

MESURE DES POLLUANTS PAR TURBIDIMETRIE EN ASSAINISSEMENT MEASUREMENTS OF POLLUTANTS BY TURBIDIMETRY

Michel Aumond et David Mabilais

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Route de Bouaye, BP 4129, 44341 Bouguenais cedex,
France - Email: michel.aumond@lcpc.fr

Résumé: La turbidité est l'un des rares paramètres de qualité mesurable en continu en réseau d'assainissement. La fiabilité et l'intérêt d'un suivi en continu de la qualité de l'effluent urbain par turbidimétrie a été testée sur un émissaire d'un réseau de collecte majoritairement unitaire, d'environ 200.000 équivalents habitants. Une campagne de près de 700 jours avec des enregistrements à cadence rapide de deux capteurs redondants a permis de mettre au point des protocoles pour la mise en œuvre de la turbidimétrie en réseau d'assainissement. Cette mise en œuvre comporte cinq points essentiels : le réglage et l'étalonnage des turbidimètres, le suivi de la pérennité de ces réglages, la mise en forme du mesurande, le choix d'une stratégie d'acquisition et de traitement du signal et la validation des données acquises. Ce papier détaille la mise en œuvre pratique de la turbidimétrie et évoque des utilisations possibles de cet indicateur, hors des utilisations classiques qui cherchent à définir des liens statistiques plus ou moins lâches avec les indicateurs conventionnels de polluants tels que DCO, MES, etc.

Abstract: Nowadays standard pollution parameters for waste waters are still based upon chemical analyses of samples although these methods prove expensive for high sampling rate. While turbidity is not a standard parameter, such as chemical oxygen demand (COD) and total suspended solids (TSS), and its conversion into standard parameters remains complicated, turbidity in itself is a robust pollution indicator that can be continuously monitored at relatively low cost. In association with flow rate measurements, turbidity proves to be an useful parameter to study pollutant fluxes, and this article reviews a number of practical field applications in sewers. The paper presents a method to use efficiently turbidity. Recommendations are given to choose the sampling rate and duration of the measurements. The calibration process is explained and standard references are given together with advices to control the calibration permanence. Once all these practical aspects are taken account, the turbidity data need further post-processing. Raw data are indeed affected by many effects including noises caused by flocs or big particles that can saturate the sensors. The random noise of the turbidity data can be discarded by an appropriate signal processing. A key feature is the technical redundancy obtained by using together two turbidimeters at the same location. The pairs of measurements are used to define a reference. Another key practical issue is to use a sampling rate higher than the necessary to obtain redundant data at a given time. The difference between a data point and the reference can be tested relatively easily, and erroneous

values can be removed. A practical case is shown. If all the practical recommendations and advices are respected, turbidity proves to be an efficient and cheap technique to monitor continuously pollutant fluxes.

Mots clé: turbidité, stratégie d'acquisition, traitement du signal, filtre, flux polluant.

Keywords: turbidity, sampling strategy, data acquisition, signal processing, filtering, pollutant fluxes.

1. INTRODUCTION

Les paramètres standard de pollution, comme les matières en suspensions, la demande chimique en oxygène,... préconisés dans le cadre de l'auto-surveillance, ne sont mesurés que par des analyses de laboratoire effectuées sur des échantillons prélevés. Cette méthode devient très coûteuse dès que le taux d'échantillonnage devient élevé. En revanche, la turbidité n'a pas cet inconvénient: elle se prête parfaitement à une mesure en continu pour un coût raisonnable (Ruban et al. 2001, Velkam et al. 2002, Henckens et al. 2002). L'indicateur turbidité ne fait pas partie des indicateurs standards (MES, DCO,...) préconisés dans le cadre de l'auto-surveillance. Mais cet indicateur moins conventionnel est intéressant, même si sa conversion en paramètres standard reste approximative pour ne pas dire aléatoire. La turbidité est en elle-même un indicateur de pollution riche d'information. Elle se prête à la mesure en continu à un coût abordable. Elle est adaptée à l'étude des flux polluants dans le temps (Aumond et Joannis 2008), associée à des mesures de débits. Elle permet des analyses fines du fonctionnement du réseau d'assainissement. Complétée par une mesure de conductivité, autre indicateur de qualité qui se prête également à la mesure en continu, elle permet la détection de phénomène indétectable sans mesures en continu. La turbidité est principalement sensible aux matières particulaires dans l'effluent (Fig. 1). La conductivité est un indicateur de la teneur totale en sels. La confrontation de ces deux indicateurs et des variations de débits permet de mettre en évidence outre la variation de la part des eaux sanitaires dans l'effluent, des phénomènes inattendus comme la variation de la qualité des eaux sanitaires. Ces variations doivent être expliquées. Elles peuvent être provoquées par des phénomènes de dépôts/érosions de sédiments dans le réseau.

Dans cet article, les différentes phases nécessaires à une mise en œuvre efficace de la turbidimétrie en réseau d'assainissement sont successivement abordées. Tout d'abord les critères de choix du matériel à installer, les réglages et étalonnages à effectuer sont présentés. Les perturbations qui peuvent affecter le signal brut de turbidité sont décrites. Les moyens mis en œuvre pour conditionner le mesurande et limiter ces perturbations sont détaillés. Nous parlons également de la stratégie d'acquisition que nous suggérons, ainsi que de l'indispensable traitement du signal à effectuer. La nécessaire étape de validation des données acquises est rappelée.

