

Amélioration potentielle de la gestion des effluents de temps de pluie grâce à des mesures de turbidité

■ C. LACOUR¹, C. JOANNIS², G. CHEBBO¹

Mots-clés : courbes M(V), gestion de temps de pluie, gestion en temps réel, réseau unitaire, turbidité
Keywords: M(V) curves, wet weather management, real time control, combined sewer, turbidity

Introduction

Depuis les années 1970, l'impact négatif des rejets urbains de temps de pluie (RUTP) sur l'environnement a été montré par de nombreuses études [EVEN *et al.*, 2004 ; GROMAIRE *et al.*, 2001]. Par ailleurs, la législation s'est renforcée, notamment avec la directive cadre sur l'eau de 2000 qui impose un retour des milieux aquatiques au « bon état écologique » d'ici 2015 [WFD, 2000]. Par conséquent, les stratégies de gestion des réseaux d'assainissement doivent évoluer en intégrant des critères qualitatifs, en plus des seuls critères hydrauliques, notamment dans des processus de gestion automatisée. Une des alternatives possibles pourrait être d'utiliser des modèles de qualité. Or, jusqu'à présent, les modèles de qualité se sont révélés très peu prédictifs en raison du manque de données de calage disponibles, mais également à cause de la complexité des phénomènes mis en jeu, eux-mêmes difficiles à décrire à partir de bases de données souvent bien trop réduites [KANSO *et al.*, 2005].

Dans ce contexte, de récentes études ont montré la possibilité d'utiliser des mesures en continu de turbidité pour contrôler la qualité des effluents [AUMOND et JOANNIS, 2005 ; HENCKENS *et al.*, 2002 ; JOANNIS *et al.*, 2007 ; LANGEVELD *et al.*, 2005]. Le suivi de protocoles rigoureux garantit l'obtention de données de turbidité fiables et précises, aussi bien en laboratoire qu'*in situ* [JOANNIS *et al.*, 2007 ; RUBAN *et al.*, 2006], à des pas de temps très

fins, de l'ordre de la minute. De plus, la turbidité est reconnue comme étant un bon estimateur de la concentration en matières en suspension (MES) dans les réseaux d'assainissement [DELETIC et MAKSIMOVIC, 1998 ; MARÉCHAL, 2000], et les MES s'avèrent justement être le principal vecteur de la pollution dans les réseaux [CHEBBO *et al.*, 1995]. Dans le présent travail, la turbidité sera donc directement utilisée comme indicateur de la concentration en MES. L'objectif est d'analyser des chroniques de turbidité au cours d'événements pluvieux en relation avec les caractéristiques de ces derniers, afin de démontrer l'intérêt potentiel de l'utilisation de la turbidité pour la gestion automatisée des flux dans les réseaux d'assainissement. Il s'agit plus particulièrement de mettre en valeur le supplément d'information apporté par la turbidité par rapport aux seules informations hydrauliques et pluviométriques. Autrement dit, l'accent est porté sur l'intérêt de disposer d'une mesure en continu des concentrations, plutôt que de fonder une stratégie de gestion sur un modèle trivial (concentration constante) ou simple (évaluation de concentrations à partir du débit et/ou des caractéristiques de l'événement pluvieux).

1. Méthodologie

1.1. Gestion en temps réel et qualité

Le projet vise à mettre en évidence la forte variabilité interévénementielle de la dynamique de turbidité qui ne peut pas être déduite de la dynamique du débit. Cette information supplémentaire sur la qualité pourrait alors potentiellement être utilisée dans des applications de gestion en temps réel (GTR) qui orienteraient les flux vers la structure la plus adaptée

¹ Université Paris-Est - Cereve - UMR-MA 102 - AgroParisTech - 6-8, avenue Blaise-Pascal - Cité Descartes - 77455 Champs-sur-Marne cedex 2. E-mails : celine.lacour@cereve.enpc.fr, chebbo@cereve.enpc.fr

² Division eau & environnement - LCPC - route de Bouaye - BP 4129 - 44341 Bouguenais cedex. E-mail : claude.joannis@lcpc.fr

(bassin de décantation, station d'épuration, etc.) ou vers le milieu naturel en fonction du niveau de turbidité de l'effluent. Par exemple, si les limites de capacités de stockage sont presque atteintes, les effluents suffisamment dilués peuvent être directement envoyés vers le milieu récepteur et libérer ainsi de la place pour des flux plus pollués [GRÜNING *et al.*, 2002 ; KLEPISZEWSKI, 2005]. De la même façon, si une structure de capacité limitée reçoit deux apports distincts d'effluents, la turbidité peut permettre de choisir de traiter en priorité le flux le plus pollué [GOGIEN *et al.*, 2004].

