

# **Université Pédagogique Nationale**

**Faculté des Sciences**

**Département de Physique et Sciences Appliquées**

**BP: 8815 Kinshasa-Binza**

**Assessment of sediment transport in Brazzaville site by  
adjusting the formula for Ashmore**

**Estimation du transport solide dans le site de Brazzaville  
par l'ajustement de la formule d'Ashmore**

**Edouard KONZI PANISE SIAMO\***

**Enseignant à l'UPN**

**Docteur en Sciences en Hydrologie**

**Département de Physique et Sciences Appliquées UPN**

**(+243) 816515588 ; 850469534**

**E-mail : edouard.konzi@upn.ac.cd**

## Résumé

Les matériaux issus des érosions continentales ainsi que de sédiments produits par les érosions du fond du lit et des berges et charriés par une rivière constituent le transport solide. Ses eaux chargées de sédiments sont impropres à la consommation, affectent l'équilibre environnemental et provoquent de fois, l'ensablement de cours d'eau. Notre étude au Pool-Malebo (rive-droite) s'est déroulée en janvier et avril 2008 et en avril-mai 2013. Notre objectif était de quantifier le flux sédimentaire associé à l'écoulement en appliquant la formule d'Ashmore pour les rivières en tresses.

A l'aide de l'ADCP, nous avons mesuré les paramètres hydrauliques dans cinq sites en amont et en aval. Les prélèvements des échantillons d'eau par le « Messenger » nous ont permis l'analyse au laboratoire et le calcul des différentes concentrations.

Par site, nous avons effectué trois prises d'eau au milieu du fleuve, le long d'une verticale, la première prise à 1 m du fond pour ce tronçon du fleuve à suspension prépondérante.

Les résultats obtenus en appliquant ce modèle pour estimer le transport solide ont montré ses limites en dehors de ses conditions d'utilisation. Ceci nous a amené à proposer l'ajustement de ce modèle et les résultats sont encourageants.

Le nouvel outil de prédiction proposé doit être validé par d'autres études dans des rivières similaires.

**Mots clés :** flux sédimentaire, ADCP, paramètres hydrauliques, messenger, transport solide, outil de prédiction.

## Abstract

Materials from continental erosion and sediment produced by erosion of the river bed and banks and are carried by river sediment transport.

The sediment-laden water is unfit for consumption, affect the environmental balance and cause silting of both rivers.

Our experimental sites were located in the "Pool-Malebo" located in the right side of Congo River. This experiment was conducted from January up to April 2008 and the other scientific data collection took place from April to May 2013.

Our major objective was and still is, to quantify the sediment flux combined with the river flow using Ashmore's formula for rivers braids.

Using ADCP, we measured hydraulic parameters in five sites upstream and downstream.

The water samples by the "Messenger" allowed us to make laboratory analysis and measure the different concentrations.

Three hydrants have been conducted in the middle of the river, along a vertical; the first shot at 1 m from the bottom for this stretch of the river casting suspension.

The obtained results by applying this model to estimate sediment transport has showed its weak point outside its terms of use.

This led us to make some the adjustment of this model and the obtained results from modification are encouraging and wonderful.

The new prediction tool proposed must be validated by other studies in similar experimental conditions (river).

**Keywords:** sediment flux, ADCP, hydraulic parameters, messenger, sediment transport, prediction tool.

## Introduction

Le fleuve Congo, situé en Afrique Centrale est par sa longueur (4700 km), le deuxième fleuve en Afrique après le fleuve Nil. Par son module moyen et son bassin versant, il occupe au niveau mondial, la deuxième position après le fleuve Amazone.

Avant d'arriver à Brazzaville, ce fleuve reçoit des puissants affluents tant de la rive droite que de la rive gauche [9,11,].

Hormis l'Oubangui et la Sangha, les apports des rivières de la rive droite très réguliers (cas de la Likouala, de la Nkéné) contribuent à maintenir la régularité de son régime [3,5].

En plus le Kasai (rive-gauche) se singularise par un régime inverse de celui de l'Oubangui par des hautes eaux de février-avril et des basses eaux en août.

S'il ne modifie pas le régime du fleuve Congo, il inverse le rapport des *minimas*, celui d'avril devenant plus faible. Les débits extrêmes relevés sont 23.000 m<sup>3</sup>/s le 16 juillet 1905 et 75.480 m<sup>3</sup>/s le 16 Décembre 1961 [3,12].

Par ailleurs, calculé sur 104 ans (1902 2006), le module annuel du Congo est de 40.800 m<sup>3</sup>/s avec un débit spécifique de 11,7/l/km<sup>2</sup> et un volume d'eau exporté de 1.290 milliards de m<sup>3</sup>.

La lame d'eau ainsi écoulée est de 370 mm, ce qui, avec une précipitation de 1600 mm, donne un coefficient d'écoulement faible de 24% malgré divers apports atmosphériques [14].

Ce phénomène est associé à une forte évapotranspiration favorisée par une vaste partie forestière du bassin et une infiltration importante contrôlée par la partie sableuse du bassin, plateau Batéké et Cuvette, lesquelles occupent les ¾ de la République du Congo.

En plus, les études de [9] ont ressorti une mauvaise hydraulité du fleuve pendant la période allant de 1981 à 2005 avec une hauteur moyenne au Beach de 1,40 m avec des étiages de plus en plus sévères depuis 1981 et une hauteur moyenne minimale en baisse de 157% et cela a des conséquences sur la navigation.