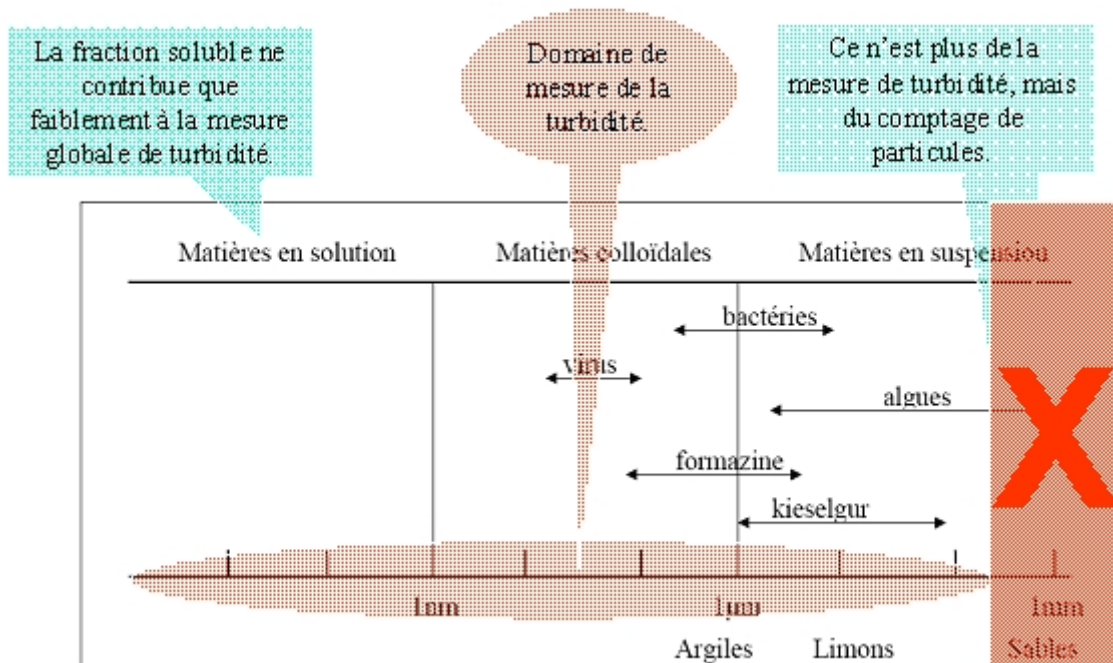


Figure 1 - Domaine d'application de la turbidimétrie

Figure 1 - Turbidimetry validity domain

2. MATERIEL ET METHODE

Les données proviennent d'un réseau majoritairement unitaire, desservant environ 200.000 habitants de l'agglomération nantaise (France). Le site de mesures se situe dans un collecteur situé en aval d'une chambre à sable alimentée par un ovoïde à banquettes de 2,3 m de haut sur 1,5 m de largeur maximale, et en amont d'une paire de siphons. Le débit moyen est d'environ 1500 m³/h. Les turbidimètres sont fixés à une perche articulée (trois degrés de liberté) qui plonge dans l'effluent. Cette perche est conçue pour faciliter au mieux les opérations de maintenance : nettoyage, réglages, etc. Il s'agit de turbidimètres Turbitech 2000LA fabriqués par la société Partech. Ces capteurs mesurent la turbidité par atténuation d'un faisceau infrarouge à 950 nm.

L'objectif est de mettre au point une stratégie d'acquisition et de traitement du signal qui permette d'éliminer les artefacts de mesures. La méthode consiste à échantillonner la mesure de turbidité par rapport à la cadence de mesures choisie en fonction de la résolution finale fixée par l'utilisateur des mesures, et de traiter la population de mesures obtenue afin d'éliminer les pics indésirables. Il est inutile d'échantillonner à une cadence trop élevée car, les turbidimètres ayant un temps de réponse non négligeable, les mesures successives ne seraient plus indépendantes. Dans notre cas, les turbidimètres Partech ont un temps de réponse affiché de 0,2 s. C'est le résultat de ce traitement qui fournit la valeur de turbidité utile devant être enregistrée. Ce traitement, une fois mis au point, a vocation à être effectué en temps réel.

Pour effectuer cette mise au point, les mesures sont enregistrées sur une centrale d'acquisition AOIP au pas d'échantillonnage de 1 seconde. La capacité mémoire de cette centrale étant limitée à environ trois heures d'enregistrement pour les deux turbidimètres à la cadence de 1 seconde, soit le plus court pas de temps permettant des mesures indépendantes. Les données sont récupérées et

stockées automatiquement par un micro-ordinateur sur le terrain. Les mises au point des stratégies de traitement du signal sont réalisées à partir de ces enregistrements.

Des simulations de ces stratégies d'acquisition et de traitement du signal sont testées en différé à partir de cette banque de données. La disponibilité de la redondance matérielle (deux turbidimètres) permet d'obtenir avec un bon niveau de confiance une chronique de mesures dite de référence. Cette chronique de référence permet de juger de la qualité des traitements du signal effectués pour chacun des turbidimètres.

3. REGLAGE ET ETALONNAGE DES TURBIDIMETRES

Le réglage et l'étalonnage des turbidimètres permettent de fournir une certaine garantie de fonctionnement, de sécurité, de performance, de qualité, d'interchangeabilité, d'interopérabilité (Joannis et al. 2006). Ils sont réalisés par application de la norme NF ISO 7027 (2000). Cette norme est un ensemble de règles fonctionnelles ou de prescriptions techniques relatives aux turbidimètres, à leurs réglages et étalonnage, établies par consensus de spécialistes et consignées dans un document produit par un organisme de normalisation, national (agence française de normalisation AFNOR) et international (international standard organization ISO).

