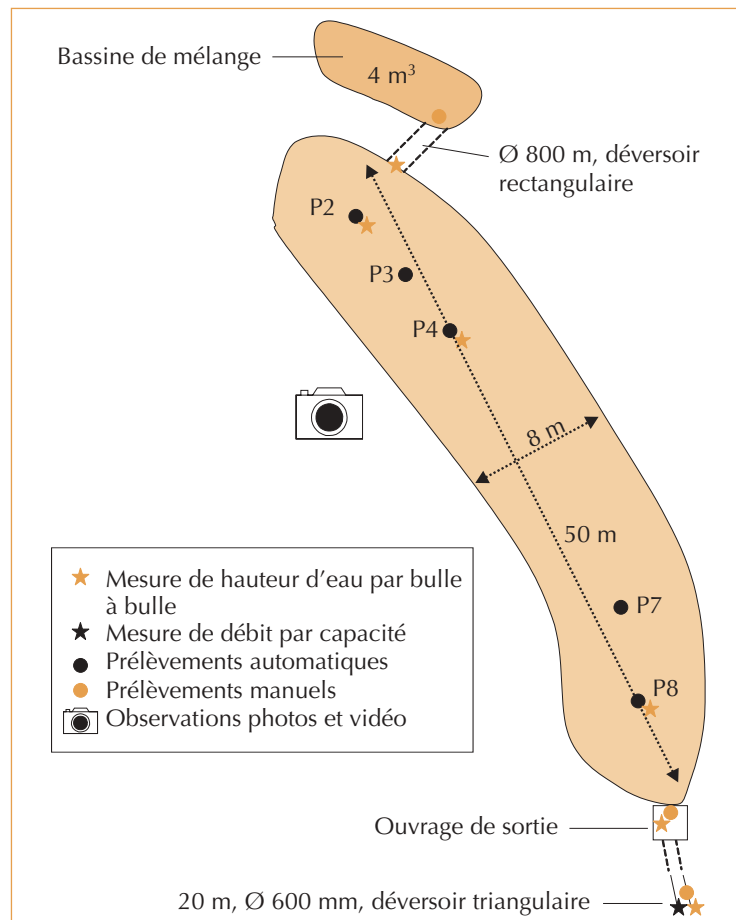
À Vienne, l'eau entrant dans le bassin provient uniquement de la citerne. Le débit entrant est déduit de la durée de vidange de la citerne. Toutefois, nous voulions confirmer cette estimation par une mesure directe du débit dans la canalisation d'entrée. Cependant, sa pente étant trop forte, il était impossible d'utiliser un déversoir de mesure. De même l'utilisation d'un capteur hauteur-vitesse utilisant l'effet Doppler (Benoist *et al.*, 2002) s'est révélée inadaptée.

À Bédarrides, le débit entrant dans le bassin se compose du débit issu de la vidange de la citerne et du débit des pompes qui simulent la pluie. Ce dernier débit est mesuré par un débitmètre électromagnétique placé juste après le raccord des pompes. Son fonctionnement est basé sur le principe de Faraday : l'eau, fluide conducteur, produit une tension induite proportionnelle à la vitesse de l'écoulement en se déplaçant dans le champ magnétique généré par l'appareil.

Le débit entrant dans le bassin (citerne + pompes) est enregistré en continu avec un déversoir rectangulaire à contraction latérale, associé à un capteur bulle à bulle pour la mesure du niveau amont.

#### Débit aval

À Vienne, le débit aval est mesuré avec un capteur hauteur-vitesse à effet Doppler. Pour confirmation, cette méthode est doublée par une méthode de mesure par capacité, dont le dispositif a été mis au point lors d'essais à Vienne en 2001 (Ribot-Bruno, 2001) : on mesure le temps de remplissage d'une cuve de volume connu ; le débit s'en déduit immédiatement par la relation  $Q = V/t$  où  $Q$  est le débit du bassin en L/s,  $V$  le volume de la cuve en litres et  $t$  le temps de remplissage en secondes.



Un demi-cylindre rétractable permet de diriger facilement le flot de sortie vers la cuve (photo 4A, page 70). À Bédarrides, cette méthode a été doublée par une mesure avec un déversoir triangulaire (photo 4B, page 70), associé à un capteur bulle à bulle pour la mesure du niveau amont.

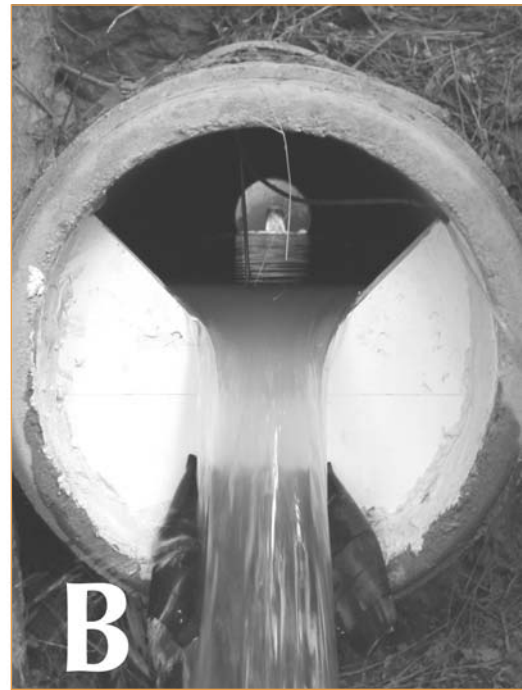
▲ Figure 3 – Emplacement des points de mesures – Bédarrides.