Les analyses de ces mêmes études ont montré aussi que le nombre de jours dans l'année où la côte de l'échelle du Beach indiquait moins de 100 cm a augmenté de 90% entre la période allant de 1953 à 1980 et la période allant de 1981 à 2005 pendant que la hauteur moyenne était en baisse de 29 % entre les deux périodes.

Malgré ces études, aucune étude n'a été effectuée à notre connaissance pour corréliser le débit liquide et le débit solide faute des données sur le débit solide.

Ainsi, sur la rive droite du Pool-Malebo (ex Stanley-pool), il se développe une forte sédimentation notamment au port public de Brazzaville [5,9].

Ce dépôt de sable perturbe énormément les manœuvres au port public et ce, pendant l'étiage, de mi-mai à mi-septembre de chaque année.

Etant donné que ce phénomène d'ensablement est la conséquence d'un fort transport solide couplé à une mauvaise hydraulité de ce cours d'eau, la prédiction du débit solide de ce site est donc primordiale afin de mieux le quantifier et proposer aux décideurs un choix

d'aménagement optimal des ouvrages hydrauliques dans le but de mieux orienter l'écoulement qui passera par le chenal principal qui longe le port public et ce, en toute saison. A ce sujet, divers modèles empiriques du débit solide ont été proposés dans la littérature [7, 8, 15, 16, 17].

Cependant, l'analyse critique de ces modèles émises par certains auteurs dont [1,8] et les résultats obtenus par Konzi [11] ont montré que l'efficacité de quelques-uns de ces modèles élaborés dans des canaux de laboratoire dépend de plusieurs paramètres *in situ*.

Dans ce contexte, notre travail s'articulera autour de six points ci-après : l'introduction, le modèle du transport solide, le prélèvement et le traitement des données, les résultats et la discussion, et enfin, la conclusion.

## Modèle de transport solide

Concernant les matériaux solides transportés, il sied de souligner que dans cette étude, les termes transport solide et débit solide sont ceux utilisés pour traduire leurs caractéristiques. Ainsi, le fleuve Congo transporte des matériaux granulaires (argile, limon, sable, gravier) ainsi que des matériaux organiques, de troncs d'arbre, de branches, de jacinthes d'eau etc.

Ce transport solide est dû aux érosions continentales et à celles de fond du lit et des berges provoquées en grande partie par l'écoulement des eaux.

En général, on classe le transport solide en trois modes : le transport par charriage, par suspension et par saltation qui est l'intermédiaire entre les deux autres [2, 7, 8].

On comprend dès lors que le mode de transport est tributaire des conditions hydrauliques, géométriques et sédimentaires, pour une taille de grains donnée.

Lorsque la vitesse d'écoulement est faible les grains demeurent au repos et pour une vitesse élevée, les particules se déplacent selon les modes que nous venons de définir ci-dessus.

En plus, l'analyse granulométrique des sédiments permet leur représentation, en pourcentage en poids de grains, en fonction de leurs dimensions caractéristiques  $d_x$ .

En laboratoire, cette granulométrie est obtenue par tamisage pour des grains de dimensions supérieures à 74  $\mu\text{m}$ . Toutefois pour le transport solide, il est peu fréquent de mesurer la partie fine ( $< 74\mu\text{m}$ ) puisqu'elle ne participe pas à la morphologie d'un cours d'eau.

En hydraulique fluviale, sachant que la dimension d'un grain correspond au pourcentage en poids du grain de transit ou passants, un des paramètres de caractérisation du sol est le paramètre d'étendue granulométrique défini par la relation ci-après :

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}} \quad (1)$$

Avec  $d_{84}$  = diamètre caractéristique de grains pour 84% de passants et  $d_{16}$  = diamètre caractéristique de grains pour 16% de passants.

Cet indice permet de déterminer si la granulométrie d'un sol est uniforme où étendue.

Ainsi, pour un sol dont  $\sigma < 2$  , il est à granulométrie uniforme, à *contrario*, si  $\sigma > 2$  , sa granulométrie est étendue.

En plus, les sédiments d'un cours d'eau sont mis en mouvement sous l'action des forces hydrodynamiques générées par l'écoulement en fonction de leur propre poids.

Ainsi, pour un écoulement permanent uniforme dans un chenal, l'eau exerce sur les parois (fond et berges) une contrainte tangentielle appelée également contrainte tractrice.

Dans ce cas, les forces appliquées sur les parois peuvent s'exprimer par la relation ci-après :

$$dF = \tau_0 d \quad (2)$$

Où  $\tau_0$  est la contrainte tractrice (en kPa ou  $\text{kN.m}^{-2}$ )

De plus, en hydraulique fluviale, le débit de mise en mouvement d'une particule de diamètre  $d_{50}$  se produit lorsque le nombre de Shields (nombre adimensionnel) dépasse une certaine valeur relativement constante appelée seuil de mise en mouvement définie par la relation ci-après [7, 8, 11] :

$$\tau^* = \frac{\tau}{g(\rho_s - \rho_w)d_{50}} \quad (3)$$

$$\text{Avec } \tau = g \cdot \rho \cdot R \cdot S_0 \quad (4)$$

$$\text{Et } \tau^* = \frac{R \cdot S_0}{(s-1)d_{50}} \quad (5)$$

Dans la formule (3),  $\rho_s$  et  $\rho_w$  désignent respectivement la masse volumique des sédiments (en  $\text{kg/m}^3$ ) et la masse volumique de l'eau (en  $\text{kg/m}^3$ ).