Les turbidimètres utilisés doivent répondre aux exigences suivantes selon la norme NF ISO 7027 (2000):

- La longueur d'onde de la radiation incidente doit être de 860 nm,
- La largeur de bande spectrale doit être inférieure ou égale à 60 nm,
- La géométrie des optiques est également précisée dans cette norme,

Les résultats obtenus à d'autres longueurs d'onde ne peuvent être comparés aux résultats obtenus à 860 nm.

Les turbidimètres de terrain utilisés sont proches de cette norme: 950 nm au lieu de 860 nm, mais cette différence induit un biais (probablement faible) par rapport aux mesures respectant scrupuleusement cette norme. En effet, l'absorption du faisceau de mesure par les matières en suspensions dépend et de la répartition en taille des particules en suspension et de la longueur d'onde utilisée.

La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau. Elle correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite. Elle est mesurée, d'après la norme NF ISO 7027 (2000), en unités FAU qui nécessite des solutions étalons à base de formazine. Nous n'utilisons cette substance que pour les étalonnages car elle est onéreuse et cancérigène. Pour les contrôles périodiques nous utilisons l'étalon secondaire qu'est le kieselgur. Le réglage des instruments est effectué en deux points, conformément aux instructions données par le fabricant. Le zéro est effectué à l'aide d'une eau osmosée, qui limite la présence d'éventuelles bulles. Les bulles influencent notablement la mesure de turbidité. Le point de réglage haut est effectué à l'aide d'un étalon secondaire constitué d'une suspension de kieselgur à 1,5 g/l. Outre son prix, cet étalon secondaire a l'avantage de ne pas être toxique. Cette suspension doit être soigneusement agitée à l'aide d'un agitateur magnétique car

la vitesse de décantation du kieselgur est importante. Une fois l'instrument réglé, il faut procéder à son étalonnage. Les turbidimètres de terrain que nous avons essayés ne disposent pas d'une échelle préétalonnée, ou du moins celle fournie ne correspond pas aux valeurs d'étalonnage. Il convient alors d'établir une courbe d'étalonnage. La courbe d'étalonnage est réalisée en utilisant au moins cinq suspensions étalons de formazine de turbidité répartie sur la gamme étudiée.

4. PERENNITE DES REGLAGES

La vérification des réglages des turbidimètres est un aspect de la gestion de la qualité des mesures. C'est une opération de contrôle effectuée en vue de déterminer, avec des moyens appropriés, si l'appareil contrôlé est toujours conforme ou non aux spécifications ou exigences préétablies. Elle inclut une décision d'acceptation, de rejet ou de retouche. Cette opération de contrôle a un lien évident avec la phase de validation des données.

Pour effectuer la vérification des réglages, il faut au préalable en déterminer les caractéristiques et choisir les limites à l'intérieur desquelles le réglage est conforme. Il faut que ces limites soient connues par le «contrôleur» qui effectuera le contrôle.

Il implique également qu'à l'issue de l'acte technique de contrôle, une décision soit prise en ce qui concerne la conformité :

- Appareil conforme,
- Appareil non-conforme qui doit être changé (panne),
- Appareil non conforme pouvant être réglé.

La vérification des réglages est effectuée sur le terrain, près du collecteur. Cette opération est effectuée avec les mêmes types d'étalons secondaires que ceux utilisés lors du réglage initial, dans les mêmes conditions, mais dans l'inconfort du terrain. L'agitation impérative des suspensions de kieselgur est réalisée à l'aide d'un agitateur magnétique à pile. Les points de réglage zéro (eau osmosée) et réglage haut (1,5 g/l de kieselgur) sont vérifiées deux fois avec des suspensions étalons distinctes. Si et seulement si les deux contrôles sont cohérents et présentent des différences supérieures à 30 unités de réglage, l'appareil est réglé de nouveau. Ce seuil de 30 unités d'atténuation kieselgur correspond à deux fois l'écart type de la dispersion des étalons secondaires de suspension de kieselgur. Le double contrôle a pour principal objectif de pallier les risques d'erreurs plus importants lors du travail hors laboratoire.

La périodicité de ces contrôles a été fixée, suite aux premières expériences, dans une fourchette de quatre à six semaines. Sur la période du 23 mai 2006 au 15 juillet 2008, soit plus de 2 ans de mesures en continu, 24 contrôles ont été effectués pour chacun des turbidimètres. Seulement deux réglages ont été refaits pour chacun des turbidimètres, pour de faibles dépassements du seuil de 30 unités d'atténuation kieselgur.

Ces quelques remarques ne sont qu'un rappel du bon usage d'un appareil de mesure, mais elles sont d'autant plus nécessaires que les turbidimètres de terrain sont généralement vendus non étalonnés.



Figure 2 - Exemple de macro déchets
 Figure 2 - Example of large debris



Figure 3 - Les turbidimètres et la chambre de mesures
 Figure 3 - Turbidimeter deployment in the field



Figure 4 - Les turbidimètres avec leur protection individuelle
 Figure 4 - Turbidimeters with their individual protection

5. MISE EN FORME DU MESURANDE

La turbidité est principalement causée par des particules en suspension qui absorbent, diffusent et/ou réfléchissent la lumière. Les caractéristiques optiques (taille du faisceau) ne permettent de mesurer la turbidité que pour des particules de taille inférieures à quelques dixièmes de millimètre (Fig. 1). Au dessus de ces dimensions, le turbidimètre n'est plus capable de mesurer une turbidité. Il se comporte comme un compteur de particules avec un fonctionnement en tout ou rien. Il convient de mettre en forme le mesurande en écartant de l'effluent soumis au turbidimètre tout ce qui ne ressort pas de la mesure de turbidité. Il faut éviter la zone de transport des flottants. Ils ont fréquemment des dimensions qui atteignent quelques dizaines de centimètres. La zone de transport par charriage et saltation est également à proscrire: risque d'ensablement ou d'envasement des capteurs. Il ne reste qu'une zone possible: à mi hauteur de l'écoulement. Mais même dans cette zone de nombreux macro déchets subsistent (Fig. 2), qui perturbent et ruinent la mesure.