1.2. Description des sites et des équipements

Ce projet de recherche a lieu dans le cadre du programme « Observatoire des polluants urbains en Île-de-France » (OPUR) qui traite différentes thématiques relatives à la génération, au transport et au traitement des flux polluants de temps de pluie en milieu urbain. Dans ce cadre, deux sites expérimentaux du réseau unitaire de Paris (« Quais » et « Clichy ») ont été chacun équipés de deux turbidimètres (mesures redondantes en atténuation dans l'infrarouge à 880 nm) et d'un conductimètre, en plus des débitmètres équipant déjà chacun des deux sites (*figures 1 et 2*). Les turbidimètres ont été étalonnés en laboratoire avec de la formazine, selon un protocole détaillé et validé [JOANNIS *et al.*, 2007 ; RUBAN *et al.*, 2006]. Les cellules optiques des turbidimètres sont automatiquement nettoyées toutes les 15 minutes. De plus, une maintenance manuelle est effectuée toutes les deux semaines et permet également la vérification du 0 et du point haut de la gamme d'étalonnage pour contrôler une éventuelle dérive. Sur chacun des sites, le signal final de turbidité est obtenu par validation croisée des deux signaux redondants en sélectionnant les couples de valeurs statistiquement concordants. La différence entre les valeurs brutes de chacun des

signaux est étudiée et comparée à un seuil permettant de conserver 95 % des couples entiers de valeurs. Selon la valeur de cette différence, on conserve la moyenne des signaux bruts ou bien le minimum des deux valeurs. L'ensemble de ce protocole garantit la fiabilité et la précision des signaux. La turbidité, la conductivité et le débit ont été suivis en continu du 1^{er} décembre 2005 au 31 décembre 2006, ce qui représente 88 événements pluvieux pour le site des Quais et 83 pour celui de Clichy. Les principales caractéristiques des sites figurent dans le *tableau I*.

En temps sec, le signal de turbidité suit un cycle synchrone au signal de débit. Le niveau de turbidité varie ainsi de 80 à 350 FAU (*formazin attenuation unit*) au cours de la journée, pour une variation de 0,5 à 1,0 m³/s du débit sur le site des Quais et pour une variation de débit de 1,8 à 3,3 m³/s à Clichy (*figure 1*). En temps de pluie, le débit des Quais peut atteindre 4 m³/s et celui de Clichy 20 m³/s. Le niveau des pics de turbidité par temps de pluie est très variable et peut atteindre jusqu'à 1 200 FAU. Enfin, la conductivité est stable à environ 1 000 µS/cm par temps sec, mais peut chuter à 200 µS/cm par temps de pluie (*figures 1 et 2*).

1.3. Caractéristiques des événements pluvieux

La délimitation des événements pluvieux s'est appuyée sur les signaux de débit et de conductivité (*figure 2*). En effet, le début de l'événement est signalé par la brusque augmentation du débit, simultanée à une chute brutale de conductivité (elle-même due à la présence d'eau de pluie dans les effluents) ; la fin est le retour au niveau de débit de temps sec. Le temps sec est caractérisé à partir d'une chronique fictive annuelle de temps sec pour laquelle toutes les journées de pluie ont été remplacées par la journée de temps sec la plus proche. Pour chaque événement,

Bassins versants	Quais	Clichy
Surface (ha)	402	942
Coefficient de ruissellement	0,64	0,68
Débit moyen journalier (m ³ /s)	0,7	2,4

Tableau I. Principales caractéristiques des sites étudiés

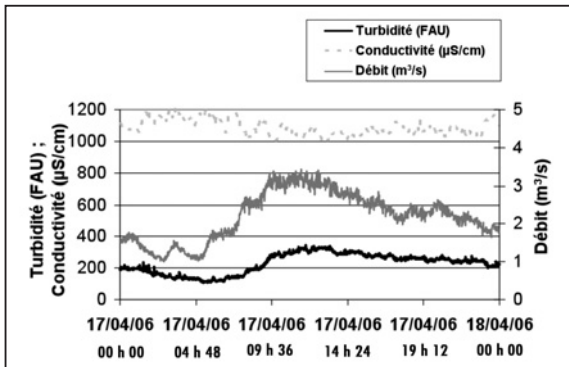
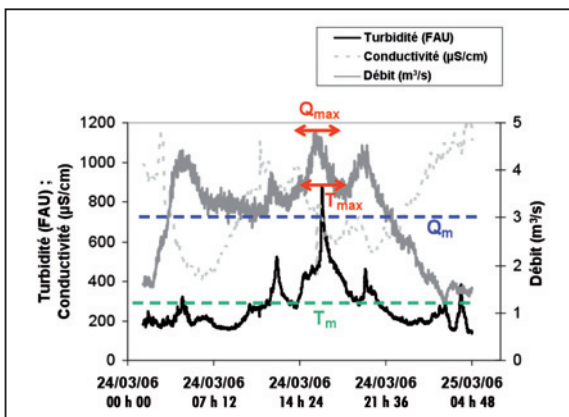


Figure 1. Exemples de signaux de turbidité, de conductivité et de débit sur le site de Clichy : par journée de temps sec



Q_m : débit moyen ; Q_{max} : débit maximal sur 5 minutes d'enregistrement ; T_m : turbidité moyenne ; T_{max} : turbidité maximale sur 5 minutes.

