

Le capteur de super-turbidité LISST-AOBS associe la turbidité optique à l'acoustique

YOGESH C AGRAWAL, H.C. POTTSMITH, D. DANA, ET OLE A. MIKKELSEN

Sequoia Scientific, Inc., 2700 Richards Road, Bellevue, Washington, États-Unis 98005
yogi.agrawal@sequoiasci.com; ole.mikkelsen@sequoiasci.com

RÉSUMÉ

La turbidité optique est une méthode largement utilisée pour contrôler les matières dans l'eau. La turbidité en tant que substitut de la concentration de matières en suspension (CMES) a un étalonnage qui varie selon la granulométrie. Les turbidimètres nécessitent donc un étalonnage fréquent pour des matières déterminées. Le plus récent capteur à rétrodiffusion acoustique LISST-ABS utilise une rétrodiffusion acoustique de 8 MHz pour mesurer la CMES. Il produit une réponse quasi constante pour une granulométrie de 30 à 500 microns environ, mais il nécessite quand même un l'étalonnage à une granulométrie inférieure à 30 microns environ. Les deux technologies présentent des tendances contraires quant au changement de sensibilité (exprimée en volts/[mg/l]) du capteur en fonction de la granulométrie. C'est en associant les deux mesures qu'on obtient un capteur de super-turbidité, le LISST-AOBS. Sa sensibilité minimale aux changements de granulométrie fait en sorte qu'un réétalonnage est rarement nécessaire.

1. INTRODUCTION

La turbidité optique est une méthode de mesure de choix pour le contrôle des sédiments. Elle est simple et produit un seul résultat qui peut être étalonné. Elle consiste à mesurer la lumière diffusée par des particules dans une direction choisie, par exemple, en rétrodiffusion, en diffusion latérale, etc. Toutefois, cette turbidité est généralement exprimée en unités de turbidité néphélométrique (NTU) ou en unités formazine (FTU), qui expriment l'apparence « trouble » du liquide. Ces unités ne correspondent pas à la concentration de matières en suspension (CMES). La turbidité mesurée doit être étalonnée pour obtenir la CMES. Cet étalonnage dépend de la granulométrie. En conséquence, tout turbidimètre doit être étalonné selon la taille des matières déterminées présentes au site de mesure. Si la granulométrie de ces matières varie, il en va de même de l'étalonnage. On peut alors se demander où, dans la nature, on trouve des distributions granulométriques qui ne varient pas dans l'espace et dans le temps.

La relation de dépendance granulométrique des turbidimètres s'exprime comme $1/d$; donc, par exemple, les signaux de turbidité seront dix fois plus forts pour une granulométrie de 15 microns que pour une granulométrie de 150 microns (voir Sutherland et coll., 2000). Ces granulométries sont souvent typiques du spectre granulométrique observé dans les milieux fluviaux : les grains les plus fins occupent la colonne complète de la rivière, tandis que les plus grossiers composent habituellement la charge remise en suspension. En fait, les grains plus grossiers ne sont souvent pas captés par les turbidimètres, ce qui donne l'impression erronée d'une colonne d'eau homogène (Laguione et coll., 2007).

En revanche, de meilleurs résultats sont obtenus avec le LISST-ABS, un nouvel instrument acoustique à rétrodiffusion à haute fréquence de 8 MHz fabriqué par Sequoia Scientific, inc., située à Bellevue, Washington (États-Unis). Sa sensibilité est assez constante pour des granulométries de 30 à 500 microns environ. Cependant, pour des granulométries inférieures à 30 microns, la sensibilité se détériore rapidement à mesure que la granulométrie diminue. En fait, pour la turbidité optique, la tendance

du changement de sensibilité selon la granulométrie pour la turbidité optique est contraire à celle de la turbidité acoustique, comme le montre la figure 1.

La figure illustre les tendances contraires des deux technologies, de même que la sensibilité quasi constante du LISST-ABS aux granulométries de 30 à 500 microns environ avec un *facteur de 16* du changement de la sensibilité optique.