Il convient d'écarter du faisceau de mesures tous ces éléments perturbateurs. Après différents essais, le système de protection par chambre commune (Fig. 3) ou individuelle (Fig. 4) a été retenu. L'entrefer des appareils est toujours perpendiculaire à l'écoulement. La réalisation de différents types de tests n'a pas permis de déceler de biais provoqués par ces systèmes de protection. Le premier test a consisté à comparer les mesures enregistrées avec les turbidités mesurées au laboratoire sur 12 échantillons d'eaux usées prélevés sur ce même site avec un préleveur automatique programmé au pas de temps horaire. Le second test s'est déroulé en plaçant un troisième turbidimètre sans protection que l'on a comparé aux turbidimètres protégés. Malgré ces précautions, un entretien périodique (une à deux semaines) reste nécessaire, avec nettoyage complet du matériel de mesure.

6. STRATEGIE D'ACQUISITION ET TRAITEMENT DU SIGNAL

Malgré les précautions présentées dans la section précédente, l'acquisition directe de valeurs moyennes sur des pas de temps de quelques minutes produirait des enregistrements fortement biaisés (Aumond et Joannis 2006). Il convient d'effectuer un traitement du signal avant utilisation des mesures. Les artefacts biaisant les mesures sont résumés sur le graphique de la Figure 5. Les graphiques représentent en bleu clair et foncé les signaux bruts issus des deux turbidimètres. Le premier graphique donne un exemple dans lequel la protection des turbidimètres est inefficace. Des saturations longues sont visibles. Elles sont dues à des colmatages de longues durées provoqués par des filasses coincées devant les cellules de mesure du turbidimètre telle que celles présentées dans la Figure 5. De nombreux pics de grandes amplitudes et à occurrence rapide sont probablement dus à des filasses accrochées au système et qui viennent balayer le faisceau de mesure au gré du courant. C'est pour cette raison que nous l'avons abusivement baptisé bruit hydraulique. Ces deux premiers bruits ne peuvent être supprimés que par une mise en forme convenable du mesurande, toute l'information turbidité ayant disparue. Lorsque le prétraitement du mesurande est correctement réalisé, il reste un signal tel que l'on peut voir sur le deuxième graphique de la Figure 5. De nombreux pics (impulsion) sont présents, mais l'information turbidité reste présente. Ces pics

sont toujours positifs et de grandes amplitudes. Ils ne peuvent pas être éliminés par une simple moyenne, ou par utilisation du réglage de l'amortissement qu'il est matériellement possible de régler sur la majorité des turbidimètres. Il convient de supprimer ces pics et de n'utiliser que les données filtrées. Afin de mettre au point une stratégie d'acquisition et de traitement du signal, nous avons utilisé la redondance matérielle disponible ici pour caractériser le bruit à éliminer.

| | |
|-----------------------|--------------------|
| bruit | cause |
| saturation longue | colmatage |
| bruit « hydraulique » | filasse |
| bruit aléatoire | grosses particules |

Le bruit est toujours positif (pics)

Les deux premiers types de bruit sont éliminés par le traitement du mesurande (mais pas toujours)

Le dernier type de bruit est éliminable par un traitement du signal en temps réel

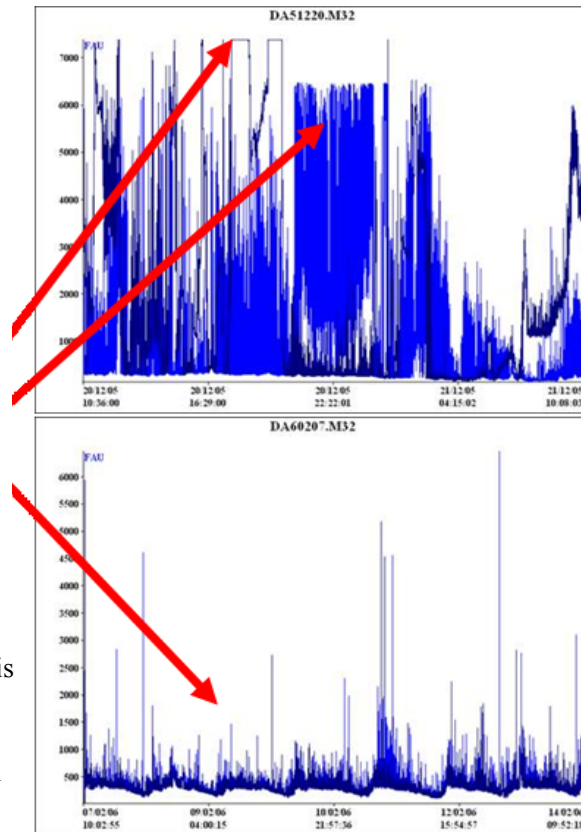


Figure 5 - Artefact troublant la mesure de turbidité en réseau d'assainissement

Figure 5 - Identification of different errors and noises, and their origin in a sewer system

6.1 Analyse succincte du bruit.

On dispose de 670 jours d'enregistrement à la seconde de double mesure de turbidité. A partir de ces deux chroniques appairées de mesures de turbidité, il est possible de construire une chronique de référence raisonnablement fiable.