Figure 2. Exemples de signaux de turbidité, de conductivité et de débit sur le site de Clichy : lors d'un événement pluvieux

différents paramètres ont été calculés à partir des données de débit et de turbidité :

- le volume total de l'événement par hectare imperméabilisé (en m^3/ha_{imp}) : V_{spe} ;
- le volume total de l'événement (m^3) : V_{tot} ;
- la période de temps sec antérieure à l'événement (h) : ΔTS ;
- le débit moyen (m^3/s) : Q_{moy} ;
- le débit maximal sur 5 minutes d'enregistrement (m^3/s) : Q_{max} ;
- la turbidité moyenne (FAU) : T_m ;
- la turbidité maximale sur 5 minutes d'enregistrement (FAU) : T_{max} ;
- la masse de MES en assimilant directement la turbidité à une concentration en MES sans appliquer une relation linéaire précise ($1 \text{ FAU} = 1 \text{ mg/l}$). En effet, turbidité et MES sont en général très bien corrélées et les relations entre les deux paramètres ne varient pas beaucoup d'un événement à un autre [LACOUR *et al.*, 2009]. Cette masse sera exprimée en kg équivalents FAU (kg FAU).

1.4. Analyse des données

1.4.1. Organisation de l'étude

L'intérêt potentiel de la turbidité pour la GTR a été mis en évidence par l'intermédiaire de la variabilité intra-événementielle de la distribution de la masse de MES au cours des événements pluvieux. Cette distribution de la masse a été analysée à partir des ratios entre la masse cumulée et la masse totale apportée par l'événement par rapport aux ratios entre le volume cumulé et le volume total de l'événement, c'est-à-dire les courbes $M(V)$. Pour répondre à cet objectif, une typologie spécifique a donc été définie afin de classer ces courbes. Dans un deuxième temps, la possibilité de prédire l'appartenance d'un événement à l'un des groupes de la classification à partir de caractéristiques de l'événement a été étudiée. Ensuite, une approche s'est intéressée non plus à la variabilité intra-événementielle, mais à la variabilité interévénementielle des niveaux de turbidité. Une typologie simplifiée des pollutogrammes (en turbidité) a été définie et analysée en relation avec les caractéristiques hydrauliques de l'événement.

1.4.2. Classification des courbes $M(V)$

Toutes les courbes $M(V)$ des événements pluvieux de la période d'étude ont été tracées. Cette représentation, adimensionnelle, décrit la distribution des masses de polluants au cours d'un événement pluvieux et permet de comparer entre eux des événements et des bassins versants différents. Ce mode de représentation a été beaucoup utilisé pour les études de dimensionnement d'ouvrages et de phénomènes de « premier flux » [BERTRAND-KRAJEWSKI *et al.*, 1998]. Par exemple, une courbe $M(V)$ située en haut et à gauche de la figure signifie un effet de premier flux très marqué avec la possibilité de traiter la quasi-totalité de la masse de polluants de l'événement dans les tout premiers volumes générés par la pluie. Notre étude ne concerne pas le dimensionnement, mais plutôt l'utilisation des capacités existantes. Les courbes $M(V)$, tracées après la réalisation d'un événement pluvieux, ne permettent certes pas de prédire la distribution de la masse dans l'événement et d'adapter les stratégies en conséquence, mais elles constituent une méthode originale pour décrire précisément la dynamique de la pollution particulaire

et sa variabilité intra-événementielle. La mise en évidence de cette variabilité permet ensuite d'évaluer le potentiel d'utilisation de la mesure en continu de turbidité dans des stratégies de GTR, fondée sur la qualité à partir d'une typologie spécifique.

Dans un objectif d'analyse des phénomènes de premier flux, une typologie des courbes $M(V)$ a été établie par BERTRAND-KRAJEWSKI et coll. [1998] à partir de l'hypothèse de parfaite concavité ou convexité des courbes. Les courbes $M(V)$ ont ainsi été modélisées par l'équation $Y = X^b$ et des groupes formés selon les valeurs de b , c'est-à-dire selon la distance et la position par rapport à la bissectrice. Cette approche ne convient pas à nos objectifs, ni à la diversité des formes de courbes obtenues avec nos données. Dans ce cadre, une nouvelle typologie a été établie. Cette typologie permet justement de distinguer les courbes parfaitement concaves des autres courbes. En effet, en termes de gestion, la concavité est un élément important qui permet de juger du niveau, optimal ou non, du mode de gestion classique consistant à stocker les événements pluvieux depuis le début.

Une typologie spécifique a donc été définie en distinguant trois groupes.