Dans la relation (4),  $\tau$  désigne la contrainte tractrice au fond du lit et dans la relation (5), R représente le rayon hydraulique (rapport entre la surface mouillée  $S_m$  et le périmètre mouillé  $p_m$ ,  $R = \frac{S_m}{p_m}$ ) et  $R=H$  si  $\frac{W}{H} > 10$  avec W, la largeur active de la surface de l'eau et

H, la profondeur moyenne tandis que  $S_0$  est la pente géométrique de fond et S, la pente de la surface de l'eau ( $S=S_0$  pour un écoulement permanent). Le rapport  $s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$  est la densité relative [10, 11, 15].

En pratique, dans le calcul, on utilise le diamètre moyen des sédiments  $d_x = d_{50}$ .

Ainsi, le début de mise en mouvement commence lorsque  $\tau_c^* \geq 0,047$  pour une granulométrie uniforme et  $\tau_c^* \geq 0,138$  pour une granulométrie étendue.

On note que  $\tau_c^*$  est appelé paramètre adimensionnel critique à partir duquel débute le mouvement d'une particule.

Notons que plusieurs modèles empiriques d'estimation du transport solide existent dans la littérature et l'évaluation de leur précision consiste à calculer le ratio entre le débit solide simulé ( $Q_{s \text{ sim}}$  en  $\text{m}^3/\text{set}$  le débit solide mesuré  $Q_{s \text{ mes}}$  en  $\text{m}^3/\text{s}$ ). Ce ratio noté r se traduit par la relation suivante [15] :

$$r = \frac{Q_{s \text{ sim}}}{Q_{s \text{ mes}}} \quad (6)$$

Signalons que lorsque ce ratio est égal à l'unité ou s'approche de celle-ci, on est en présence d'une très bonne précision.

Ainsi, la recherche de la solution à ce problème d'efficacité d'une loi de transport solide nous a amené à tester le modèle d'Ashmore (1988) proposée par l'auteur [15] étant donné que le tronçon du fleuve à l'étude est en forme de tresses [11] et sous sa forme adimensionnelle il se présente comme suit :

$$\phi = 3,11 (\tau^* - 0,045)^{1,37} \quad (7)$$

Avec  $\phi$ , débit solide adimensionnel.

Dans un chenal de largeur  $W$  (en m), on calcule le débit solide  $Q_s$  par la relation ci-après [17] :

$$Q_s(\text{kg/s}) = W \cdot q_{sv} \cdot \rho_s \quad (8)$$

$$\text{Avec } q_{sv}(\text{m}^3/\text{s}/\text{m}) = \sqrt{g(s-1)d_{50}} \quad (9)$$

Avec  $g$  : accélération de la pesanteur (en  $\text{m/s}^2$ )  $d_{50}$  : diamètre caractéristique de grains pour 50% de passants et  $q_{sv}$  : débit volumétrique.

## Prélèvement et Traitement des données

L'étude a été menée successivement en janvier et avril 2008 et en avril-mai 2014, périodes de la petite crue pour le fleuve Congo à régime bimodal (grande et petite crue) [9,11].

### *Caractérisation des sites expérimentaux*

Nous avons mené nos études dans cinq sites expérimentaux à savoir : à Maloukou (PK30) dans le chenal, au village Bonkolo (PK28) situé à l'entrée du bras congolais (rive-droite), en amont de Brazzaville, au canal Mbamou (PK02) et au quai pétrolier (PK0,755) à la sortie du chenal principal et milieu du fleuve au droit du Beach de Brazzaville. Le quai Pétrolier est situé à 755 m de la station hydrométrique du Beach de Brazzaville qui se trouve à 270 m d'altitude par rapport au niveau de l'océan atlantique à Pointe-Noire (République du Congo), suivant les coordonnées géographiques : 15°17'37'' Est et 04°16'21'' Sud.

Cette station hydrométrique, localisée à 500 km de l'embouchure du fleuve Congo, contrôle 95% du bassin versant du fleuve Congo avec une superficie de 3.475.000  $\text{km}^2$  [12].

### *Granulométrie des sédiments*

Cette granulométrie se rapporte spécifiquement au village Bonkolo, au quai Pétrolier et au canal Mbamou, sites où nous avons testé l'efficacité de la méthode d'Ashmore (MAS) par rapport aux mesures *in situ*.

Dans ces trois sites nous avons prélevé des échantillons du sol au niveau des berges et au niveau du fond du lit du fleuve à une profondeur de  $\pm 4$  m.

L'analyse granulométrique de ces échantillons que nous avons prélevés a été réalisée au Laboratoire National des Travaux Publics de Kinshasa (LNTP), par tamisage selon les normes de l'Association Française de Normalisation (AFNOR).

L'exploitation de ces données nous a amené à représenter les indices caractéristiques du sable ainsi que leur courbe granulométrique sur la figure 1 en annexes [11].

Nous allons par la suite, après avoir présenté nos observations ainsi que nos analyses des images satellitaires, décrire le mode opératoire des prélèvements des échantillons d'eau par le « messenger » ainsi que les mesures effectuées par l'ADCP ou le Profileur [11, 18].

### *Observation et images satellitaires*

A partir de nos observations sur le terrain et en exploitant notre étude qualitative de la dynamique fluviale au Pool-Malebo à partir des images satellitaires, il s'avère que ce tronçon du fleuve Congo est le siège d'une dynamique très active des bancs de sables suite aux multiples érosions et dépôts observés de l'entrée du bras congolais (rive-droite) situé en amont jusqu'au Beach de Brazzaville situé en aval (figure 2 en annexes).

### *Prélèvement avec le « Messenger »*

Par la suite, à l'aide du Messenger, nous avons prélevé des échantillons d'eau dans cinq sites de l'amont vers l'aval : Maloukou (PK30), village Bonkolo (PK28), quai Pétrolier (Pk0, 755), Canal Mbamou (PK02) et milieu du fleuve au droit du Beach.