Définition de la référence:

A chaque seconde i ,

si $|T1(i) - T2(i)| < K$ alors $Tf(i) = \text{moyenne}(T1(i); T2(i))$ sinon rejet des valeurs. (1)

K est défini à partir de l'étude de la dispersion des différences entre paire des mesures brutes des deux turbidimètres. Finalement, la valeur à la minute m de la référence est:

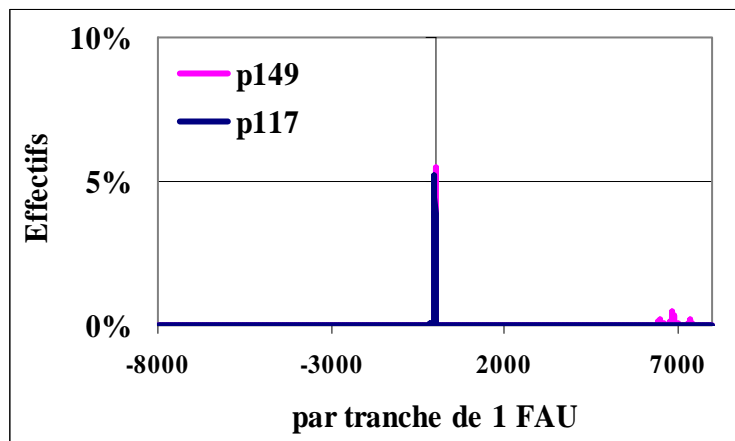
$$Tréf(m) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Tf(i) \quad (2)$$

où n est l'effectif des valeurs retenues à la minute.

La simple différence entre les chroniques brutes de turbidité et cette référence donne une bonne image du bruit. Nous pouvons extraire quelques statistiques générales décrivant ce bruit.

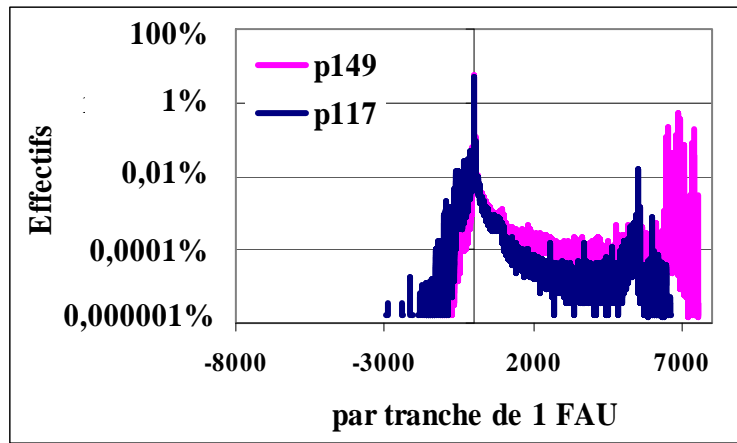
6.1.1 Dispersion globale du bruit

La Figure 6(a) montre l'histogramme de la dispersion du bruit par tranche de 1 FAU. L'analyse de cet histogramme montre tout d'abord que le mode majeur (¹) de la distribution se détache sans ambiguïté du reste de la distribution. Une queue de distribution importante est visible vers 7000 FAU. Le coté négatif de la distribution ne présente pas cette particularité. Cette anomalie vers 7000 FAU est due aux pics parasites. L'usage d'une échelle logarithmique dans la Figure 6(b) pour l'axe des ordonnées visualise bien le phénomène. Si on dilate l'échelle des abscisses dans la figure 6 (c), on voit qu'une majorité du bruit ($\approx 90\%$ des valeurs) reste limité dans une fourchette de +/- 25 FAU autour de zéro, alors qu'en prenant un seuil légèrement supérieur à 95%, nous obtenons les fourchettes suivantes: p117 : [-61;42] & p149 : [-23;4154]. Ces histogrammes sont calculés sur la période de 670 jours de mesures. Le principal enseignement de ces histogrammes est qu'une grande partie des mesures ($\approx 90\%$) est exempte de pics. Si ces pics sont régulièrement répartis dans le temps, le traitement des données est viable et relativement simple à exécuter. C'est ce dont nous pouvons en partie juger par l'analyse des durées de pics.

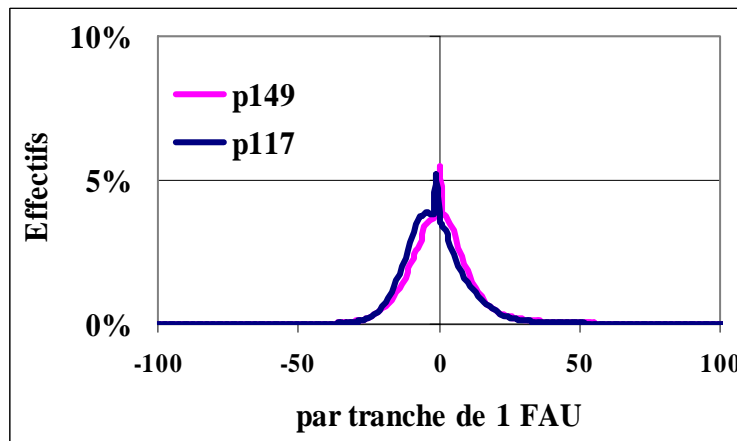


(a)

¹ Terme utilisé en statistiques: le mode d'une série statistique est la valeur qui a le plus grand effectif; c'est un critère de position.