Le **groupe A** contient les courbes **parfaitement concaves** et largement au-dessus de la bissectrice (soit $0 < b \leq 0,862$ au sens de la typologie de BERTRAND-KRAJEWSKI et coll. [1998]). La dyna-

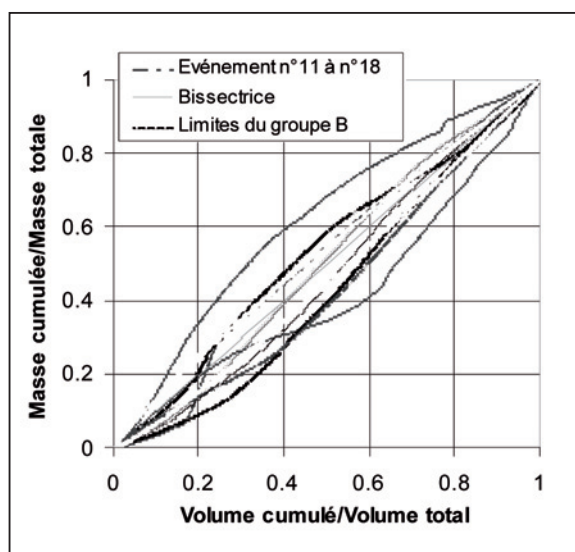


Figure 3. Courbes $M(V)$ relatives au mois de février 2006 pour le site des Quais

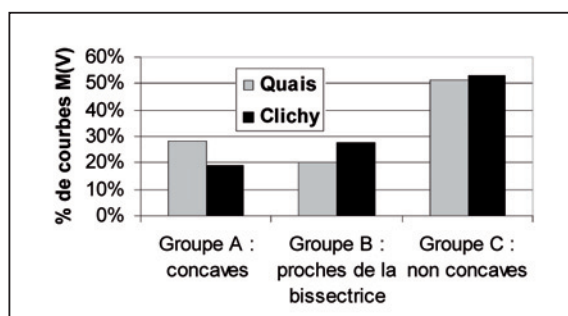


Figure 4. Répartition des courbes $M(V)$ en fonction des stratégies de gestion associées

mique de turbidité est en avance sur celle du débit avec des phénomènes de type « premier flux » et la meilleure stratégie de gestion consiste alors à stocker le volume de l'événement depuis le début (courbes au-dessus de la limite supérieure sur la figure 3).

Le **groupe B** contient les courbes **proches de la bissectrice** (soit $0,862 < b \leq 1,159$ au sens de la typologie de BERTRAND-KRAJEWSKI et coll. [1998]). La dynamique de la turbidité est alors très proche de celle du débit, de sorte que la turbidité n'apporte pas d'information supplémentaire en termes de gestion (courbes situées entre les deux courbes limites sur la figure 3).

Le **groupe C** contient les autres courbes, c'est-à-dire **largement convexes**, largement sous la bissectrice ou bien présentant des changements de concavité et de position par rapport à la bissectrice. Pour ce dernier groupe, la stratégie optimale de gestion ne peut pas être déterminée à l'avance. Par conséquent, la connaissance en temps réel de la dynamique de turbidité peut potentiellement améliorer la gestion en donnant des informations sur la meilleure orientation des flux en fonction du niveau de turbidité.

2. Résultats

2.1. Étude des courbes $M(V)$

2.1.1. Répartition des courbes dans les trois groupes

La figure 3, relative au mois de février 2006, illustre la large gamme de formes de courbes $M(V)$ obtenues sur l'ensemble de la période d'étude avec des variations de distances et de positions par rapport à la bissectrice en fonction de l'événement. Cette variabilité a été mentionnée à plusieurs reprises sur d'autres sites [GRÜNING et ORTH, 2002]. La répartition des

Répartition	Groupe A	Groupe B	Groupe C
Tous les événements	24	24	52
24 événements avec le plus grand V_{spe}	21	29	50
24 événements avec le plus grand Q_{max}	25	29	46

V_{spe} : volume total par hectare imperméabilisé ; Q_{max} : débit maximal sur 5 minutes d'enregistrement.

Tableau II. Distribution des courbes M(V) dans les trois groupes (en pourcentage)

