

QUANTIFICATION DES MES A L'AIDE D'UN CAPTEUR INFRAROUGE DE TURBIDITE

KHERICI Samira, BENOUALI Djillali, BELKANDOUCI M. Mustapha.

Département de Chimie Physique ; Université des sciences et de la technologie,
Oran, BP 1505 El-Menaouer 31000, Oran
E-mail: benouali2001@yahoo.fr

Résumé

La mesure de turbidité est associée à la notion de transparence de l'eau, donc à la présence de matières en suspension. La corrélation entre la concentration des particules solides en suspension (MES) et la turbidité de l'eau apparaît évidente, cependant vu la diversité et la complexité des milieux de mesure, l'interaction de la radiation avec les MES engendre plusieurs phénomènes. Il est connu que la mesure de la turbidité augmente avec la concentration des MES et la diffusion est le phénomène majeur observé lorsqu'un faisceau lumineux rencontre un obstacle. Et ce faisceau est réémis dans de multiples directions. Dans ce cas les diffusions de Rayleigh et de Mie sont distinguées. Pratiquement, vu la nécessité de contrôle et la gestion automatique des procédés de traitement et d'épuration des eaux, il y a actuellement, un besoin en production d'instruments de mesure pour la quantification des MES dans les eaux et les boues. Les méthodes off-line (gravimétriques) ne peuvent pas fournir l'information exigée surtout lorsqu'il s'agit de mesurer les MES dans de grandes unités de procédé avec une distribution variable des concentrations (décanteurs, bassin d'aération, rivières, estuaires...). En utilisant un capteur optique avec l'infrarouge comme source lumineuse conçus dans notre laboratoire, nous avons tenté dans le présent travail de contribuer dans ce domaine par la mise en œuvre d'un simple système optique infrarouge capable de mesurer la turbidité et par conséquent établir une courbe de corrélation qui existante entre la quantité des MES contenues dans différentes suspensions de diatomite et la mesure du signal de sortie de notre capteur.

Mots clés : capteur infrarouge, turbidité, diatomite, MES, acquisition des données.

Abstract

Currently, turbidity measurement is associated with the notion of water clarity, so with the presence of suspended solids. The correlation between the total suspended solids (TSS) and turbidity of the water appears evident. However, because of the diversity and the complexity of measuring media, the interaction of radiation with TSS generates several phenomena. It is known that, turbidity measurement increases with the concentration of solids. And diffusion is the major phenomenon observed when a light beam is scattered by an obstacle in several directions. In this case Rayleigh and Mie diffusions are distinguished. Owing to the necessity of control and to automatic management of water treatment processes, it is as a result needed for manufacturing of measuring instruments for the TSS quantification in water and sludge. Off-line methods (gravimetric methods) cannot provide the information required especially when measuring TSS in big scale process units with a variable distribution of concentrations (settling tank, aeration basin, rivers, estuaries ...). An optical sensor with infrared light source is designed and used in our work, we have attempted in this paper to contribute in this area by implementing a simple infrared optical system to measure turbidity, and hence establish correlation curve that exists between the amounts of TSS contained in various suspensions of diatomaceous earth and sensor measured output signal.

Keywords: infrared sensor, turbidity, diatomite, TSS, data acquisition.

1. Introduction

La turbidité (Tu) des eaux est généralement mesurée par voie optique [1-3]. En pratique, on éclaire de l'eau et on mesure le flux lumineux diffusé par rapport au flux lumineux incident : La valeur du flux diffusé caractérise la diffusion par les particules solides. Plus il y a des MES, plus la mesure est élevée. Donc une corrélation entre la mesure de turbidité et les MES existe, et ce paramètre physicochimique -MES- de l'eau, très important, peut être rapidement déduit à partir d'une simple mesure de Tu. L'un des objectifs de mesure de turbidité en continu est d'estimer les taux de MES en milieu naturel comme par exemple dans les rivières et les lacs. Cette problématique est traitée par plusieurs travaux publiés à

travers le monde [4-8]. Pour la gestion des ressources en eaux, la turbidité et par conséquent les MES sont des paramètres qui jouent un rôle très important dans la détermination et le contrôle de la qualité des eaux [9,10]. Car les MES entraînent souvent des difficultés de fonctionnement des stations de traitement d'eau de surface, leur présence peut par exemple perturber la désinfection chimique, et le traitement par ultraviolets devient inefficace. La matière organique associée à la turbidité favorise la formation de biofilms (développement de bactéries) dans les réseaux de distribution d'eau. En plus, la turbidité apporte des pollutions supplémentaires, il existe une corrélation directe entre turbidité et hydrocarbures, entre turbidité et pesticides et contaminations fécales.