(b)



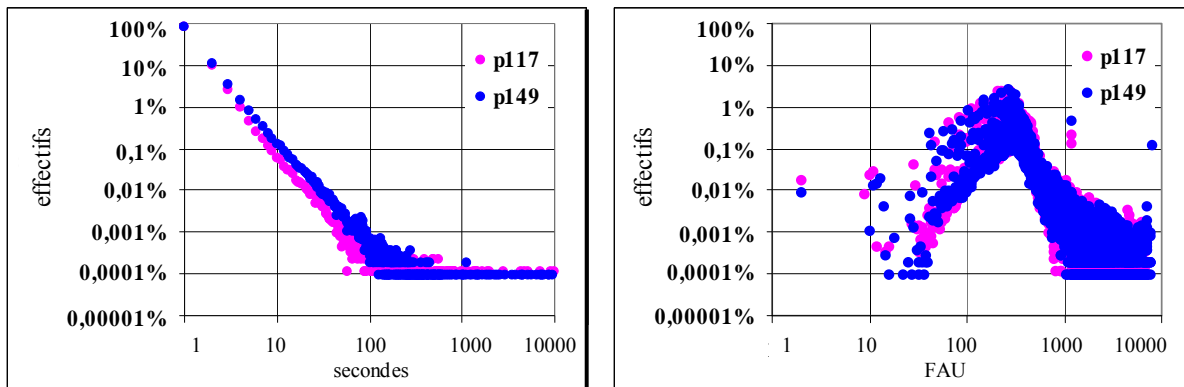
(c)

Figure 6 - Histogrammes du bruit (des écarts entre le signal de référence et les valeurs délivrées par chaque capteur) de chacun des turbidimètres

Figure 6 - Histograms of the difference between the reference signal and the delivered cell data

6.1.2 Durée des pics

Un pic est défini pour toute différence supérieure à 35 FAU entre la mesure brute et la référence précédemment définie. Ce seuil est fixé à partir de l'analyse de l'histogramme de bruit (Fig. 6). La Figure 7 présente la durée de ces pics. Seul 1% des pics ont une durée supérieure à 10s (hors période de colmatage complet du turbidimètre supérieur à 3 heures). La durée de la majorité des pics est très courte. Le graphe de droite sur cette même figure montre l'amplitude de ces pics, par tranche de 1 FAU. Le mode de la distribution est de ≈ 300 FAU. 44% des pics ont une amplitude supérieure à cette valeur. Il faut se rappeler que la gamme de mesure en eaux usées est en moyenne située entre 200 et 600 FAU. Les pics ont une amplitude non négligeable par rapport à cette gamme.



(a) Durée des pics.

(b) Amplitudes des pics.

Figure 7 - Caractéristiques des pics.

Figure 7 - Peaks characteristics

6.1.3 Fréquence des pics sur des fenêtres d'une minute

La Figure 8 montre le nombre moyen de valeurs aberrantes à éliminer dans le cas d'une stratégie d'enregistrement à la minute. Notre échantillonnage étant à la seconde, nous avons à traiter des populations successives de 60 mesures, le traitement est réalisé avec un tableur du commerce. La majorité des fenêtres de 1 minute est exempte de valeurs aberrantes puisque ce nombre est de 68% pour le turbidimètre p117 et de 63% pour le turbidimètre p149. Il reste 30 à 40% des cas où un traitement du signal est nécessaire. Une simple moyenne est insuffisante car trop sensible aux valeurs de turbidité extrêmes des pics.

La Figure 9 illustre cette remarque. Elle donne pour exemple l'erreur commise en utilisant la simple moyenne sur un échantillon de 60 valeurs sur le cas d'école suivant : (60-n) mesures vraies à 250 FAU avec n pics de 300 FAU. Ces pics indésirables sont des valeurs aberrantes à éliminer. Une douzaine de pics suffise à biaiser la moyenne de 25%. La solution est d'éliminer ces valeurs aberrantes, et de n'effectuer les moyennes qu'après sélection de mesures réalistes.

De plus, il est intéressant de garder une trace de l'opération de filtrage réalisée, par exemple l'effectif des valeurs sélectionnées. Intuitivement, si nous ne sélectionnons qu'une valeur, le résultat du filtrage sera incertain. A l'inverse, si la totalité des mesures est sélectionné, le résultat du filtrage devient fortement probable. Un exemple d'application de cette stratégie sur une période de 13 jours est présenté Figure 10. Sur ce graphique sont présentés la chronique de référence notée Réf tel que selon l'équation 2, la moyenne arithmétique m149 des mesures brutes d'un turbidimètre (soit la moyenne des 300 valeurs mesurées durant 5 minutes), le signal traité f149.