#### LA PROGRESSION DU NUAGE DE COLORANT

Vu la complexité de l'écoulement sous la surface de l'eau, nous avons estimé qu'une mesure des vitesses en 3D était nécessaire pour obtenir des résultats réalistes et permettre le calage du modèle numérique.

#### Mesures des concentrations

Afin de connaître l'avancement du nuage de colorant, nous avons opté pour des prélèvements dans le bassin à des positions et des instants précis (figures 2 et 3) au moyen de pompes péristaltiques. Le moteur de ces pompes (encadré 1, page 70) entraîne des galets qui, par écrasement d'un tube, permettent la circulation du liquide



▲ Photo 4 – La mesure de débit au niveau de la canalisation de sortie (A) par capacité et (B) avec le déversoir triangulaire – Bédarrides, mai 2003.

dans celui-ci. Les tubes sont placés à différentes cotes, calées par rapport à la mesure du capteur bulle à bulle. Ces prélèvements automatiques sont complétés par des prélèvements manuels en surface à l'aide d'une perche munie d'un socle à flacons. L'échantillonnage s'effectue selon la coloration du fluide (même fréquence que pour les relevés automatiques), en partie amont et aval et au milieu du bassin lorsque c'est possible (figures 2 et 3). Afin d'assurer la détection des premières traces de colorant, le prélèvement à l'aval du bassin est complété par un autre à l'extrémité de la canalisation de sortie, du côté du milieu naturel.

#### Encadré 1

Les pompes fonctionnent en continu durant toute l'expérience mais la fréquence des prises d'échantillons varie selon la position du nuage : toutes les 30 secondes quand le nuage s'approche du point de mesure, puis toutes les minutes, puis progressivement toutes les 3, 5 et enfin 10 minutes pendant le retour à l'état initial. Le débit de pompage est suffisamment faible devant l'écoulement pour ne pas perturber le milieu.

Le liquide est récupéré dans des flacons en plastique numérotés dont le contenu est analysé en laboratoire. Les méthodes de détermination de concentration en colorant sont la fluorimétrie ( $\lambda$  d'excitation : 470 nm ;  $\lambda$  d'émission : 510 nm) pour la fluorescéine et la spectrophotométrie à 555 nm ( $\lambda$  d'absorption) pour la rhodamine.

#### Mesure de vitesse par effet Doppler

Nous avons utilisé l'ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) qui permet d'acquérir rapidement un profil de vitesses 3D (encadré 2).

#### Encadré 2

Cet appareil nécessite une eau chargée en particules et l'absence de végétation. Il fonctionne dans un minimum de 30 cm d'eau mais il est encore peu utilisé dans ces conditions. Pour nous assurer de son bon fonctionnement, nous avons préféré nous imposer un minimum de 50 cm d'eau et pas de végétation, ce qui nous a limités au bassin de Vienne.

La technologie de l'ADCP est basée sur la propagation et la réflexion des ondes acoustiques envoyées sur des particules en suspension dans l'eau (effet Doppler). L'appareil utilise une série d'impulsions (formant un code) dont on mesure les variations de phase (Michel, 2001). La vitesse des particules est déduite de la différence de phase entre deux trains d'ondes. Pour la mesure, l'appareil et sa batterie sont fixés sur un flotteur (photo 5) et les transducteurs immergés émettent vers le bas. Connaissant la vitesse du son dans l'eau et le temps écoulé entre l'émission et la réception de l'écho, on obtient facilement la distance du transducteur au point de mesure. En découpant l'écho reçu selon des intervalles de temps égaux, on découpe la colonne d'eau en autant de « cellules » représentant chacune un point de mesure. Ainsi, la mesure est équivalente à la mesure de profils de vitesses locales par une chaîne de courantomètres ou de moulinets (Benoist *et al.*, 2002). Une série de mesure a permis d'estimer le champ des vitesses sur plusieurs sections.

#### Suivi visuel

Les méthodes d'observations viennent en appui des précédentes pour le suivi du nuage. D'une part, un observateur muni d'un chronomètre et d'un appareil photo numérique note la progression du nuage et les événements « importants », comme l'arrivée du colorant dans le bassin, la trace du colorant à un endroit précis, etc. D'autre part, la propagation du nuage en surface est filmée depuis une nacelle élévatrice. La prise de



▲ Photo 5 – Premier dispositif de flottaison de l'ADCP de la Diren de Franche-Comté – Vienne, juillet 2002.

vue englobe le nuage avec les repères métriques tracés sur les berges du bassin.

Toutes ces observations et mesures de concentrations et vitesses, permettent de reconstituer précisément la progression du nuage de colorant. Le jeu de données ainsi constitué est prêt pour tester des modèles numériques.

#### NOTES SUR LE MATÉRIEL

Le matériel choisi nous a donné satisfaction. Un capteur de pression bulle à bulle est un moyen de mesure simple d'utilisation et fiable dans nos conditions expérimentales. Les centrales d'acquisition sont d'utilisation aisée et permettent un enregistrement automatique en continu. Nous avons pu fabriquer une partie du matériel : les déversoirs (respectant les caractéristiques techniques de la norme NF X10-311) et les perches des prélèvements manuels. Des essais comparatifs en rivière, entre les mesures du courant avec un moulinet et avec l'ADCP, ont montré la rapidité et la fiabilité de ce dernier.