En pratique, vu la variété de forme des MES deux types de mesures de turbidité sont généralement développées:

- Les mesures en transmission (mesure de l'extinction du faisceau lumineux dans la direction de propagation).
- Les mesures en diffusion à différents angles.

La turbidité mesure la réduction de transparence d'un échantillon d'eau du fait de la présence des MES, c'est un phénomène physique quantifiable notamment à l'aide de la théorie de Mie (Figure 1) [2]. La néphélométrie est une mesure de T_u qui prend en considération la diffusion à 90° .

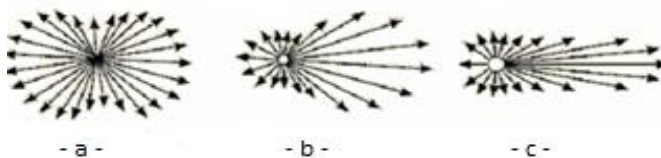


Figure 1 : Diffusions de Rayleigh et de Mie, a : très petites particules(Rayleigh) ; b : petites particules(Mie),c : plus grosses particules (Mie).

En plus de la taille de la particule, plusieurs autres facteurs jouent un rôle important dans la mesure des MES comme: La longueur

d'onde du faisceau incident, la forme des MES, la température, la viscosité, l'indice de réfraction et la concentration en particules. D'une manière générale, pour les petites particules, on peut travailler en rétrodiffusion (en atténuation). Pour les plus grosses particules, il paraît judicieux de se rapprocher de l'axe du faisceau incident. Certains appareils travaillent à plusieurs angles pour avoir une meilleure précision. Il est même possible alors d'avoir une information sur la granulométrie des matières en suspension [11,12]. Il faut savoir aussi que la réponse d'un turbidimètre n'est pas linéaire, car la lumière diffusée par une particule est partiellement captée à son tour par une autre particule, ce qui rend la turbidité et les MES parmi les paramètres difficile à gérer. L'étalonnage des capteurs de turbidité nécessite des solutions étalons à base de formazine comme étalon primaire. D'un autre côté, la source doit émettre dans le domaine infrarouge proche avec longueur d'onde $\lambda = 860$ nm d'après la norme ISO7027. Dans notre travail, nous allons utiliser un capteur infrarouge, conçu dans notre laboratoire à partir de deux diodes infrarouges ; Une LED émettant dans le proche infrarouge 880-940 nm et une diode infrarouge réceptrice placée en atténuation. L'acquisition des données expérimentales est assurée par une carte de conductivité DDSJ308A, nous allons chercher à établir une courbe de corrélation entre la mesure de la turbidité (signal de sortie du capteur) et la mesure des MES (mg/L) d'une suspension de diatomite.

2. Matériels et méthodes

Nous avons conçu une sonde d'immersion pour la détermination de la turbidité de l'eau basée sur la technique de l'atténuation du faisceau incident. Un simple dispositif a été réalisé au laboratoire (Figure 2). L'angle de détection n'est pas de 90° mais forme un angle avoisinant 180° (atténuation).

La mesure de turbidité permet de donner une indication sur les concentrations de matières en suspension qui se trouvent dans la suspension. Ce phénomène étant très dépendant du milieu où sont

faites les mesures, nous cherchons à établir une courbe de corrélation nécessaire pour la détermination indirecte des MES. Cependant, il faut s'attendre que la mesure en milieu naturel pose quelques problèmes. Les capteurs de turbidité sont sensibles à l'encrassement.

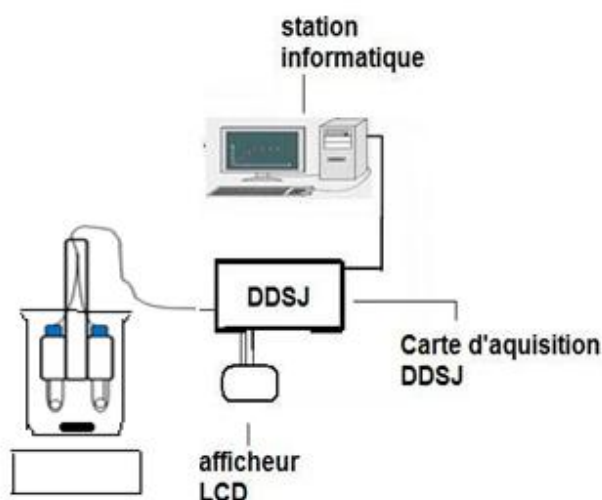


Figure 2: Montage pour la mesure de turbidité de l'eau a l'aide d'un capteur Infrarouge