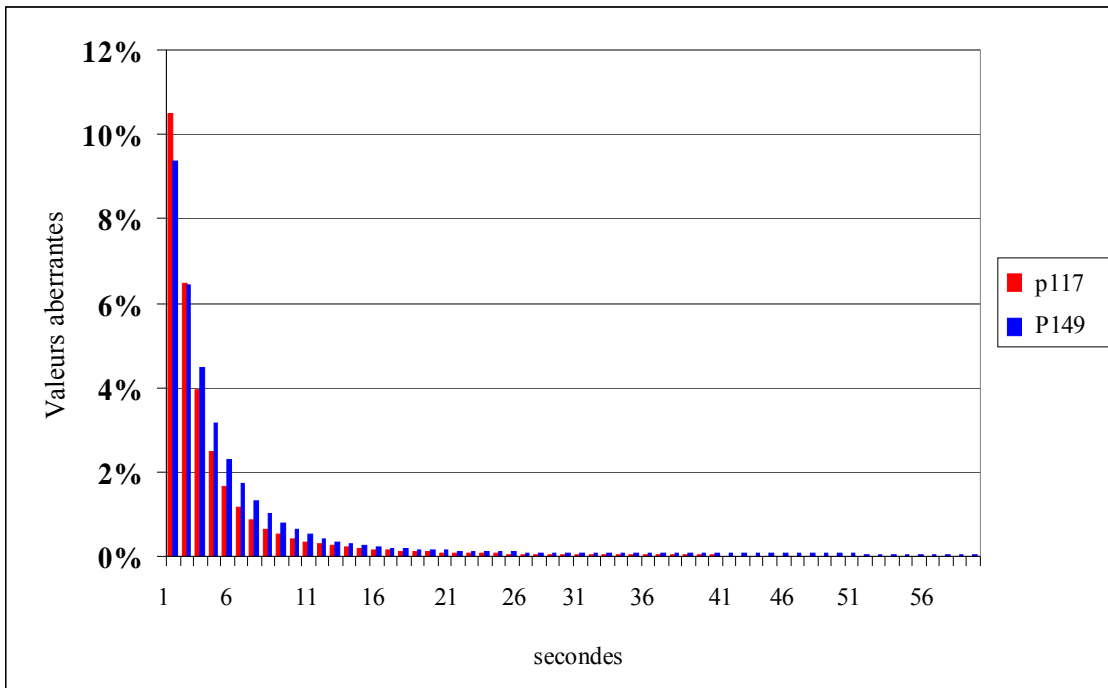


Figure 8 - Identification de la distribution des valeurs aberrantes au cours du temps lors d'un enregistrement à l'échelle de la minute

Figure 8 - Distribution of removed values versus time (sampling data duration: 1 min)

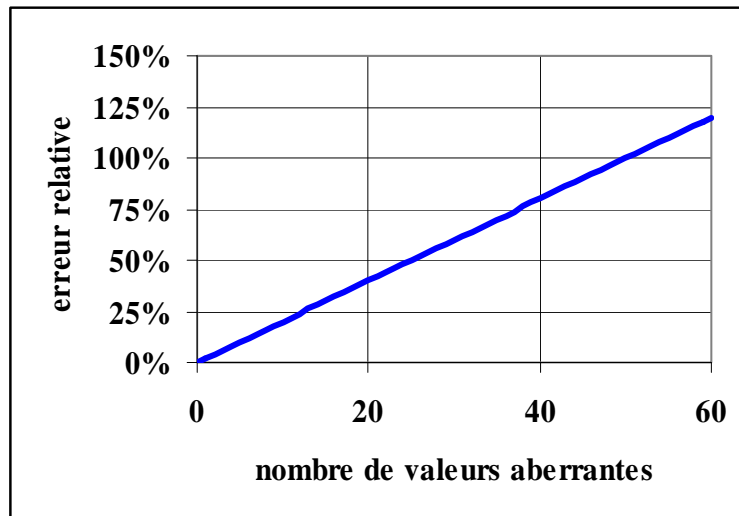


Figure 9 - Biais provoqué par l'usage de la moyenne arithmétique pour le cas d'école : Ce cas est composé d'une mesure vraie à 250 FAU et bruité de n pics de 300 FAU

Figure 9 - Bias induced by the use of mean arithmetic applied on a signal test: such signal is composed with a true value at 250 FAU and n peaks of 300 FAU

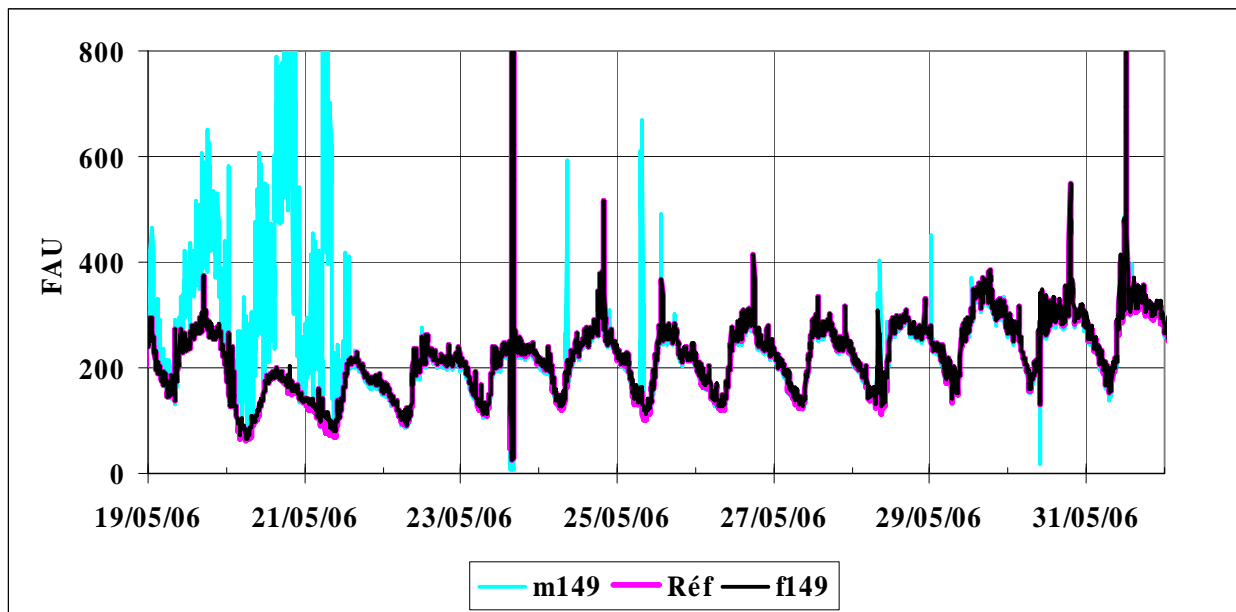


Figure 10 - Exemple de mai 2006, sur une chronique de 13 jours. Exemple de traitement des données. Analyse d'une chronique de 13 jours en mai 2006