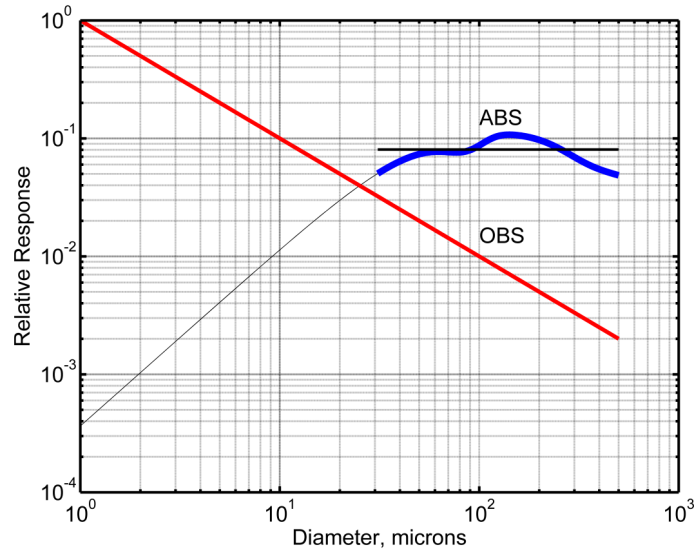


Figure 1 : Diffusion caractéristique par volume de particules pour les capteurs optiques à rétrodiffusion (OBS) et le LISST-ABS, un capteur acoustique à rétrodiffusion (ABS) de 8 MHz.

2. LE CAPTEUR DE SUPER-TURBIDITÉ LISST-AOBS

Le concept de super-turbidité s'applique à la somme pondérée du signal optique de turbidité (SSC_O) et du résultat du LISST-ABS (SSC_A). Un facteur de pondération (γ) est calculé de sorte que la somme $SSC_A + \gamma SSC_O$ varie le moins possible en fonction de la granulométrie. En d'autres termes, γ est la solution de l'équation :

$$\delta/\delta\gamma [SSC_A + \gamma SSC_O]^2 / <SSC_A + \gamma SSC_O > = 0$$

Pour calculer la solution à cette condition, nous commençons par le signal combiné s , soit la somme de la réponse optique et de l'intensité acoustique respectivement, exprimée comme :

$$s = \alpha M/d + \beta f^2 M/d \quad (1)$$

où les lettres grecques α et β correspondent simplement à des constantes d'étalonnage, M à la concentration massique, d au diamètre granulométrique et f à un *facteur de forme* acoustique [Thorne et Hanes, 2002]. Le facteur de forme est fonction de la granulométrie, et f^2 est la contrepartie acoustique de l'efficacité de diffusion optique σ .

Dans une diffusion des granulométries multiples, l'équation ci-dessus est modifiée comme suit :

$$s = \sum_i [\alpha /d_i + \beta f_i^2 /d_i] M_i \quad (2)$$

Comme nous cherchons à obtenir une sensibilité uniforme pour toutes les granulométries, la forme désirée est :

$$s = C \sum M_i \quad (3)$$

Autrement dit, la quantité entre crochets de l'équation 2 doit être aplatie à une valeur constante ou qui tend le plus possible vers une valeur constante. On y parvient en réécrivant d'abord l'équation 2 avec l'ajout du facteur γ , qui vient pondérer l'une des deux réponses, comme suit :

$$s \sim \sum_i [1/d_i + \gamma f^2/d_i] \quad (4)$$

Le facteur de pondération γ se calcule en réduisant au minimum la variance de la quantité entre crochets de l'équation 4, normalisée en fonction de la valeur moyenne $\langle s \rangle$, soit :

$$[\delta s / \delta \gamma]^2 / \langle s \rangle = 0 ; \quad (5)$$

Grâce à cette optimisation, on obtient ce résultat tout simple : égaliser la réponse de l'optique et de l'intensité acoustique pour des particules de 30 microns (intersection entre « acoustique » et « optique »), puis additionner les deux résultats (flèche noire). C'est la réponse illustrée à la figure 2. On constate alors que la réponse combinée change selon un facteur de 2 par rapport à la moyenne (en magenta) sur tout le spectre granulométrique allant de 3 à 500 microns.