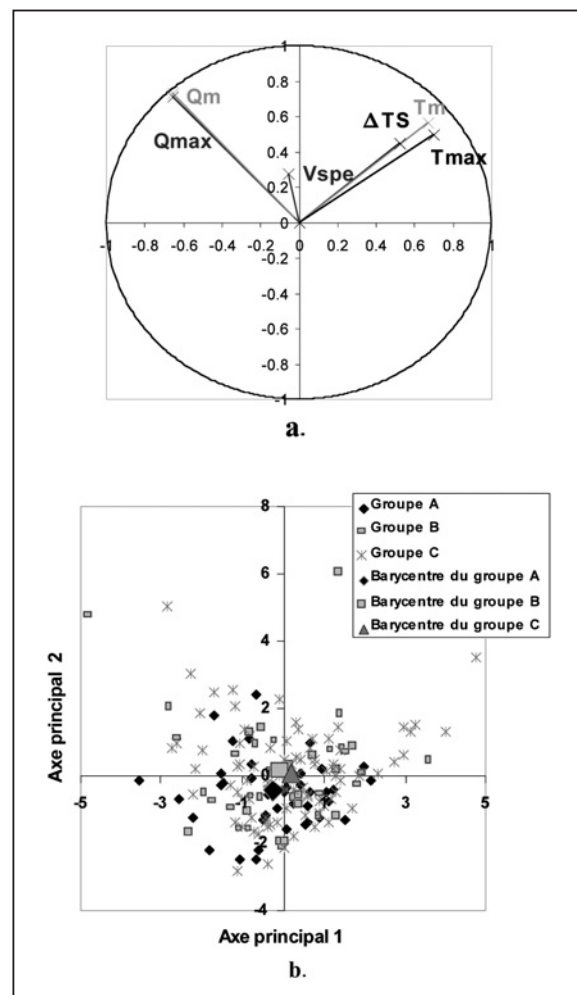
courbes dans les groupes décrits précédemment figure dans le *tableau II* et sur la *figure 4*.

Le *tableau II* et la *figure 4* montrent que plus de la moitié des événements pluvieux appartiennent au groupe C. De plus, cette répartition est presque la même pour les 24 événements les plus importants (12 sur chaque site) en volume total par hectare imperméabilisé V_{spe} ou pour les 24 événements avec la pointe de débit Q_{max} la plus importante. Par conséquent, le groupe C, pour lequel la turbidité peut être un outil d'amélioration de la gestion en raison de l'importante variabilité intra-événementielle de la distribution de la masse de MES, est très bien représenté pour tous les événements pluvieux, y compris les plus importants et les plus intenses, susceptibles de provoquer des déversements dans le milieu naturel.

2.1.2. Influence des paramètres de débit et de turbidité sur la distribution dans les groupes

La gestion des événements appartenant aux groupes A et B ne nécessite pas directement de mesures de turbidité. Car pour ces événements, un stockage des effluents depuis le début de l'événement garantit un contrôle optimal. Il peut donc être intéressant de visualiser si l'appartenance à l'un de ces deux groupes peut être expliquée au moyen de paramètres simples de la base de données. Pour ces événements, la gestion pourrait alors, par exemple, s'appuyer sur un modèle très simple utilisant des prévisions sur les valeurs de débit ou d'intensités. Une analyse en composantes principales (ACP) a donc été réalisée afin de déterminer des liens entre les paramètres V_{spe} , ΔTS , Q_m , Q_{max} , T_m et T_{max} et l'appartenance à un groupe donné (*figure 5*). La représentation de chaque variable dans le cercle des corrélations pour le plan principal 1-2 met en évidence l'orthogonalité entre les paramètres de débit et de turbidité, ce qui implique des corrélations très faibles. La période de

temps sec ayant précédé l'événement, ΔTS , correspond au même axe que les paramètres de turbidité, mais les corrélations ne sont pas très importantes (0,45 entre ΔTS et T_m et 0,35 entre ΔTS et T_{max}). Globalement, les variables ne sont que très faiblement corrélées entre elles, sauf pour Q_m et Q_{max} (coefficient de 0,91), qui représentent le même phénomène (*figure 5a*).



ΔTS : période de temps sec antérieure à l'événement ; Q_m : débit moyen ; Q_{max} : débit maximal sur 5 minutes d'enregistrement ; T_m : turbidité moyenne ; T_{max} : turbidité maximale sur 5 minutes d'enregistrement ; V_{spe} : volume total de l'événement par hectare imperméabilisé.

Figure 5. Cercle des corrélations (a.) et projection de données (b.) dans le plan principal 1-2 pour la distribution des courbes M(V)

La projection des données dans les deux premiers plans principaux permet de caractériser quelques événements aux pointes de débit et de turbidité importantes, mais elle ne laisse apparaître aucune tendance. Les barycentres relatifs à chaque groupe sont en effet tous proches de l'origine (figure 5b). Par conséquent, aucune structure dans la répartition en groupes, explicable par les paramètres choisis, ne se dégage de l'ACP. Dans l'état actuel des connaissances, il n'est donc pas possible de construire un modèle simple de prédiction de l'appartenance à un groupe donné. De ce fait, les dispositifs de suivi de la turbidité en continu constituent des outils particulièrement prometteurs pour mettre en œuvre des stratégies de GTR fondées sur la qualité, puisque les événements nécessitant des stratégies « simples » ne peuvent *a priori* pas être distingués des événements à la dynamique de distribution de masse plus complexe.