Nous avons effectué chaque prélèvement au milieu du chenal, sur trois points d'une verticale de bas en haut (à 1 m du fond, à 1 m du premier prélèvement et à 1 m du deuxième prélèvement).

Les trois prises de 75 cl chacune soit, 2,25 l, étaient transvasées chaque fois dans un ballon en plastique (capacité de 3l) et étiqueté.

Nous avons analysé ses échantillons au laboratoire du Groupe de Recherche en Sciences Exactes et Naturelles de Brazzaville (GRSEN) et nous avons calculé la concentration de chaque échantillon.

Les prélèvements de Maloukou nous ont permis après analyse, de calculer la concentration de sable qui passe par le chenal en amont du bras congolais (rive-droite).

Les résultats obtenus à partir des échantillons du milieu du fleuve en aval nous ont amené à évaluer la concentration de sable y relative.

A partir des échantillons du village Bonkolo (PK28), du quai pétrolier PK 0,755 et du canal Mbamou (PK02), nous avons calculé le débit solide correspondant par la formule ci-après [3,11] :

$$Q_s = C_m Q \quad (10)$$

Avec  $Q_s$ : Débit solide (en kg/s) ;

$C_m$ : Concentration de sable (en mg/l) ;



Q: Débit solide passant par le site (en m<sup>3</sup>/s).

### *Mesure par l'ADCP ou le Profileur*

A l'aide de cet appareil (Acoustic Doppler Current Profiler), nous avons mesuré les paramètres hydrauliques (largeur, profondeur, périmètre mouillé, section mouillée, vitesse, débit) au niveau de chaque section transversale de chaque site.

Le profileur était fixé sur un support en bois fabriqué par le service technique du Service Commun d'Entretien des Voies Navigables (SCEVN), suite à l'absence de son trimaran qui n'a pas livré par le fournisseur.

Cet assemblage était suspendu par un cordage de 5mm de diamètre, le tout fixé à bâbord de la coque de la vedette hydrographique de SCEVN et plongé à 30 cm en dessous du plan d'eau.

L'autonomie de fonctionnement de l'ADCP était assurée par une batterie (12V-70AH) et l'appareil fournissait les données en interface avec un PC (de marque Panasonic) à bord. Celui-ci par son logiciel (Winner River 2) traitait en temps réel les informations qui lui étaient transmises.

Nous avons effectué les mesures de la rive droite à la rive gauche et inversement et ce, au quai Village Bonkolo, au Quai Pétrolier et au Canal Mbamou.

### **Résultats**

Les résultats que nous présentons ici sont basés sur un échantillon des mesures au Pool-Malebo correspondant à la période de petite crue (mi-avril à mi-mai) moins importante que la grande crue de septembre à janvier de chaque année pour une année hydrologique bimodale du fleuve Congo.

Les tableaux I, II et III (en annexes) présentent les concentrations en sable ainsi que les paramètres hydrauliques respectivement au village Bonkolo, au quai Pétrolier et au canal Mbamou.

Il est à noter que pour les tableaux IV et V (en annexes) relatifs au site de Maloukou et au milieu du fleuve au droit du port de Brazzaville, nous avons calculé les débits liquides à partir de la formule de la courbe de tarage du SCEVN en fonction des hauteurs d'eau lues quotidiennement entre 6h00 et 7h00 du matin à la station du Beach [11] :

$$Q = 263,9 * (H + 9,3)^{2,1} \quad (11)$$

Avec H (en m), hauteur d'eau au Beach de Brazzaville.

Pour la méthode d'élaboration d'une courbe de tarage, se rapporter à Jacon [10] et Roche [18].

Il ressort du tableau IV (en annexes) que pour une concentration moyenne en sable de 12,88 mg/l, pour une largeur du fleuve de 2,66 km à Maloukou et un débit liquide de 39.937 m<sup>3</sup>/s, le fleuve Congo charrie 44.443 t/j de sable.

En comparant ces résultats aux données d'Olivry et *al.*[14] avec 22.080 t/j de sable charriés par un débit liquide de 38.770 m<sup>3</sup>/s en 1989, il s'avère que le fleuve Congo en 15 ans a transporté de plus en plus de sable soit une augmentation de 201 %.

Au village Bonkolo situé à l'entrée du bras congolais (rive-droite), le débit d'écoulement moyen de 6.409 m<sup>3</sup>/s transporte 6.320 t/j. Au niveau du quai Pétrolier à la sortie du chenal principal qui passe par le port publique, 3.942 t/j de sable sont charriés par un débit liquide de 4.282 m<sup>3</sup>/s tandis qu'au canal Mbamou, 3.167 tonnes de sable sont transportées par jour par un débit liquide de 2.287 m<sup>3</sup>/s.

En faisant la sommation des deux débits solides (quai Pétrolier et canal Mbamou), on constate que 78,46 kg/s passent par les deux chenaux. Par rapport à 74,16 kg/s de débit solide qui traverse le village Bonkolo, il y eu un apport sédimentaire de 4,3 kg/s entre l'entrée du Bras congolais (rive-droite) et la sortie par les deux chenaux, soit une augmentation de 10%.

Cela peut s'expliquer par la dynamique active de ce tronçon du fleuve et probablement aussi, par les apports externes qui proviendraient des rivières de la rive droite qui traverse Brazzaville et se jettent sur le fleuve : Tshiémé (14,49 km de long avec un bassin versant de 48,88 km<sup>2</sup>), Djiri (56,4 km de long avec un bassin versant de 792,2 km<sup>2</sup>) et Lifoula (17,4 km avec un bassin versant de 48,88 km<sup>2</sup>).