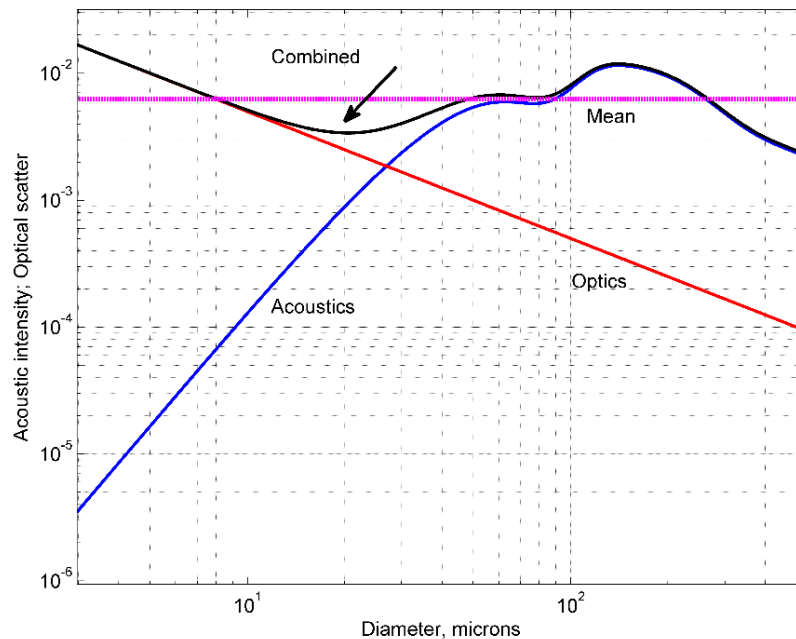


Figure 2 : Réponse acoustique, optique et combinée du capteur de super-turbidité AOBS (V/[mg/L]) pour les diamètres granulométriques allant de 3 à 500 microns. La réponse moyenne est illustrée par la droite horizontale magenta. Remarquez que la réponse combinée (en noir) varie selon un facteur inférieur à 2 de la moyenne sur tout le spectre granulométrique.

3. VÉRIFICATION EN LABORATOIRE

La mise en œuvre concrète de cette idée exige tout simplement de mesurer la réponse à 30 microns d'une sonde de diffusion optique et du LISST-ABS pour déterminer le facteur γ qui les égalise à cette granulométrie. Dès lors, pour toute distribution granulométrique dans le spectre de 3 à 500 microns, la sensibilité combinée ne varie pas au-delà d'un facteur de 2 environ.

Même si un facteur de 2 peut sembler une variation de la sensibilité importante, cette démarche présente tout de même des avantages lorsqu'on la compare à un facteur de variation de 500 pour la sonde optique et un facteur semblable pour les signaux acoustiques dans le spectre granulométrique de 1 à 500 microns. Seules les méthodes à diffraction laser lui sont supérieures.

Dans cette vérification, nous avons mesuré la réponse à un spectre granulométrique étroit, ainsi que la réponse à une large distribution granulométrique. La figure 3 illustre, pour toute une gamme de concentrations, les réponses véritables par rapport aux réponses mesurées de capteurs individuels pour un spectre granulométrique étroit de 4 à 8 microns et de 125 à 150 microns, ainsi que pour les polydiffusions A2, A3 et A4 fournies par Powder Technology, inc., Colorado (É.-U.).

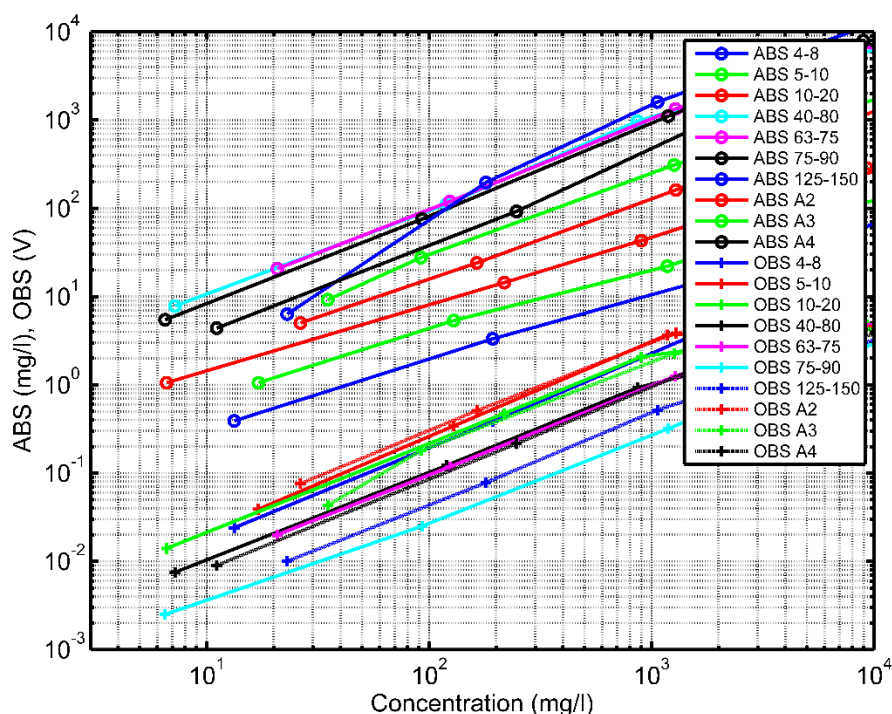


Figure 3 : Données d'étalonnage du LISST-ABS (grappe supérieure, cercles), où la taille des particules augmente de bas en haut, et d'un turbidimètre (grappe inférieure, croix), où la taille des particules diminue de bas en haut. Les données montrent une sensibilité presque identique du capteur ABS pour les fourchettes granulométriques plus grossières de 40 à 80, de 63 à 75, de 75 à 90 et de 125 à 150 microns. La sensibilité est inférieure pour les particules fines de 4 à 8, de 5 à 10 et de 10 à 20 microns. La tendance est inversée pour la turbidité optique, puisque la sensibilité diminue lorsque la granulométrie augmente.