Nous avons protégé les LED avec des tubes en verre de 1 cm de diamètre et 5 cm de longueur, le tube peut tourner librement dans son support en offrant la possibilité de régler l'angle de réception et ainsi ce capteur s'adapte parfaitement au différent type de suspension, sans risque de colmatage. D'un autre coté il est facile à nettoyer et à calibrer.

Il est établi que la mesure de turbidité est améliorée quand la surface du lecteur optique est automatiquement nettoyée pour enlever les particules fines et les microorganismes, avant chaque

mesure. Pour la comparaison ou la confirmation des résultats, la turbidité des échantillons est mesurée avec un turbidimètre de paillasse Hach Lange 2100P préalablement calibré avant chaque analyse par des solutions de formazine de turbidité connue ($<0,1 - 20 - 100 - 800$ NTU). L'utilisation de notre capteur infrarouge de turbidité (sonde + interface analogique-numérique) nous a facilité l'instrumentation de la mesure des MES. Dans nos travaux antérieurs le signal analogique émis par la diode infrarouge réceptrice a été communiqué vers un PC via plusieurs systèmes d'acquisitions [13,14]. Un multimètre à sortie RS232 et le logiciel Mas view ou DDM view version 2. Une carte d'acquisition de 08 canaux réalisée à base du PIC 16F84. Un datalogger réalisé à base du PIC 16F877/874 accompagné d'un logiciel adéquat. Dans notre présent travail nous avons utilisé une carte d'acquisition de conductivité DDSJ 308A possédant deux entrées, une sonde Pt100 pour la température et l'autre pour l'acquisition des différents signaux analogiques émis en mV. L'électrode de mesure de conductivité a été remplacée par notre capteur de turbidité infrarouge. La carte DDSJ est alimentée par 9 Volts CC, la diode réceptrice reçoit un courant d'excitation directement de la carte.

3. Résultats et discussions

La source doit émettre dans le domaine proche infrarouge avec longueur d'onde $\lambda = 860$ nm d'après la norme ISO7027. L'influence de la lumière du jour est minimiser et l'absorption reste peu important dans l'eau pure à cette longueur d'onde (Figure 3) ; Le signal infrarouge traité n'est pas affecté par la coloration de l'eau [15], seule la diffusion par les particules en suspension intervient alors dans la mesure de turbidité.