Enfin, les résultats que nous avons obtenus par simulation en s'appuyant sur des mesures *in situ* au milieu du fleuve Congo montrent qu'un débit liquide moyen de 39.937 m<sup>3</sup>/s charrie en moyenne 33,1kg/s de sable soit 28.598 tonnes de sable par jour (tableau V en annexes).

Comparativement au débit solide qui traverse Maloukou, il se dégage un surplus de 183 kg/s c'est-à-dire 15.845 tonnes de sable de plus par jour. En d'autre terme, 36% de sable ne sont pas passé par le milieu du fleuve à 1,83 km au droit de la station du Beach sur une largeur totale (Kinshasa-Brazzaville) de 3,83 km.

Nos résultats sont confortés par les données de Laraque et Adèle [12] qui avaient réalisé des études au milieu du fleuve avec 22.080 t/j de sable charriés pour un débit de 38.770 m<sup>3</sup>/s en 1994 contre une moyenne de 44.444 tonnes de sable par jour charriés par un débit liquide moyen de 39.937 m<sup>3</sup>/s (tableau V en annexes).

Nous avons au vu de ces résultats comparer les débits solides simulés par la MSJ avec les débits solides mesurés dans les trois sites.

A partir des résultats de cette comparaison présentée par le score r de la relation (6), nous avons évalué l'efficacité de la Méthode d'Ashmore (MAS).

A ce sujet, notre comparaison nous montre qu'au quai Pétrolier, le score est de 50 pour un débit solide simulé de 2270 kg/s au regard de 46 kg/s de sable mesuré. Au village Bonkolo, nous avons obtenu un score de 47 pour un débit solide simulé de 3486 kg/s par rapport à un débit solide mesuré de 74 kg/s.

Enfin, nous avons obtenu un score de 55 au Canal Mbamou pour débit un solide simulé de 2005 kg/s versus un débit solide mesuré de 37 kg/s.

## Ajustement de la MAS

El Kadi [8] citant Cardoso et Neves (1994) ainsi que Molinas et Wu (2001) rapporte ceci : « Nombreux ont été les lois calées et validées essentiellement sur des canaux expérimentaux et pour des conditions hydrauliques, géométriques et sédimentaires bien définies. Appliquées à des cas réels, les taux d'erreur peuvent excéder les 400% ».

De ces considérations émises par cet auteur, et au vu des résultats obtenus par la MAS, nous constatons dans tous les trois sites que les scores obtenus sont dans l'ordre de 50, de 47 et de 55 fois plus élevés respectivement au quai Pétrolier : au village Bonkolo ainsi qu'au canal Mbamou.

Ceci nous a amené à nous poser des questions sur la précision de cette loi au Pool-Malebo et essayer de trouver des solutions un peu plus satisfaisantes au regard des considérations de [8]. C'est ainsi que dans ce qui suit, nous avons proposé d'ajuster cette loi et tester ensuite l'efficacité de son amélioration.

Dans la formule (7) que nous avons présenté ci-haut, nous allons dans l'excès de contrainte  $(\tau^* - 0,045)^{1,37}$  un paramètre  $\xi$  que nous allons appeler « paramètre d'atténuation du nombre de Shields » ou paramètre de Konzi, tout en remplaçant la puissance 1,37 par la puissance 0,5. En plus, nous allons aussi poser une condition qui ne sera valable que pour le nombre de Shields supérieur ou égal à 10 eu égard aux limites proposées par [6], si bien que la loi (7) va prendre la forme suivante :

$$\emptyset = 3,11 (\xi \tau^* - 0,045)^{0,5} \quad (12)$$

Avec  $\xi = 0,14$  et  $\tau^* \geq 10$

Pour la condition  $\tau^* \geq 10$  de la formule (12), nous avons tenu compte des valeurs calculées de 18 au Village Bonkolo, de 13 au Quai Pétrolier et de 14 au Canal Mbamou.

Etant donné que dans la littérature [7,8], les auteurs ont présenté le paramètre d'atténuation du nombre de Shields par la relation ci-après :

$$\xi = \left( \frac{K}{K_p} \right)^{3/2} \quad (13)$$

Pour nous, nous avons proposé d'élever cette relation à la puissance 5/2 au lieu de la puissance 3/2 si bien que la relation (15) va prendre la forme suivante :

$$\xi = \left( \frac{K}{K_p} \right)^{5/2} \quad (14)$$

Où  $K$  désigne le coefficient de rugosité totale du lit et  $K = 40 \text{ m}^{1/3}/s$  pour les rivières [7] et  $K_p$  est le coefficient de rugosité de peau [1, 16]:

$$K_p = \frac{21}{d_{50}^{1/6}} \quad (15)$$

Etant donné que le coefficient  $K_p = 87 \text{ m}^{1/3}/s$  pour un  $d_{50} = 0,20 \text{ mm}$  dans notre site, cela justifie la valeur  $\xi = 0,14$  de la relation (12) ci-dessous.

En appliquant la MSA ajustée notée MASA aux données de terrain et en comparant les résultats obtenus avec ceux mesurés représentés par les figures 3,4, et 5 en annexes, on constate que pour cette méthode, les ratios initiaux ont été réduits de 50 à 2,43 au quai Pétrolier, de 47 à 1,83 au village Bonkolo et de 55 à 2,70 au canal Mbamou.

En somme, la MASA a réduit respectivement de 20,6 fois, de 26,3 fois et de 20,4 fois les ratios au Quai Pétrolier, au Village Bonkolo et au Canal Mbamou.