### Les résultats

#### Vienne : effet de l'éclatement du jet

Les éléments présentés ci-après concernent les expériences qui se sont déroulées à Vienne, en juillet 2002. L'arrivée d'eau dans le bassin se fait sous forme de jet. Quel est l'effet de la dispersion de ce jet sur la vitesse d'écoulement et sur le temps de transfert ?

Une première expérience est conduite avec de la fluorescéine puis une seconde avec de la rhodamine et une plaque trouée, fixée devant l'orifice d'entrée. Si un tel dispositif allongeait le temps de transfert, cela constituerait un aménagement simple pour des bassins analogues à celui de Vienne, évitant de coûteuses opérations de génie civil.

Remarque – Le bassin de Vienne présente une particularité : la conduite d'entrée est désaxée par rapport à l'axe longitudinal du bassin.

#### LES VOLUMES MIS EN JEU

Le bilan des volumes (tableau 1, page 72) montre une augmentation du volume stocké entre les deux expériences, ce qui suggère que la plaque trouée ait ralenti l'écoulement dans le bassin de sorte que le débit aval est plus faible ainsi que le volume sorti.

▼ Tableau 1 – Volumes mis en jeu – Vienne, juillet 2002.

Traceur	État initial du bassin – Surface moyenne du volume mort : 170 m <sup>2</sup>	Volume entré entre le début et la fin de l'injection	Volume sorti entre le début et la fin de l'injection	Volume stocké à la fin de l'injection
Fluorescéine	76 m <sup>3</sup>	28 m <sup>3</sup>	23 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>
Rhodamine	77 m <sup>3</sup>	28 m <sup>3</sup>	20 m <sup>3</sup>	8 m <sup>3</sup>

#### LA PROPAGATION DU NUAGE DE COLORANT ET LE TEMPS DE TRANSFERT

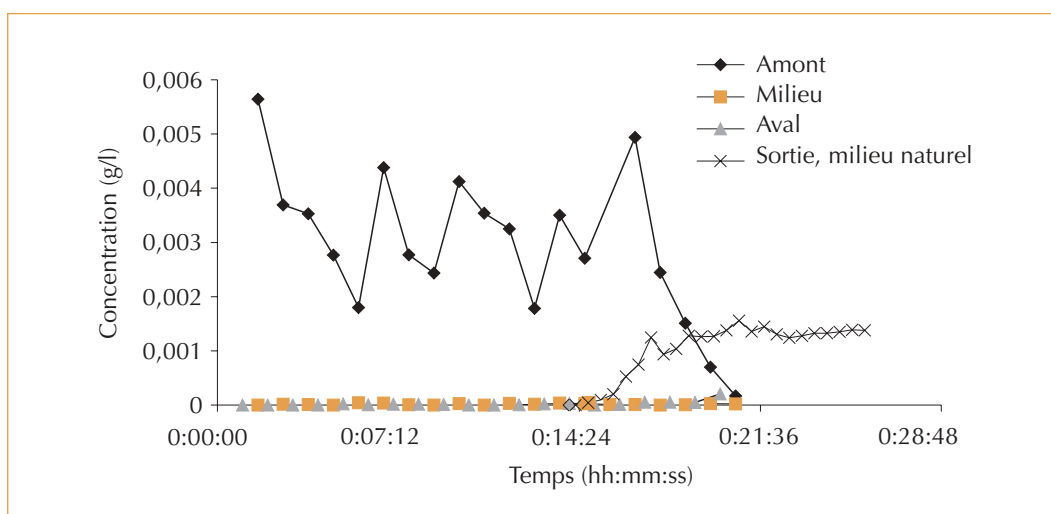
L'axe de la conduite d'entrée donne clairement une direction privilégiée au fluide dans la première expérience : le nuage se propage sur la gauche du bassin avec un retour vers la droite (photo 6A et figure 5A). Le mélange tend à s'homogénéiser

à la fin de l'expérience. La progression du nuage n'est pas constante sur toute la durée de transfert (plus rapide au début) et la vitesse estimée est de l'ordre de 6 cm/s pour l'observateur qui est en mesure de remarquer les traces et 4,5 cm/s pour la vidéo. On attribuera une vitesse moyenne de 5 cm/s à la propagation du nuage.

► Photo 6 – Répartition du nuage en surface (A) fluorescéine et (B) rhodamine – Vienne, juillet 2002.



► Figure 4 – Relevés manuels de concentration à la surface pour la rhodamine – Vienne, juillet 2002.