2.2. Analyse des dynamiques des signaux de débit et de turbidité

2.2.1. Classement des réponses de turbidité

L'analyse précédente a montré une grande diversité dans la répartition de la masse de MES au cours de l'événement. Or, le potentiel des mesures de turbidité apparaît également à travers l'étude de la variabilité interévénementielle des niveaux moyens (et maximaux) de turbidité. Dans cette perspective, quatre groupes de comportements types ont été définis pour caractériser la dynamique du signal de turbidité (tableau III). Cette classification tient seulement compte du comportement du signal de turbidité sans lien avec la dynamique de débit. Plus de variabilité pourrait en effet être décrite en tenant compte de la position et du nombre de pics par rapport à la dynamique de débit. Les pics élevés correspondent à des niveaux de plus de 40 % supérieurs au niveau moyen de

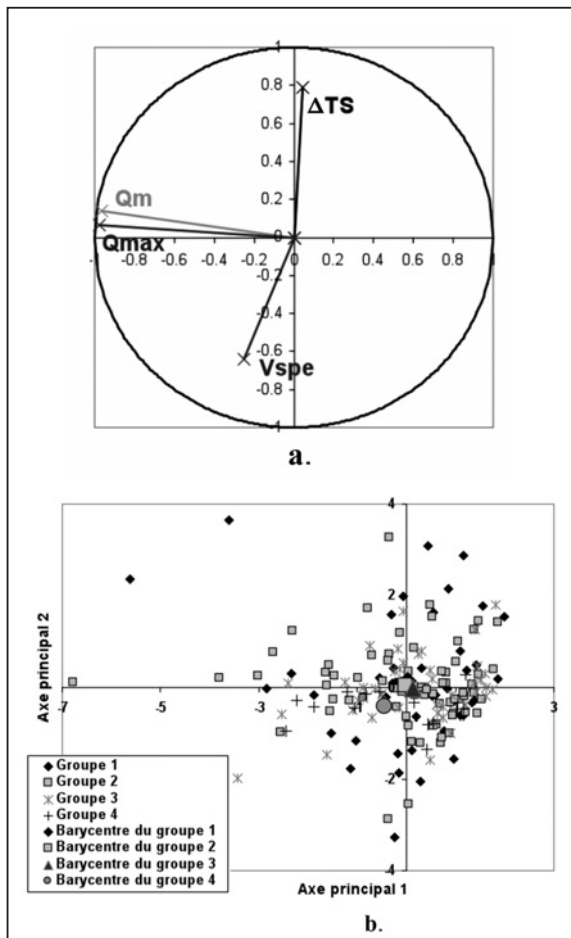
la turbidité par temps sec (qui est de l'ordre de 230 FAU). Les pics qualifiés de moyens sont supérieurs à la limite de la valeur maximale de turbidité par temps sec (d'environ 400 FAU, figure 1). La dilution se caractérise par une diminution d'au moins 25 % de la valeur de turbidité pendant la phase d'augmentation du débit.

2.2.2. Influence des paramètres de débit sur la distribution dans les groupes

L'objectif de cette étude n'est pas de définir un modèle détaillé entre la turbidité et certains paramètres, mais plutôt de vérifier si une certaine forme de redondance apparaît entre la forme de la réponse de turbidité et certains paramètres hydrauliques et pluviométriques. En effet, certains auteurs ont tenté d'établir des corrélations entre la turbidité et des paramètres tels que le niveau d'eau, le débit, la vitesse, l'intensité de la pluie ou la contrainte de cisaillement sur un site expérimental aux Pays-Bas [HENCKENS *et al.*, 2002 ; LANGEVELD *et al.*, 2005]. Aucune relation n'a pu être établie, excepté une corrélation partielle avec la contrainte de cisaillement [LANGEVELD *et al.*, 2005]. De même, dans une autre étude, des corrélations entre phénomène de dilution et courte période de temps sec précédent l'événement ont été trouvées [GRÜNING et ORTH, 2002]. Dans cette perspective, comme pour les courbes M(V), une ACP a été réalisée pour déterminer si l'appartenance à un groupe est liée aux paramètres V_{spe} , ΔTS , Q_m ou Q_{max} . Les paramètres T_m et T_{max} , qui indiquent l'intensité des pics (ou leur absence), ne sont donc pas utilisés dans cette ACP puisqu'ils ont servi en partie à la classification dans les quatre groupes. Dans cette configuration, les débits moyens et maximaux sont expliqués par l'axe 1 et la période antérieure de temps sec par

Type de comportement	Quais (%)	Clichy (%)
Pics de niveau élevé (> 600 FAU)	26,1	21,7
Pics de niveau moyen ou faible (400 < FAU < 600)	46,6	37,3
Absence de réaction	20,5	31,3
Dilution	6,8	9,6

Tableau III. Distribution des réponses de turbidité dans les quatre groupes représentatifs de la dynamique globale



ΔTS : période de temps sec antérieure à l'événement ; Q_m : débit moyen ; Q_{max} : débit maximal sur 5 minutes d'enregistrement ; V_{spe} : volume total de l'événement par hectare imperméabilisé.

Figure 6. Cercles des corrélations (a.) et projection de données (b.) dans le plan principal 1-2 pour la distribution en quatre groupes de réponses dynamiques de turbidité

l'axe 2. Comme pour l'ACP relative à la distribution des courbes $M(V)$, les paramètres Q_m ou Q_{max} et ΔTS sont orthogonaux (figure 6a).