Figure 10 - Example of data treatment - Analysis of 13 days of continuous sampling in May 2006

Nous constatons que l'utilisation d'une simple moyenne arithmétique durant la période du 19 au 22 mai 2006 ruine totalement l'information. L'usage du filtre a permis d'extraire correctement l'information du signal d'origine bruité. La chronique filtrée est comparable à la chronique de référence. En dehors des périodes bruitées, les trois chroniques sont comparables, sans biais notable entre elles.

7. VALIDATION DES DONNEES ACQUISES

Cette phase dans l'acquisition des mesures n'est évoquée ici que pour rappeler son importance. Pour traiter le problème de validation de données de capteurs, il existe plusieurs approches.

- Des méthodes «manuelles» (par un opérateur). Malheureusement, cette approche (subjective) est impraticable en temps réel et elle s'avère laborieuse en temps différé en raison de la grande quantité de données collectées. Une assistance automatique peut être apportée par exemple, détermination automatique des dépassements des gammes de mesure du capteur.
- Utilisation de méthodes dont le principe repose généralement sur un test de cohérence entre un comportement observé du processus (mesures «en ligne» des capteurs) et un comportement prévu, fourni par un modèle mathématique (redondance virtuelle).
- L'utilisation de la redondance matérielle. C'est une solution efficace et qui semble relativement simple à automatiser.

Les informations conservées sur la qualité du traitement du signal doivent être intégrées à la phase de validation. Il est évident qu'il faut également utiliser les données issues des contrôles et réglages du matériel et de son suivi...

8. CONCLUSION

L'usage de la turbidimétrie en réseau d'eaux usées est réalisable, mais nécessite quelques précautions:

- Matériel de mesures.

Il faut utiliser des turbidimètres convenablement réglés et étalonnés. Le suivi de ces réglages est utile. Un entretien préventif du point de mesure est indispensable, avec une fréquence d'intervention élevé.

- Stratégie d'acquisition et d'enregistrement.

Il ne faut pas utiliser de mesures instantanées prises individuellement.

Le réglage de l'amortissement de l'appareil, ou l'utilisation d'une simple moyenne, ne permet pas d'éliminer les artefacts de mesures. De préférence, il faut traiter une population de mesures échantillonnée. La population de cet échantillonnage permet de juger la qualité de la mesure et d'appliquer le traitement adéquat à ces dernières. Ce traitement consiste à éliminer les pics indésirables. De plus cette stratégie fournit des indications qui aident à évaluer la pertinence des mesures et par conséquent facilitent la validation ultérieure des données traitées.

La mesure de turbidité, associée à des données de débits et de conductivité, ouvre la voie à des analyses fines du fonctionnement du réseau. C'est un domaine encore peu exploré, mais qui semble potentiellement très prometteur.

9. REFERENCES

- AUMOND, M., and JOANNIS, C. (2006). "Mesure en continu de la turbidité sur un réseau séparatif eaux usées : mise en œuvre et premiers résultats." ('Continuous monitoring of turbidity of wastewater in a separate sanitary sewer: practical set-up and first results.') *La Houille Blanche*, No. 4, pp. 121-128 (DOI: 10.1051/lhb:200604021).
- AUMOND, M., and JOANNIS, C. (2008). "Processing sewage turbidity and conductivity recorded in sewage for assessing sanitary water and infiltration/inflow discharges." *Proc. 11th International Conference on Urban Drainage*, Edimburg, Scotland, UK, 2008, 8 pages.
- HENCKENS, G.J.R., VELDKAMP, R.G., and SCHUIT, A.D. (2002). "On monitoring of turbidity in sewers." In: STRECKER E.W. and HUBER W.C. (eds.), "Global solutions for urban drainage." *Proc. 9th Int. Conf. on Urban Drainage*, Portland, Oregon, 8-13 Sept., CD-ROM, ASCE Publications, Reston VA, mars 2000, 14 pages.
- JOANNIS, C., CHEBBO, G., RUBAN, G., BERTRAND-KRAJEWSKI, J.L., and GROMAIRE, M.C. (2006). "Précision et reproductibilité du mesurage de la turbidité des eaux résiduaires urbaines sur échantillons." ('Accuracy and reproducibility of turbidity measurements in urban waste water.') *La Houille Blanche*, No. 4, pp. 129-135 (DOI: 10.1051/lhb:200604022).
- RUBAN, G., RUPERD, Y., LAVEAU, B., and LUCAS, E. (2001). "Self-monitoring of water quality in sewer systems using ultra-violet and visible absorbance." *Water Science and Technology*, Vol. 44, No. 2-3, pp. 269-276.

VELDKAMP, R.G., HENCKENS, G., LANGEVELD, J., and CLEMENS, F. (2002). "Field Data on Time and Space Scales of Transport Processes in Sewer Systems". In: STRECKER E.W. and HUBER W.C. (eds.), "Global solutions for urban drainage", *Proc. 9th Int. Conf. on Urban Drainage*, Portland, Oregon, 8-13 Sept., CD-ROM, ASCE Publications, Reston, VA, 8 pages.