## Conclusion

Notre expérimentation vient de nous montrer qu'il se développe un transport solide de plus en plus croissant dans ce tronçon du fleuve en forme de tresses.

Les résultats obtenus en appliquant le modèle d'Ashmore (MAS) ont mis en évidence les limites de cet outil de prédiction lorsqu'on s'écarte de ses conditions d'utilisation.

Les premiers résultats obtenus par l'application de cette méthode sont encourageants mis à part la taille réduite de nos mesures et la période limitée de notre étude.

Nous pensons que cette piste de recherche qui vient d'être ouverte peut être exploitée à grande échelle dans le temps et dans l'espace dans de rivières similaires afin de tester et de valider ce nouvel outil de prédiction du transport solide que nous venons de proposer.

Ceci peut s'expliquer dans la mesure où dans nos jeunes pays aux ressources limitées, le coût onéreux des équipements de mesure du débit solide ainsi que le coût de leur maintenance rend difficile leur acquisition.

Confronté à ce genre de problème, les ingénieurs seront souvent amenés à recourir directement aux lois de transport solide sans au préalable procéder aux mesures sur le terrain c'est ainsi que la recherche de l'amélioration de sa précision est un objectif à atteindre.

## **Remerciements**

*Nous adressons nos remerciements au LNTP/Kinshasa pour l'analyse granulométrique des sédiments prélevés dans le site de l'étude. Nous remercions aussi Monsieur Alain Robert, Ingénieur coordonnateur du SCEVN/Brazzaville pour avoir mis à notre disposition le bureau d'études ainsi que l'hydrographe Levy Silver Ayissou pour les mesures que nous avons effectuées ensemble sur le terrain et le traitement au bureau de ces données. A monsieur Bienvenu Dinga Directeur au GRSEN/Brazzaville pour le prélèvement par son collaborateur Alain Malonga des échantillons d'eau dans différents sites et leur analyse au laboratoire. Enfin, nous remercions le Docteur Alain Recking, Directeur à l'IRSTEA/Grenoble pour sa lecture et ses commentaires ainsi que le professeur François Tondozi de l'UNIKIN pour la lecture et les remarques formulées.*