La projection des données dans le plan principal 1-2 laisse nettement voir les événements aux débits extrêmes, mais ne fait pas apparaître de tendance. Les points du groupe 4 (dilution) sont pour la plupart sous l'axe 1, ce qui implique que la dilution pourrait correspondre à des périodes antérieures de temps sec courtes. Toutefois, ce résultat est à relativiser en raison de l'effectif réduit de ce groupe par rapport aux autres. De plus, même si les ordonnées sont négatives, elles restent proches de l'origine. D'ailleurs, les barycentres des quatre groupes sont tous voisins de l'origine (figure 6b). Par conséquent, la dynamique des réponses de turbidité ne peut pas être reliée

de façon simple avec des paramètres couramment utilisés pour décrire les événements pluvieux.

Conclusions

Les mesures en continu de turbidité constituent un moyen précis et efficace pour comprendre la dynamique des flux de polluants, et plus particulièrement des MES. Ces recherches ont ainsi permis l'analyse de la réponse de turbidité pendant plus d'une année d'événements pluvieux en fonction des caractéristiques des événements pluvieux et de la dynamique des débits.

- La dynamique du signal de turbidité est extrêmement variable et ne peut pas être déduite de la dynamique de débit, que ce soit à l'intérieur d'un événement donné ou d'un événement à un autre.

- L'étude des courbes $M(V)$ met en évidence cette variabilité intra-événementielle de la distribution de la masse de MES selon l'événement pluvieux et montre que la connaissance de la turbidité en continu pourrait potentiellement améliorer la gestion pour plus de 50 % des événements.

- De plus, les événements pour lesquels la turbidité n'apporte *a priori* pas de gain dans la gestion – cas des événements des groupes A et B où il suffit d'intercepter l'événement depuis le début – ne peuvent pas être identifiés à l'avance au moyen des caractéristiques de l'événement. L'information de turbidité reste donc nécessaire si l'on souhaite mettre en place un système de GTR fondé sur la qualité.

Par conséquent, deux événements pluvieux caractérisés par des périodes de temps sec antérieures semblables et des réponses de débit (moyennes et pointes) similaires peuvent occasionner des réponses dynamiques de turbidité très différentes, incluant aussi bien des pics élevés de turbidité, synonymes de pollution importante, que des phénomènes de dilution, moins nocifs en cas de déversements directs dans le milieu naturel. Il s'agit donc d'être capable d'adapter la stratégie de gestion au cas de figure rencontré, ce qui peut être rendu possible par la mesure en continu de la turbidité.

Par ailleurs, d'autres études sont nécessaires pour vérifier si la variabilité observée dépend de certaines

caractéristiques spécifiques des bassins versants ou bien reste la même dans d'autres sites d'étude.

Ces recherches doivent être poursuivies par des simulations de GTR sur des configurations types en utilisant des données de débit et de turbidité issues des sites expérimentaux étudiés. Des simulations permettront de tester et de comparer des stratégies utilisant les données de débit et de turbidité par rapport à des stratégies utilisant uniquement des données de débit, afin de réellement quantifier le gain potentiel que pourrait apporter la turbidité.

Bibliographie

AUMOND M., JOANNIS C. (2005) : « Turbidity monitoring in sewage ». In : 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen, Denmark.

BERTRAND-KRAJEWSKI J.L., CHEBBO G., SAGET A. (1998) : « Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon ». *Water Research*, 32: 2341-2356.

CHEBBO G., BACHOC A., LAPLACE D., LEGUENEC B. (1995) : « The transfer of solids in combined sewer networks ». *Water Science and Technology*, 31 (7) : 95-105.

DELETIC A.B., MAKSIMOVIC C.T. (1998) : « Evaluation of water quality factors in storm runoff from paved areas ». *Journal of Environmental Engineering-Asce*, 124 : 869-879.

EVEN S., POULIN M., MOUCHEL J.M., SEIDL M., SERVAIS P. (2004) : « Modelling oxygen deficits in the Seine River downstream of combined sewer overflows ». *Ecological Modelling*, 173 : 177-196.

GOGIEN F., ZUG M., LE-LUHERNE J., JAMET G. (2004) : « Pollution modelling on the site of Saint-Malo: an interesting tool for sewer systems optimization ». In : *Techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie*, 5th International Conference Novatech 2004, Lyon, France.

GROMAIRE M.C., GARNAUD S., SAAD M., CHEBBO G. (2001) : Contribution of different sources to pollution of wet weather flows in combined sewers. *Water Research*, 35(2) : 521-523.

GRÜNING H., HOPPE H., WEILANDT M. (2002) : « Integrated control strategies based on online measurements in sewer systems and wastewater treatment plants ». In : *Conference on Sewer Processes and Networks*, 295-301, Paris, France.