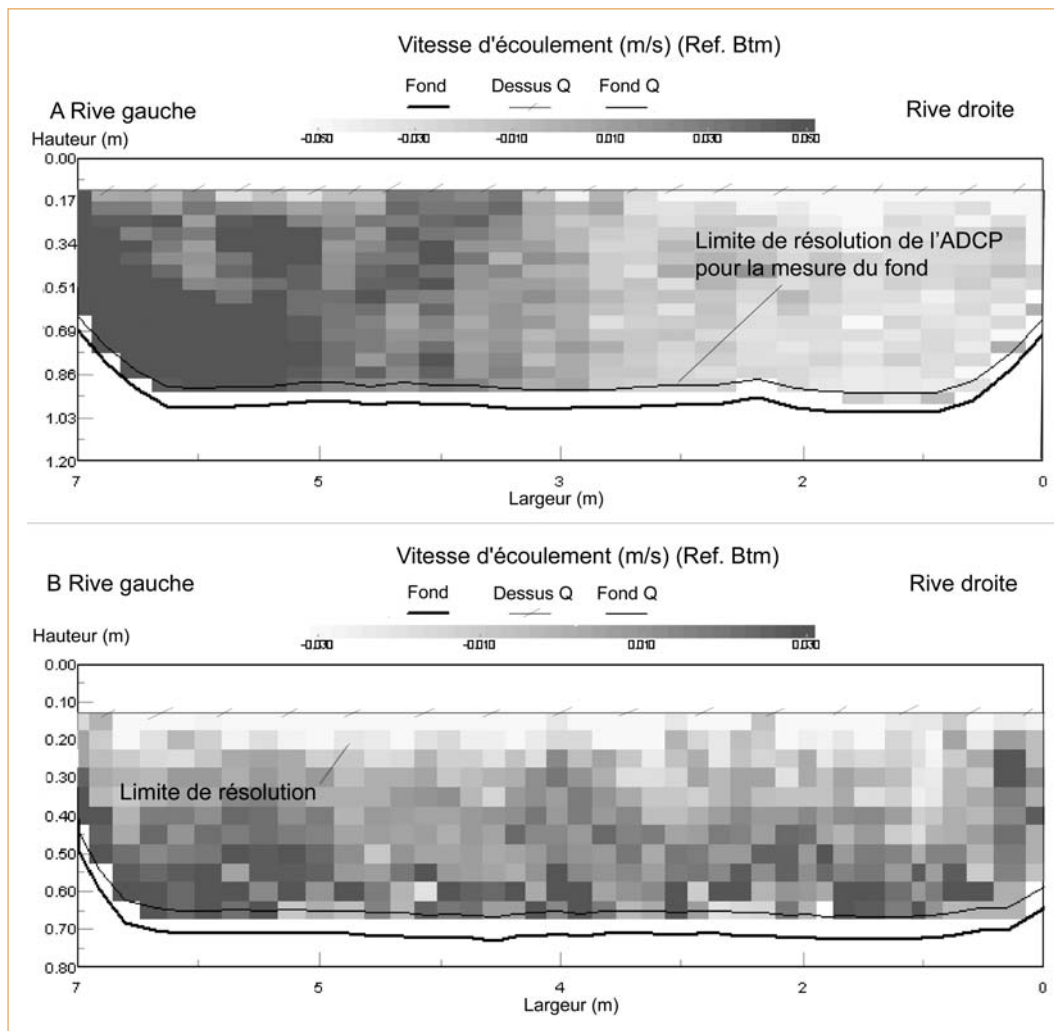
▼ Tableau 2 – Vitesses moyennes de surface et temps de transfert – Vienne, juillet 2002.

Propagation de surface	Vitesse moyenne de 0 à 8 m	Vitesse moyenne de 8 à 20 m	Vitesse moyenne	Temps d'arrivée au système de sortie	Temps d'arrivée dans le milieu naturel
Fluorescéine			5 cm/s	6'	6'50"
Rhodamine	10 cm/s	1,8 cm/s		11'	13'30"

Dans la deuxième expérience (photo 6B), nous observons que le colorant se propage par le fond du bassin avec un retour par la couche de surface, puisque nous détectons le colorant à la sortie, dans le milieu naturel, avant qu'il ne soit détecté au milieu ou à l'aval, en surface (figure 4). L'évolution des vitesses le confirme (figure 5B). La progression du nuage n'est pas constante (beaucoup plus rapide au début, tableau 2) et la vitesse estimée est légèrement différente entre

l'observateur et la vidéo. Notons la concentration relevée à l'amont en « dents de scie », ce qui suggère que notre tentative pour obtenir un mélange homogène en faisant rouler le camion ait échoué.

La plaque trouée a donc joué son rôle d'éclater le jet et permis une meilleure répartition du colorant sur la largeur du bassin (photo 6B), favorisant ainsi le ralentissement de l'écoulement (tableaux 1 et 2).



◀ Figure 5 – Répartition des vitesses d'écoulement mesurée par ADCP sur une section (A) 15 m pour la fluorescéine et (B) 19 m pour la rhodamine – Vienne, juillet 2002.

#### LES VITESSES D'ÉCOULEMENT SUR LA SECTION

La mesure automatique et directe de la vitesse par l'ADCP donne les vitesses dans une section verticale de l'écoulement.

En l'absence de la plaque, les vitesses d'écoulement sont de 5 cm/s sur les côtés (figure 5A, 10 minutes après le début de l'injection) puis s'homogénéisent rapidement : elles sont comprises entre 0 et 2,5 cm/s et majoritairement autour de + 1,8 cm/s. L'écoulement préférentiel côté rive gauche est largement mis en évidence par les profils récoltés pour cette première expérience. En présence de la plaque, les vitesses sont plus homogènes dès le début (0 à 3 cm/s, majoritairement autour de + 1,5 cm/s) puis sont privilégiés un écoulement par le fond et un retour par la surface, tous deux à environ 3 cm/s (figure 5B, 15 minutes après le début de l'injection). Les vitesses s'homogénéisent par la suite.

#### LE BILAN SUR VIENNE

La méthode de mesure par effet Doppler est validée en ce qui concerne les débits en réseaux d'assainissements et sur les déversoirs d'orage. Cependant, dans le cadre des expérimentations à Vienne, les conditions d'utilisation ne permettent pas de superposer les débits mesurés par capacité et ceux mesurés par effet Doppler.