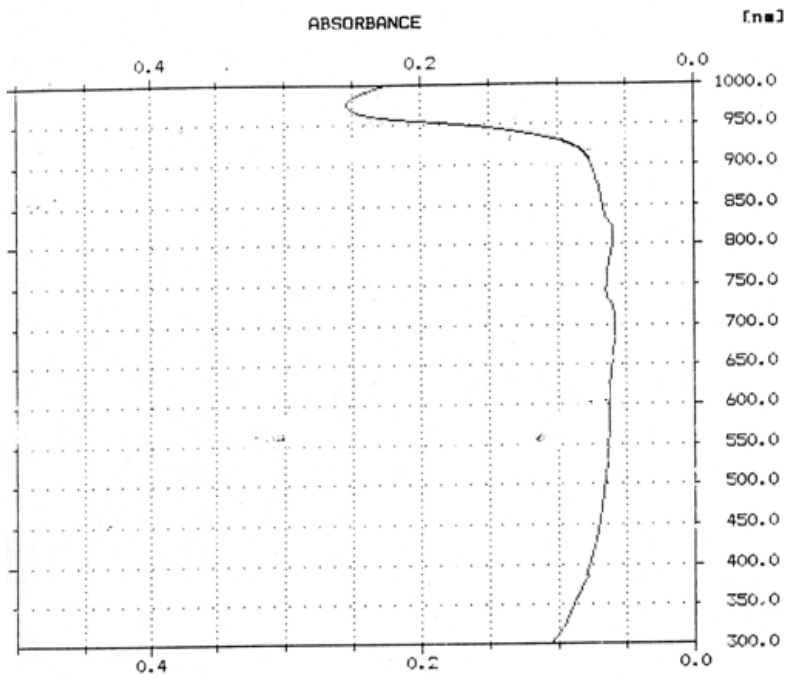


Figure 2 : Absorbance de l'eau dans le visible-proche infrarouge

La diatomite à une forte teneur en silice (de 80 à 90%) c'est une roche légère avec une densité de 0.5 pour la roche sèche, elle se réduit aisément en poudre. La diatomite est un produit très bien défini qui peut servir à préparer des étalons de turbidité et MES secondaires. Nous avons soigneusement agitée la suspension de diatomite à l'aide d'un agitateur magnétique car la vitesse de décantation de la diatomite (kieselgur) est importante. Nous avons préparé deux solutions de granulométries différentes. Une solution de diatomite constituée de particules solides en suspension de grande taille possédant une vitesse de décantation rapide et une autre solution à particules fines possédant une vitesse de décantation relativement très lente.

L'acquisition à l'aide de la carte DDSJ montre une stabilité et une fiabilité des mesures : Dans le vide Tu-IR simulée est égale à 13, dans l'eau déminéralisée Tu-IR simulée est égale à 43. Dans une

suspension de diatomite Tu-IR simulée maximum mesurée peut atteindre 255.

Malgré les précautions, l'acquisition directe de valeurs moyennes sur des pas de temps de quelques secondes peut produire des enregistrements avec des valeurs erronées due dans notre cas a : Source de chaleur ; L'agitation ; Passage des grosses particules entre les LED ; Variation de la tension d'alimentation. Ainsi qu'au colmatage momentané du capteur. Il convient d'effectuer un traitement du signal avant utilisation des mesures. Il convient de supprimer les valeurs erronées.

Nous avons réalisé l'étalonnage de notre capteur en utilisant plusieurs suspensions étalons de formazine et de diatomite de turbidité répartie sur la gamme étudiée. La formazine est un étalon principal composé d'un polymère blanc, aux propriétés optiques non contestées et qui offre une bonne reproductibilité. Cependant il faut signaler que la formazine est préparée a partir de réactifs a propriétés cancérigènes ou mutagènes, en l'occurrence la sulfate d'hydrazine et de l'hexaméthylène tétramine, et le plus gros défaut de la formazine est donc a priori son instabilité.

Le point de réglage bas (zéro relatif) est effectué à l'aide d'une eau distillée /deminéralisée (conductivité $\leq 1\mu\text{S}/\text{cm}$). Le point de réglage haut du capteur de turbidité est effectué à l'aide d'une suspension de diatomite à 1,5 g/l. Les résultats d'étalonnage du capteur de Tu-IR sont illustrés dans la figure 4.

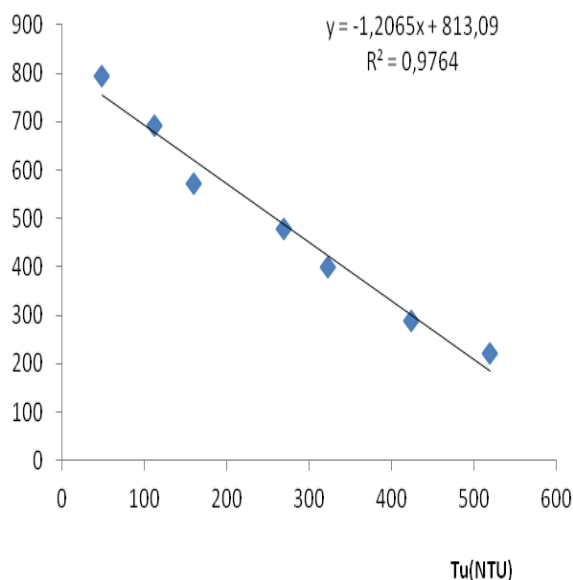


Figure 4 : Courbe d'étalonnage de Tu(NTU)/ Tu-IR

D'après les résultats d'étalonnage notre capteur possède un comportement linéaire dans l'intervalle 100-700 NTU, cependant il demande un étalonnage pertinent dans les zones de 0-2 ; 5-10 et 10-50 NTU. Pour la validation des résultats et dans le cas d'un soupçon a propos d'une valeur nous pouvons vérifier si le capteur fonctionne correctement ou pas en faisant une mesure dans le vide ou dans l'eau déminéralisée de référence.