GRÜNING H., ORTH H. (2002) : « Investigations of the dynamic behaviour of the composition of combined sewage using on-line analyzers ». *Water Science and Technology*, 45 : 77-83.

HENCKENS G., VELDKAMP R., SCHUIT T. (2002) : « On monitoring of turbidity in sewers ». In : *Global solutions*

Remerciements

Les auteurs remercient pour leur soutien financier les partenaires du programme OPUR : la ville de Paris, le Syndicat interdépartemental de l'assainissement de l'agglomération parisienne (SIAAP), le conseil régional d'Île-de-France, l'agence de l'eau Seine-Normandie (AESN), la direction des services de l'eau et de l'assainissement du Val-de-Marne (DSEA 94), la direction de l'eau et de l'assainissement de Seine-Saint-Denis (DEA93), ainsi que le Groupement pour l'évaluation des mesures en continu dans les eaux et en assainissement (GEMCEA).

for urban drainage, 9th International conference on urban drainage (9ICUD). ASCE, Portland, Oregon.

JOANNIS C., RUBAN G., GROMAIRE M.C., BERTRAND-KRAJEWSKI J.L., CHEBBO G. (2007) : « Reproducibility and uncertainty of wastewater turbidity measurements ». *Water Science and Technology* 57(10), 1667-1673.

KANSO A., CHEBBO G., TASSIN B. (2005) : « Stormwater quality modelling in combined sewers: calibration and uncertainty analysis ». *Water Science and Technology*, 52 (3) : 63-71.

KLEPISZEWSKI K. (2005) : « Pollution based real time control of a combined sewer overflow structure ». In : 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen, Denmark.

LACOUR C., JOANNIS C., CHEBBO G. (2009) : « Assessment of annual pollutant loads in combined sewers from continuous turbidity measurements: Sensitivity to calibration data ». *Water Research*, 43 : 2179-2190.

LANGVELD J.G., VELDKAMP R.G., CLEMENS F. (2005) : « Suspended solids transport: an analysis based on turbidity measurements and event based fully calibrated hydrodynamic models ». *Water Science and Technology*, 52 (3) : 93-101.

MARÉCHAL A. (2000) : « Relations entre caractéristiques de la pollution particulaire et paramètres optiques dans les eaux résiduaires urbaines ». Thèse. Institut national polytechnique de Lorraine, génie des procédés, Nancy.

RUBAN G., BERTRAND-KRAJEWSKI J.L., CHEBBO G., GROMAIRE M.C., JOANNIS C. (2006) : « Accuracy and reproducibility of turbidity measurements in urban waste water ». *Houille Blanche-Revue Internationale de l'Eau*, 129-135.

WFD (2000) 2000/60/EC-Directive of the European Parliament and the Council of oct. 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities from 22.12.2000*, 327/1, 327/72.

Résumé

C. LACOUR, C. JOANNIS, G. CHEBBO

Amélioration potentielle de la gestion des effluents de temps de pluie grâce à des mesures de turbidité

Les turbidimètres peuvent être utilisés pour suivre en temps réel les flux de polluants, notamment en temps de pluie. Des données de turbidité, de conductivité et de débit ont été collectées toutes les minutes pendant plus d'un an sur deux sites du réseau unitaire parisien. Cet article met en évidence la variabilité inter- et intra-événementielle des réponses de turbidité aux événements pluvieux. Pour chaque événement pluvieux, les caractéristiques des réponses de turbidité ont été analysées selon différentes classifications (courbes M(V) et allure dynamique principale) et en fonction de

différents paramètres tels que la période de temps sec ayant précédé l'événement, le volume total de l'événement par hectare imperméabilisé, les débits moyens et maximaux générés par l'événement. Les résultats ont montré que la turbidité contenait des informations importantes pour la gestion des flux, non contenues dans les données hydrauliques et non liées aux paramètres pris en compte. Par conséquent, la connaissance en temps réel et en continu de la turbidité peut potentiellement améliorer la gestion de temps de pluie par la mise en place de scénarios utilisant ces données.

Abstract

C. LACOUR, C. JOANNIS, G. CHEBBO

Potential improvement of wet weather effluents management using continuous turbidity measurements

Turbidity sensors can be used to continuously monitor in real time pollutants loads, especially during wet weather. Continuous turbidity, conductivity and flow data were recorded at one-minute time intervals over a one-year period for two sites within the Paris combined sewer system. This paper highlights the intra- and inter-event variability of turbidity responses depending on the rainfall event. For each rainfall event, turbidity response aspects were analysed through different classifications (M(V) curves and main dynamics

features) and according to different parameters such as the antecedent dry weather period, the total event volume per impervious hectare and both the mean and maximum hydraulic flow. Results show that turbidity contains important information for wet weather management, which are not included in hydraulic flow dynamics and not linked to the studied parameters. Knowledge of turbidity dynamics could therefore potentially improve wet weather management, especially when using pollution-based real-time control.