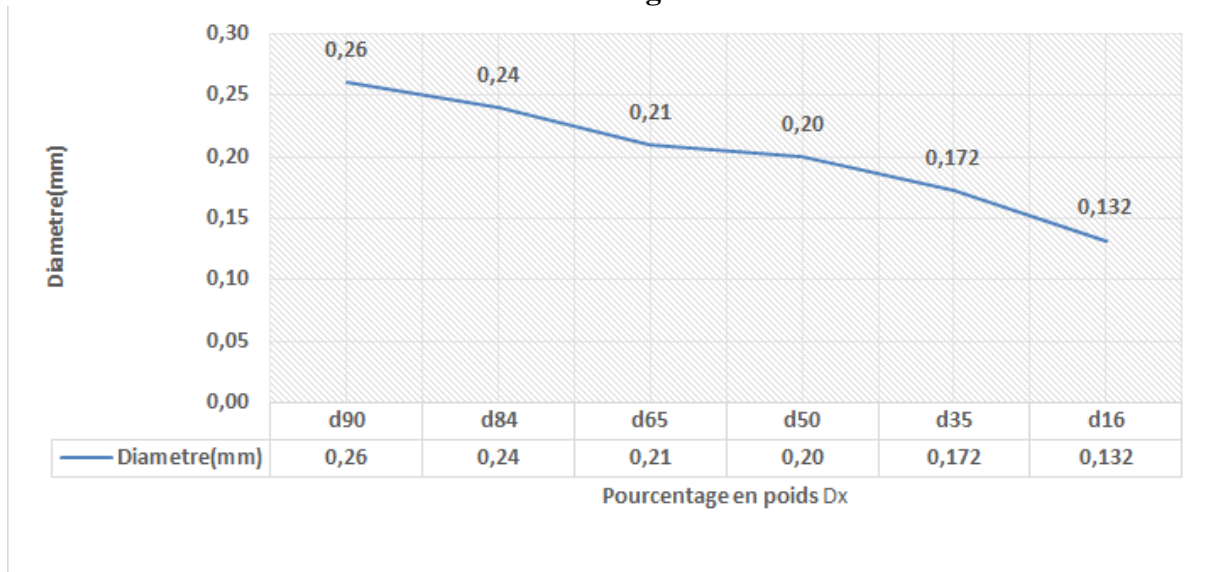
## **Références bibliographiques**

- [1] Belleudy, P. (2001). Le transport solide en rivière : lacunes de connaissances et bilans méthodologiques. Mémoire HDR, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- [2] Bravard, J.P., Petit, F. (1997). Les cours d'eau – Dynamique du système fluvial. Masson et Armand Collin, Paris, 22p.
- [3] Bricquet, J.P. (1990). Le bassin du Congo : Essai de bilans hydrochimiques. ORSTOM, Brazzaville, 23 p.
- [4] Bricquet, J.P. (2008). Formation en hydrométrie. Observation Hydrologique et Ingénierie (OBHI), Montpellier, 70p.
- [5] Boudzoumou, F et al. (2005). Litho stratigraphie : le groupe de diamacites et grès inférieurs, base de super groupe de l'Est-Congo, *Ann.M.Ngouabi* : 6(1) : pp85-90.
- [6] Couvert, B. et al. (1999). « La gestion des rivières-Transport solide et atterrissements-Guide méthodologique».
- [7] Degoutte, G. (2001). Hydraulique et dynamique fluviale. Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG), 28p.
- [8] El Kadi, K.A. (2006). Evolution d'un lit de rivière en fonction des apports. Thèse de Doctorat en Mécanique, Université Claude- Bernard, Lyon, 173p.
- [9] Ilf Consulting Engineer (2006). Etude pour le dragage du port de Brazzaville, Rapport d'étude hydraulique, FED, 66p.
- [10] Jacon, G. (1986). Manuel d'hydrométrie : tracé de la courbe de tarage et calcul des débits. Tome 5, ORSTOM, Paris, 313p.
- [11] Konzi, P.S.E. (2014). Estimation du transport solide en rivière : cas test au Pool-Malebo sur le fleuve Congo (rive-droite), dans le site de Brazzaville. Thèse de Doctorat en Sciences appliquées, orientation ; hydrologie, UPN, Kinshasa, 166p.
- [12] Laraque, A., Adèle, A. (2007). Inventaire critique et Homogénéisation des données hydrologiques du Bassin du Congo, Fort de France, URD154 LMTG/US 019, OBHI.
- [13] Meunier P., Métivier, F. (2009). Permanence des flux de MSJse d'une rivière en tresses expérimentales. Editions scientifique et médicale, Elsevier, SAS, Paris, 6p.
- [14] Olivry, J.C. et al. (1988). Transport de matières sur les grands fleuves des régions intertropicales : les premiers résultats des mesures de flux particulières sur le bassin du fleuve Congo, ORSTOM, Montpellier, 14p.
- [15] Recking, A. (2006). Etude expérimentale de l'influence du tri-granulométrique sur le transport solide par charriage. Thèse de Doctorat, spécialité : Mécanique des Fluides, Institut des Sciences Appliquées de Lyon, 263p.

- [16] Recking, A. et al/(2010). Evaluation des formules du transport solide en rivière avec prise en compte de l'échelle temporelle. Rappot final PGRN 7008? Isère, 41p.
- [17] Recking,A. (2013).Simple method for calculation reach-averages bed-load transport. ASCE, **139**: 70-75.
- [18] Teledyne RD Instrument (2007).Work Horse Rio Grande ADCP, technical manual, 264p.

Annexes

## Liste des figures



**Figure 1: Courbe granulométrique du sable au Pool-Malebo. L'axe horizontal indique le pourcentage en poids des diamètres caractéristiques  $d_x$ , l'axe vertical indique les diamètres de sable, la courbe représente les dimensions correspondantes aux diamètres caractéristiques  $d_x$ .**

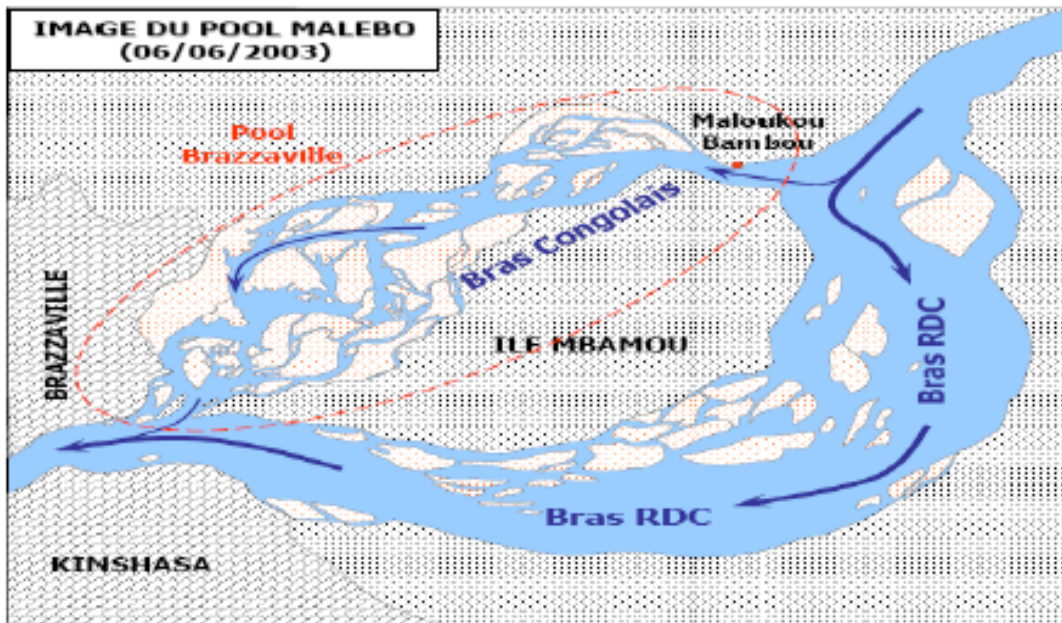
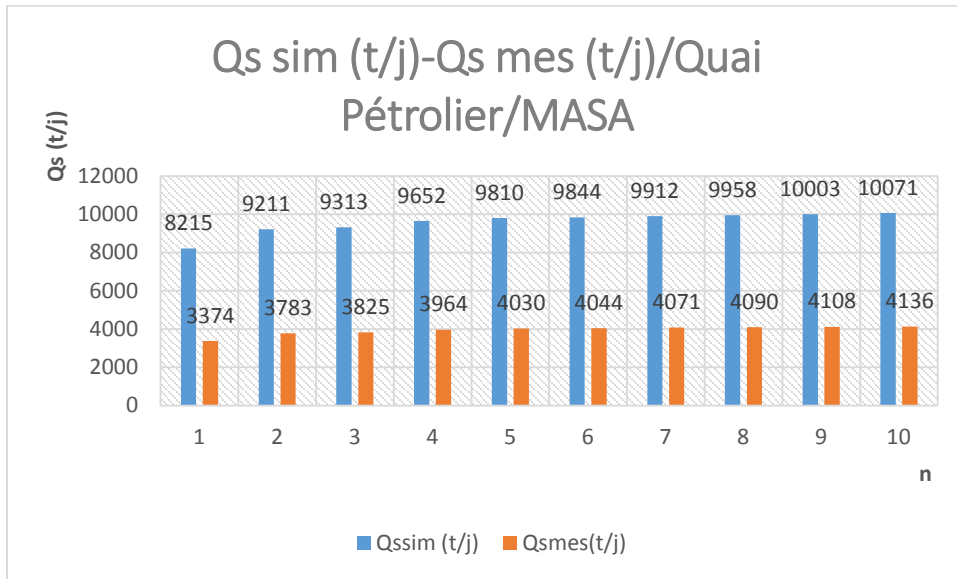