Le tracé de droites de corrélation entre la teneur en MES (diatomite) et les valeurs mesurées de turbidité permettent de vérifier la linéarité de cette relation. Les échantillons sont préparés par ajout d'eau déminéralisée à une quantité déterminée de suspension de diatomite. D'après la théorie de Mie, la relation d'étalonnage recherchée sur échantillons réels ne sera une droite que, si et seulement si, toutes les suspensions sont de granulométrie et de nature absolument identique. Si cette condition est satisfaite, alors la droite existe et, à la longueur d'onde de 950 nm, insensible à la présence de substances dissoutes, cette droite passe par l'origine. Expérimentalement, ceci s'illustre facilement en réalisant plusieurs échantillons par dilution d'une suspension mère de diatomite (Figures 5,6), supposition faite que la dilution n'aura pas d'effet majeur sur les caractéristiques granulométriques des particules.

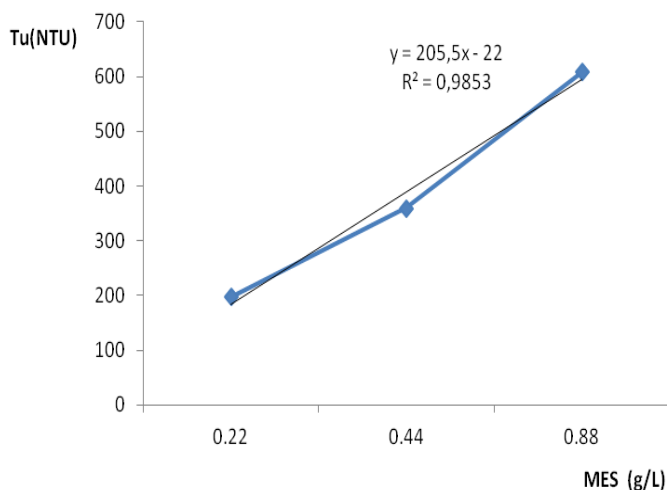


Figure 5 : Courbe d'étalonnage MES/Tu(NTU)

Les droites d'étalonnage sont calculées par régression simple, avec la turbidité (NTU) comme variable explicative et la concentration en matières en suspension comme variable expliquée. Cependant, le capteur infrarouge est plus précis pour la quantification des MES dans cette intervalle de concentration considéré dans la figure 6. Plusieurs essais de dilution ont été menés conduisant aux mêmes conclusions soit avec l'appareil commercial de mesure de turbidité soit à l'aide de notre système de mesure infrarouge.

Dans le cas d'échantillons dilués possédant une concentration en MES variant entre 0,2 à 1 g/l, la courbe d'étalonnage est bien une droite. D'après les valeurs de coefficient de corrélation des droites tracées sur la figure 6 il est possible de forcer le passage de la droite de corrélation par l'origine dans le cas de Tu (NTU) ou la valeur de l'eau déminéralisée de référence pour Tu-IR. Dans ce cas nous pouvons tracer une droite d'étalonnage en ne prenant qu'un minimum de points expérimentaux. Mais nous pensons que pour plus de précision et comme dans le cas de mesure de turbidité il faut faire un étalonnage correspondant à différentes plage de mesure.

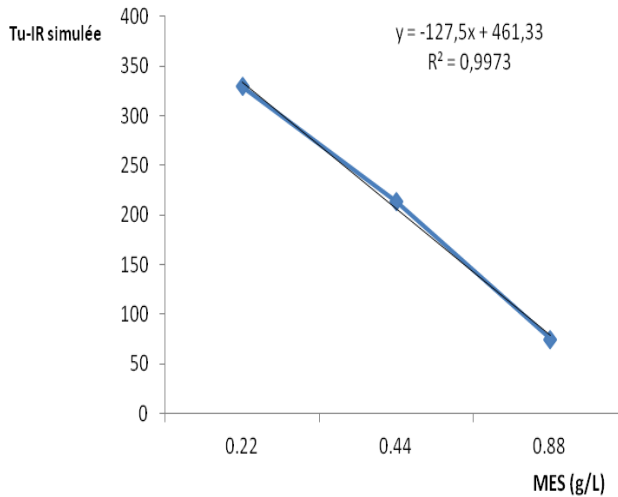


Figure 6: Courbe d'étalonnage MES/Tu-IR

Conclusion

L'utilisation de capteur infrarouge de turbidité peut mener à ce que l'indicateur MES peut être préconisé dans le cadre de l'auto-surveillance dans les stations de traitement, dans les réseaux de distribution d'eau potable et dans l'assainissement. Il est difficile de corrélérer la turbidité au MES car la taille, la forme et l'indice de réfraction influent énormément sur la diffusion de la lumière et sont sans lien avec la masse. Comme même dans certain intervalle la corrélation donne une linéarité presque parfaite. Ainsi une détermination des MES peut être effectuée avec toute confiance à l'aide de notre capteur infrarouge de turbidité et place cette méthode comme une alternative à la méthode gravimétrique relativement très lente et surtout très difficile à incérer en continu.