La détermination du temps de transfert est cohérente entre toutes les méthodes de mesures : observations, vidéo et concentration. Il est de 5 à 6 minutes pour la première expérience et de 10 à 12 minutes pour la seconde avec le jet éclaté. Par ailleurs, les vitesses de propagation déduites de l'observation et des relevés de concentration sont cohérentes avec celles mesurées par l'ADCP. La conduite d'entrée désaxée provoque une propagation du nuage sur la gauche.

La plaque trouée a provoqué un écoulement particulier : mieux étalé sur la section du bassin et avec un temps de transfert deux fois plus important que pour le jet non modifié.

#### Bédarrides : essais de mai 2003, effet de la végétation

Le bassin de Bédarrides est de forme allongée (en forme de haricot, photo 3) et possède une végétation variée (roseaux, herbes, arbres : photo 2). Quel est l'effet de cette végétation sur l'écoulement ?

À titre d'illustration, les résultats présentés concernent les expériences des 20 et 21 mai 2003 où le bassin ne comportait que la couche de sédiments (végétation coupée). La végétation, si elle s'avérait efficace comme facteur de ralentissement de l'écoulement, constituerait un aménagement naturel des bassins pour améliorer leur bon fonctionnement. Les résultats de mai 2003 ont été comparés aux résultats de juillet 2002 et d'octobre 2002, où les expériences se sont déroulées respectivement, avec la végétation et une épaisse couche de sédiments puis avec la végétation seulement en partie amont du bassin tandis que la partie aval ne conservait que la couche de sédiments.

#### LES VOLUMES MIS EN JEU

Dans les deux expériences, la mesure automatique du débit aval par le déversoir triangulaire est confirmée par la mesure par capacité (figure 6). Les chutes de débit amont correspondent à des pannes des pompes. Le coefficient de perte de charge du déversoir amont est ajusté pour obtenir une bonne superposition avec les débits obtenus par le débitmètre électromagnétique.

La loi de la conservation de la masse implique qu'à la fin de chaque essai :  $V_{théorique} = V_{entré} = V_{sorti}$ . Le volume entré théorique est calculé à partir du débit « pompes + citerne ». Le volume entré est celui calculé à partir de la mesure du débit amont par le déversoir rectangulaire et le volume sorti, celui calculé à partir de la mesure du débit aval par le déversoir triangulaire (figure 7). Le débit d'entrée était deux fois plus important pour l'expérience avec la rhodamine que pour l'expérience avec la fluorescéine.

#### LA PROPAGATION DU NUAGE DE COLORANT ET LE TEMPS DE TRANSFERT

À partir des temps d'arrivée du traceur évalués par les mesures de concentration et confirmés par la vidéo et les observations, il est possible de tracer une courbe de la distance parcourue en fonction du temps (figure 8, page 76). La pente de chaque segment représente la vitesse du nuage.

Dans les deux cas, la vitesse de propagation du nuage (figure 8, page 76) est importante au début et faible pratiquement pour les  $\frac{3}{4}$  restants du bassin. On peut interpréter ce comportement en notant que le traceur n'utilise qu'une faible partie de la section du bassin pendant les 5 premières minutes (partie amont) pour ensuite s'étendre sur toute la section jusqu'à la fin de l'expérience.

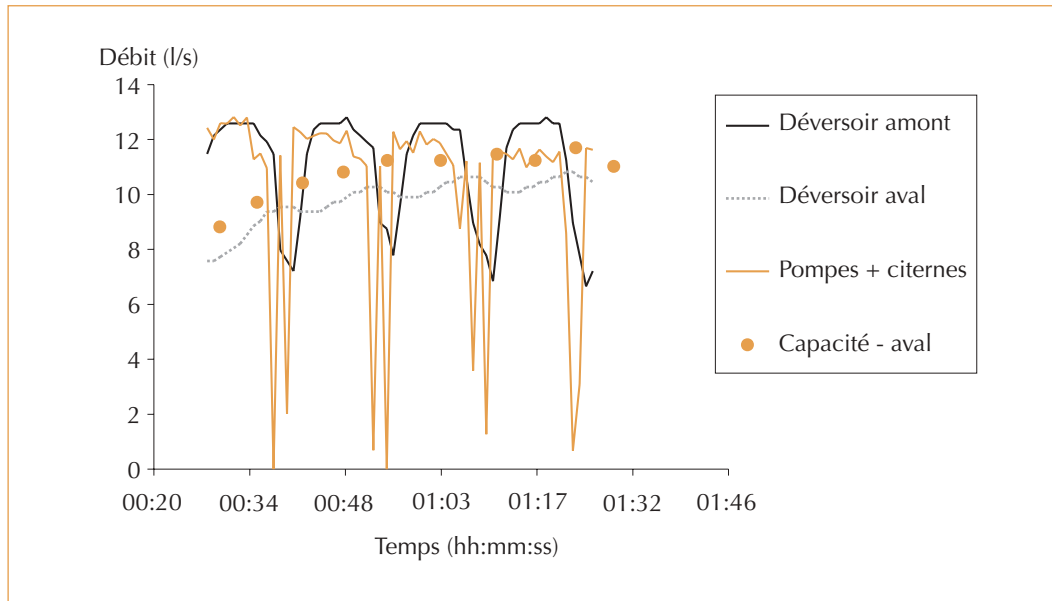


Figure 6 – Une partie de l'évolution des débits en fonction du temps, fluorescéine – Bédarrides, mai 2003.