La figure 3 illustre les résultats pour une gamme de concentrations données de MES dans l'échantillon. Comme le montre la figure 2, les données confirment la sensibilité considérablement

inférieure de la réponse acoustique pour les particules plus fines mises à l'essai. La réponse optique suit généralement la formule 1/diamètre.

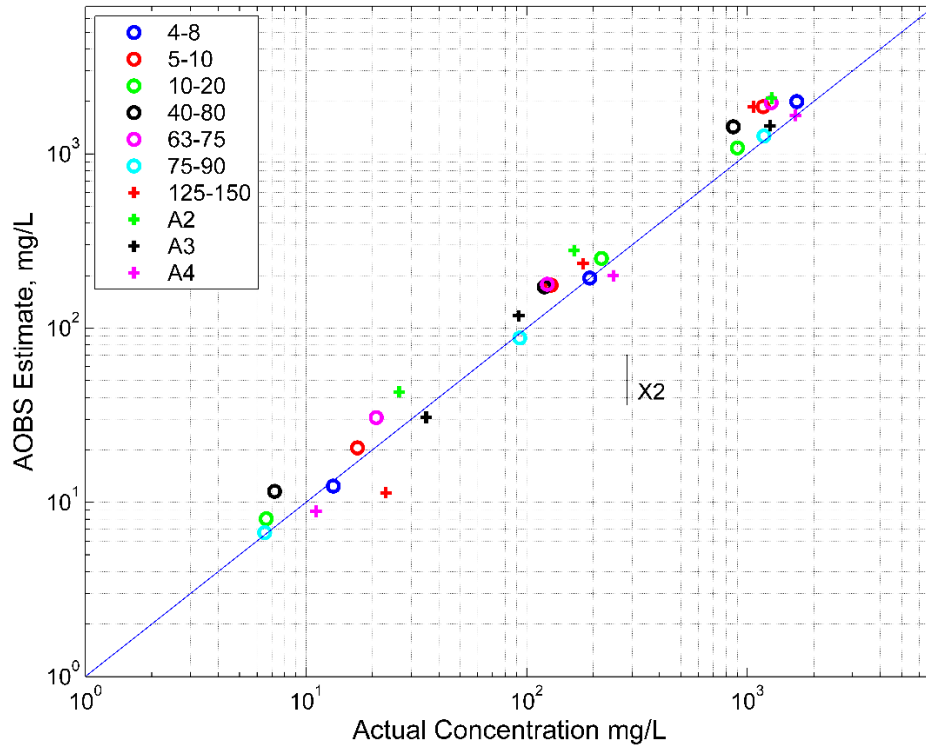


Figure 4 : Réponse combinée du capteur de super-turbidité LISST-AOBS à un vaste spectre granulométrique et à des distributions granulométriques variées. La droite verticale « X2 » représente un facteur de 2. On observe que la variabilité de taille ne dépasse pas un facteur de 2 pour toutes les particules mises à l'essai.

La figure 4 illustre la réponse combinée du LISST-AOBS par une somme pondérée, comme expliqué à la figure 2. Les dix types de particules sont regroupés dans une seule courbe d'étalonnage. La variation de la droite de 1:1 ne dépasse pas un facteur de 2 pour une gamme de concentrations sur une échelle de trois puissances de dix (10^0 - 10^3).

CONCLUSION

Les turbidimètres exigent un étalonnage pour mesurer les concentrations de matières en suspension en raison de leur sensibilité granulométrique. Le capteur acoustique LISST-ABS a une meilleure réponse aux granulométries grossières, mais manque de sensibilité pour les particules fines. Le capteur de super-turbidité LISST-AOBS a une réponse combinée qui la rend quasi indépendante des changements d'étalonnage en fonction des variations granulométriques.

RÉFÉRENCES

Laguionie, P., A. Crave et A. Jigore (2007) : Velocity and suspended sediment concentration profiles in rivers: in situ measurements and flux modeling. Dans : River Basin Management IV, p. 335-343.

WIT Transactions on Ecology and the Environment, vol. 104, p. 335-343.
<https://doi.org/10.2495/RM070321>.

Sutherland, T.F., Lane, P.M., Amos, C.L. et J. Downing (2000) : The calibration of optical backscatter sensors for suspended sediment of varying darkness levels. Marine Geology 162 2000, p. 587–597.

Thorne, P. D. et Daniel M. Hanes (2002) : A review of acoustic measurement of small-scale sediment processes. Continental Shelf Research 22 (2002), p. 603–632.