4. Bibliographies

- [1] M.I. Mishendo, J.W. Hovenier, L.D. Travis, Light Scattering by Nonspherical Particules: Theory, Measurements, and Applications. San Diego, Academic Press (1999) 620 p.
- [2] A. Maréchal, Relations entre caractéristiques de la pollution particulaire et paramètres optiques dans les eaux résiduaires urbaines, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine – Génie des Procédés (Nancy), (Nancy) (2000) 217 p.
- [3] G. Ruban, Mesure en continu de la pollution des rejets urbains de temps de pluie par voie optique, *Techniques et Sciences Municipales*, 11(1995) 835-836.
- [4] D.J. Lewis, K.W. Tate, R.A. Dahlgren, J. Newell, Turbidity and Total Suspended Solid Concentration Dynamics in Stream flow from California Oak Woodland Watersheds, USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-184 (2002)107-118
- [5] D. Dumas, Optimisation de la quantification des flux de matière en suspension d'un cours d'eau alpin : l'Isère à Grenoble (France). *Comptes Rendus Geosciences* 336, 13 (2004) 1149-1159.
- [6] R.B. Susfalk, B. Fitzgerald, A.M. Knust. Characterization of Turbidity and Total Suspended Solids in the Upper Carson River, Nevada. January 2008, DHS Publication No. 41242
- [7] F. B.J. Lefrancois, C. Grimaldi, E. Novince, N. Gilliet, C. Gascuel-Odoux. Mesure des flux et échantillonnage des matières en suspension sur petits cours d'eau. *Ingénieries* 40 (2004) 21-35.
- [6] C.P. Holliday¹, T.C. Rasmussen, William P. Miller, Establishing the relationship between turbidity and total suspended sediment concentration. Proceedings of the 2003 Georgia Water Resources Conference, held April 23-24, 2003, at The University of Georgia, Kathryn J. Hatcher, Editor, Institute of Ecology, The University of Georgia, Athens, Georgia.
- [7] Low Hui Xiang Daphne, Handojo Djati Utomo, Lim Zhi Hao Kenneth, Correlation between Turbidity and Total Suspended Solids

in Singapore Rivers. *Journal of Water Sustainability*, 1(3) (2011) 313-322.

[8] V. Mano, J. Némery, P. Belleudy. Un an de mesure des flux de Matières En Suspension (MES) et de Carbone sur une rivière alpine : l'Isère. *SHF* : «Transports solides et gestion des sédiments en milieux naturels et urbains», Lyon, 28-29 novembre 2007 – Mano et al

[9] A. Maréchal, M. Aumond, G. Ruban, Mise en œuvre de la turbidimétrie pour évaluer la pollution des eaux résiduaires, *La Houille Blanche*, 5(2001)81-86.

[10] A. Hannouche, G. Chebbo, G. Ruban, B. Tassin, C. Joannis, Relation entre la turbidité et la concentration en Matières En Suspension en réseau d'assainissement unitaire Manuscrit auteur, publié dans "Techniques Sciences Méthodes 2010, 10 (2011) 42-51.

[11] N.J. Clifford, K.S. Richards, R.A. Brown, S.N. Lane, Laboratory and Field Assessment of an Infrared Turbidity Probe and Its Response to Particle Size and Variation in Suspended Sediment Concentration. *Hydrological Sciences* 40(6) (1995) 771-791.

[12] J.L. Bertrand-Krajewski, S. Barraud, G.L. Kouyi, A. Torres, M. Lepot, On-line monitoring of particulate pollutant loads in urban sewer systems: stakes, methods, example of application. *La Houille Blanche* (4) (2008) 49-57.

[13] Benouali D., Kacha S., Kherici S. and Benabadji N. Study of the flocculated particles sedimentation assisted by microcomputer, *The open hydrology journal* 4(2010) 14-18

[14] Benouali D., Benabadji N., Kherici S. and Benyettou M. Etude assistée par microordinateur de la décantation des particules en suspension. *International revue on electronics engineering (USTO)* 1(2010)21-27.