Pour la fluorescéine, on remarque une accélération du traceur entre  $P_8$  (figures 3 et 8) et l'organe de sortie due à une forte diminution de la section. Le colorant atteint l'aval du bassin 48 minutes après l'injection.

Pour la rhodamine, le colorant est détecté en  $P_8$  36 minutes après l'injection pour la « couche du milieu » et 40 minutes après l'injection pour la « couche profonde », et ce, plus tard qu'à l'aval – 33 minutes après l'injection. Les traces de colorant se sont propagées à la surface de l'eau (comme le montrent la vidéo et les photos) ou dans une sous-couche supérieure.

#### ESTIMATION DE LA SURFACE LIBRE DU BASSIN (AU VOLUME MORT)

En se plaçant entre les temps  $t$  et  $[t + dt]$ , on peut écrire le volume d'eau stocké dans le bassin comme étant la différence entre le volume entré entre  $t$  et  $[t + dt]$  ainsi que le volume sorti pendant le même intervalle de temps :  $V_{\text{stocké}} = Q_{\text{entrée}}(t)dt - Q_{\text{sortie}}(t)dt$ .  $V_{\text{stocké}}$  est la quantité stockée (en  $m^3$ ) de la figure 7.

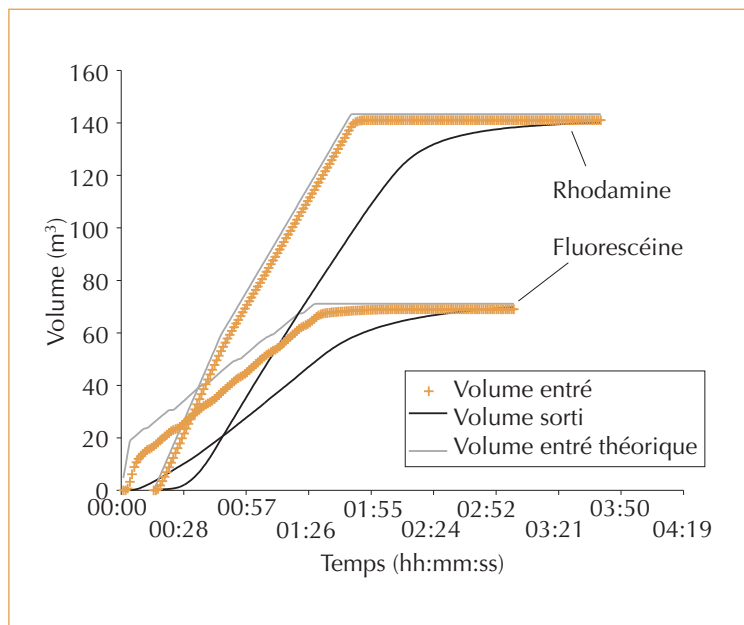
D'autre part,  $V_{\text{stocké}} = S(t + dt)h(t + dt) - S(t)h(t)$ , en l'écrivant comme la différence du volume à  $[t + dt]$  et du volume à  $t$ ,  $S$  étant la surface.

Si on considère la surface  $S$  (surface libre) constante, et en notant  $dh = h(t + dt) - h(t)$ ,  $Q_{\text{entrée}}(t)dt - Q_{\text{sortie}}(t)dt = Sdh$ . À partir des données expérimentales, on peut alors tracer

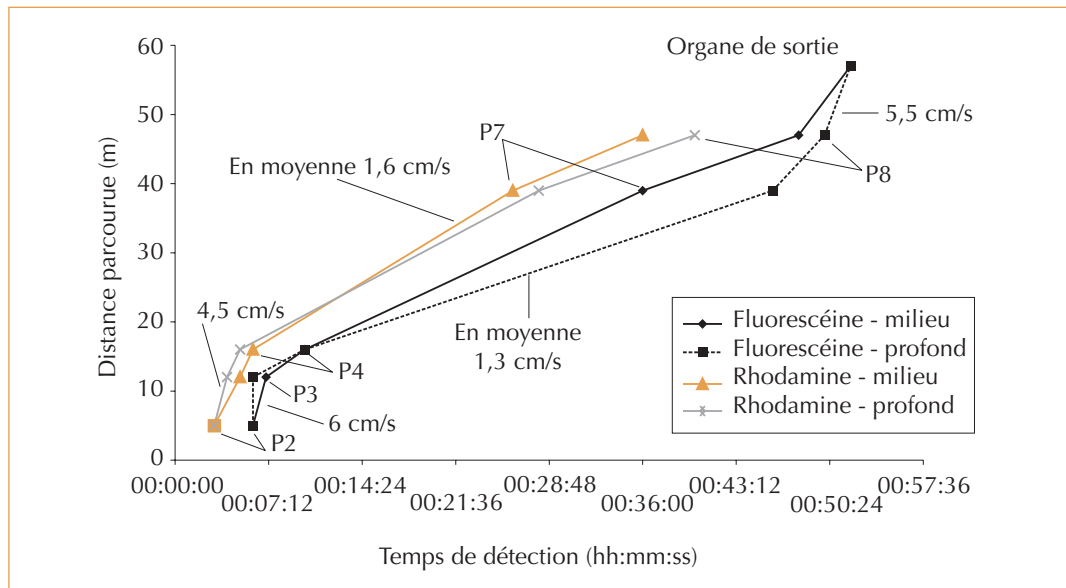
$Q_{\text{entrée}}(t)dt - Q_{\text{sortie}}(t)dt$  en fonction de  $dh$ , le résultat attendu étant alors une droite, dont la pente est la surface du bassin.

Le graphe de la figure 9 (page 76) reprend les résultats obtenus en mai. On peut réaliser plusieurs calculs différents (avec  $dt = 5$  minutes et  $dt = 10$  minutes, par exemple) afin d'améliorer la précision et d'augmenter le nombre de points.

Figure 7 – Bilan des masses d'eau – Bédarrides, mai 2003.



► Figure 8 – Évolution de la vitesse de propagation du nuage – Bédarrides, mai 1983.



Chaque série de point se rapproche d'une droite, dont la pente est la surface en  $m^2$  du bassin. En moyenne, on trouve une surface de  $354 m^2$ . Les calculs vérifient bien que la surface augmente en même temps que la hauteur d'eau dans le bassin, puis retrouve la valeur de celle du volume mort à la fin de l'expérience. Les données topographiques conduisent à une surface libre du volume mort de  $347 m^2$ .

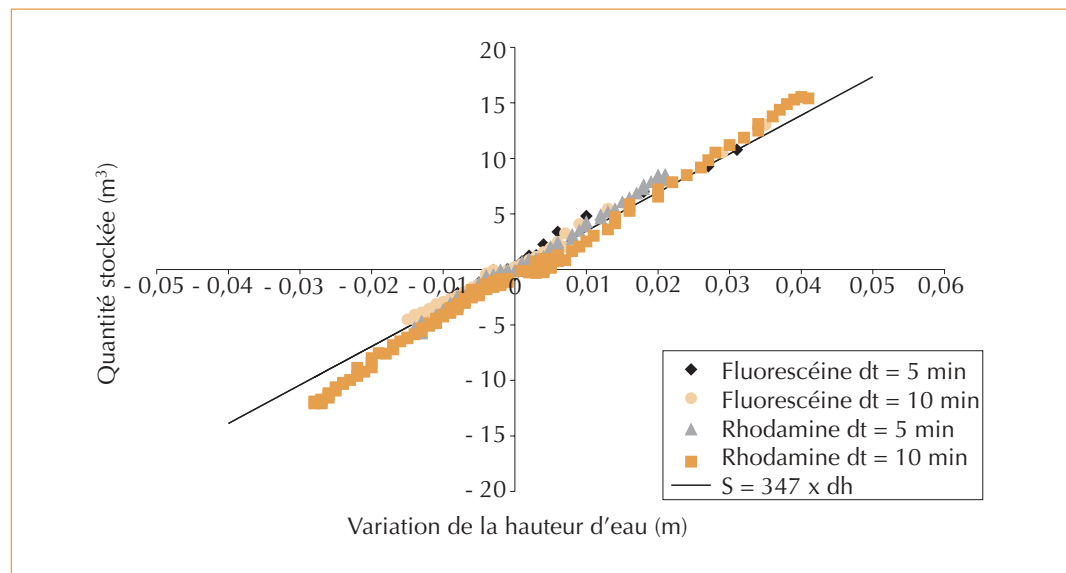
Ces résultats constituent une confirmation des valeurs de débit et de hauteur d'eau obtenues lors de l'expérimentation à Bédarrides en mai 2003.

#### LE BILAN SUR BÉDARRIDES

Les mesures de débits avec la méthode des déversoirs sont confirmées par celles avec la méthode par capacité. La détermination du temps de transfert est cohérente entre toutes les méthodes de mesures : observations, vidéo et concentration.

Selon la chronique de pluie imposée et la présence ou non de végétation, la comparaison des expériences nous a permis de tirer les premières conclusions quant au « pouvoir » de ralentissement de la végétation dans le bassin :

► Figure 9 – Estimation de la surface libre du volume mort du bassin – Bédarrides, mai 2003.





- elle permet une bonne répartition verticale du colorant et une lente répartition horizontale tant que le mélange se propage à l'intérieur ;
- la coupe de végétation et l'installation de déflecteurs lors des expériences d'octobre 2002 (temps de transfert : 1 h 30) ont permis un changement de section entre la partie végétation et la partie libre, ce qui a provoqué un ralentissement notable de la propagation du colorant par rapport aux expériences de juillet 2002 (temps de transfert : 1 h) ;
- si elle n'est pas homogène sur la largeur, c'est-à-dire que les berges sont libres, des écoulements préférentiels apparaissent le long de ces berges.

En mai 2003, le vent (plus fort lors de l'expérience sans végétation que les autres fois) soufflait dans le sens contraire à l'écoulement et n'a eu d'influence que sur la couche superficielle de l'eau. En effet, les flottants légers étaient repoussés vers l'amont et le colorant poursuivait son chemin alors que les rafales de vent provoquaient des rides importantes à la surface de l'eau.

### Conclusion : bilan et perspectives

Les méthodes de mesures ont été choisies sur les critères suivants :

- méthodes éprouvées et validées par ailleurs,
- nouvelles possibilités offertes par la technologie ADCP : mesure 3D des vitesses en milieu naturel,
- simplicité d'installation, d'utilisation et de collecte des données,
- coûts de location ou d'achat les plus faibles possible.

Les expériences montrent qu'une bonne répartition du fluide sur toute la largeur dès l'amont du bassin donne un temps de transfert plus long que si l'aménagement du bassin permet des écoulements préférentiels. En effet, la plaque

trouée devant la conduite désaxée à Vienne et la végétation naturelle bien répartie sur la largeur du bassin, présente en partie amont à Bédarrides, ont prouvé leur efficacité. Il résulte néanmoins que les temps de transfert mesurés dans les bassins de Bédarrides sans végétation et de Vienne peuvent être différents des délais d'intervention retenus initialement.

Prochainement, une expérience sur le bassin de Bédarrides sans sédiments montrera l'effet du volume mort sur l'écoulement.

Les acquisitions de toutes ces données réelles seront les paramètres d'entrée d'un modèle numérique construit sous Fluent® (logiciel de mécanique des fluides qui résout les équations de Navier-Stokes [Fluent6, 2001]). D'ores et déjà, des simulations numériques 2D du bassin de Vienne montrent des différences importantes avec l'expérience (Farabet *et al.*, 2003), confirmant la nécessité de construire un modèle numérique 3D et donc de réaliser des mesures expérimentales 3D pour le valider. Les premiers résultats, relativement sommaires en 3D sur Vienne, avec un jet d'entrée défini d'après les observations du 4 juillet 2002 avec la fluorescéine (abscisse d'impact du jet, soumis à la gravité... sauf l'orientation pour cause de symétrie axiale dans la modélisation) sont prometteurs pour les essais suivants : le temps de transfert d'un polluant entre l'entrée du bassin et son exutoire est de 5 minutes, ce qui est proche des 6 minutes observées *in situ*.

En parallèle, nous regardons l'influence du maillage et l'influence des critères de convergence sur les résultats de calculs en régime permanent.

Une fois le modèle construit, les simulations numériques remplaceront les expériences longues et lourdes à organiser et réaliser. Elles permettront, par exemple, de tester l'effet d'aménagements compliqués à réaliser sur le terrain comme la disposition de chicanes, la plantation de végétation aux densités différentes, etc., sur des géométries de bassins différentes. □

---

### Remerciements

Ce travail de terrain n'aurait pu être réalisé sans l'aide précieuse de l'équipe « Métrologie » de l'UR HHLV : Guillaume Dramais, Shamsidine Sébéa, Céline Boudard, José Ribot-Bruno et Jérémy Jouan (stagiaire au Cemagref de Lyon), Marc Despréaux d'ASF, Jacques Hurtevent et Frédéric Pons du Cete d'Aix-en-Provence.

Nous tenons aussi à remercier Jean-Marie Ruotolo, Gilles Simonin et Alain Gauthier de l'équipe « Hydrométrie, hydrologie et prévisions » de la Diren de Franche-Comté.

### Résumé

Les bassins de rétention collectent les effluents autoroutiers naturels, ainsi que les polluants déversés accidentellement sur la chaussée. L'article relate une étude expérimentale de la propagation d'un polluant miscible selon les caractéristiques du bassin : forme, végétation, jet d'entrée, etc. Les données collectées serviront à caler un modèle numérique utilisé comme maquette pour la construction d'un abaque de dimensionnement, l'objectif étant d'allonger le temps de transfert au-delà des délais d'intervention en cas d'incident. Nous décrivons d'abord la méthode expérimentale : mesures des hauteurs d'eau, débits, concentrations et vitesses. La seconde partie donne quelques résultats. Il ressort qu'une grille devant le jet d'entrée ou qu'une bonne répartition de la végétation permettent, selon les cas, de ralentir l'écoulement. Les premiers essais du modèle numérique donnent un temps de transfert comparable au temps mesuré.

### Abstract

Reservoirs collect natural motorway wastes and pollutants from accidental spills as well. The article is reporting an experimental study about a miscible pollutant transfer according to the reservoir characteristics : shape, vegetation, inlet jet, etc. The collected data will enable to calibrate a numerical model used as a model to build a gauging chart, in order to make the time transfer longer than the current time limit to come to the place where accident occurs. We first describe the experimental method : water level, flow, concentration and speed measurements. The second part gives some results. According to the reservoir, we deduced that a plate with holes in front of the inlet jet or a good distribution of the vegetation could reduce speed flow. The first numerical tests give a time transfer comparable to the measured time.

### Bibliographie

- NF X 10-311, 1983, *Mesure de débit de l'eau dans les canaux découverts au moyen de déversoirs en mince paro.*, AFNOR, Paris (France), 37 p.
- BENOIST, J.-C., BIRGAND, F., 2002, Les dispositifs de mesure des débits dans les bassins versants agricoles, *Ingénieries EAT*, vol. n° 32, p. 51-63.
- FARABET, P. ; GIRAUDO, T., 2003, *Projet de fin d'études – Estimation du temps de transit d'un polluant dans un bassin de rétention*, Insa, Lyon (France, 69), 116 p.
- Fluent6, 2001, *Résolution des équations de Navier-Stokes en 3D en turbulence, combustion, multiphasique, instationnaire*, www.fluent.com, Fluent Inc., Paris.
- MICHEL, L., 2001, *Document de stage de formation à l'utilisation d'un profileur de courant à effet Doppler – Généralités*, RD Instruments, La Gaude (France, 06), 17 p.
- RIBOT-BRUNO, J., 2001, *Rapport expérimental sur le bassin de rétention autoroutier ASF de Vienne (38)*, Cemagref, Lyon (France, 69), 14 p.
- Setra, avril 1980, *Protection des eaux contre la pollution d'origine routière – Catalogue de dispositifs d'interception et de traitement*, note d'information.
- JORDANA, N., à paraître, *Protocoles et mesures expérimentales – Bassins de rétention autoroutiers*, Cemagref, Lyon (France, 69).