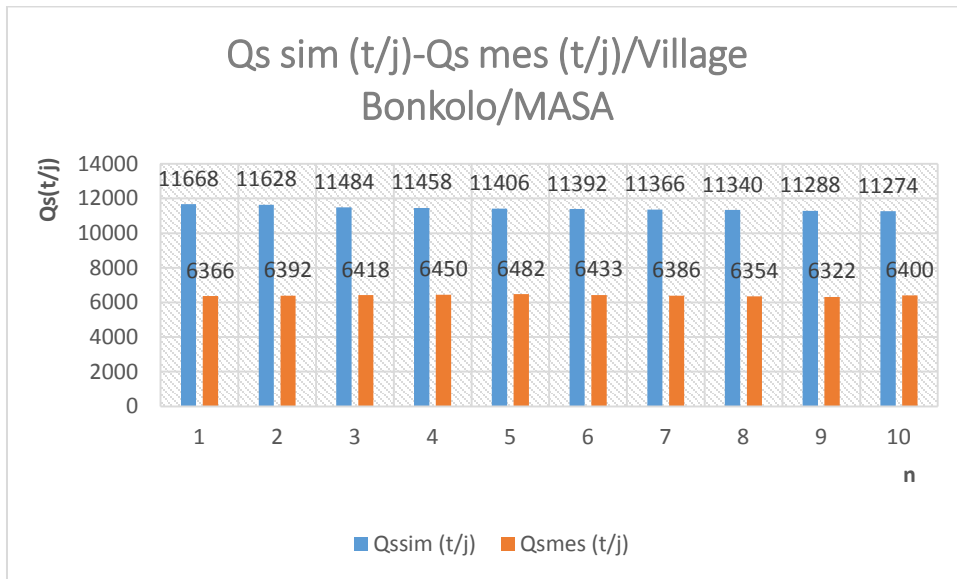
Figure 2 : Aperçu de la zone d'étude au Pool-Malebo délimitée par les traits rouge en pointillé, les tâches en blanc sont des bancs de sable dans ce tronçon fleuve Congo en forme de tresses. En amont, on voit le chenal et la division du fleuve en deux bras, celui de droite est le bras congolais rive droite.



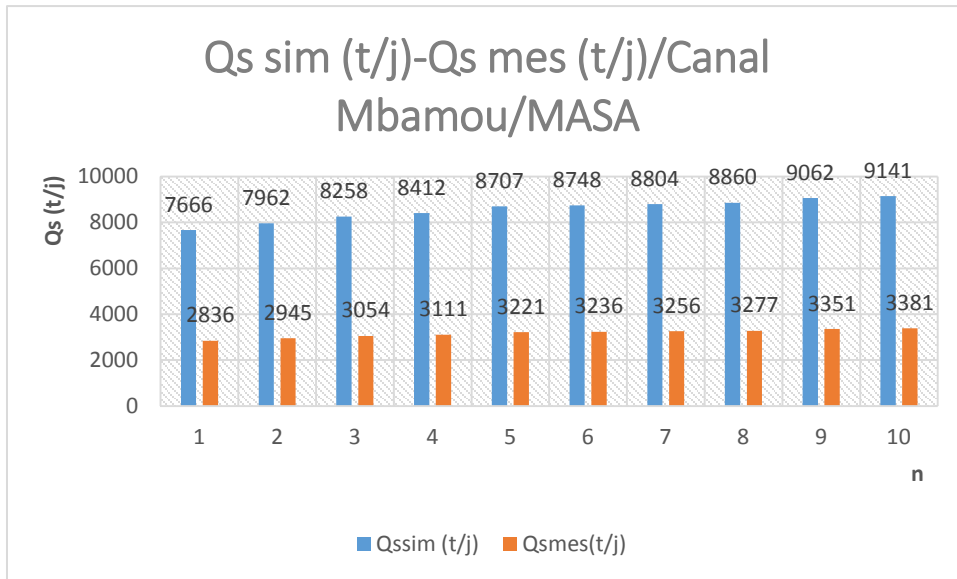


**Figure 3: L'histogramme des mesures au quai Pétrolier illustre le débit solide simulé (en bleu) et le débit solide mesuré (en rouge), on voit bien la proportion entre les deux débits. L'axe des abscisses indique le nombre de mesures n et l'axe des ordonnées, la valeur du débit solide  $Q_s$ (kg/s).**

**n**



**Figure 4:** l'histogramme des mesures au village Bonkolo illustre le débit solide simulé (en bleu) et le débit solide mesuré (en rouge), on voit bien la proportion entre les deux débits. L'axe des abscisses indique le nombre de mesures n et l'axe des ordonnées, la valeur du débit solide Q<sub>s</sub>(kg/s).



**Figure 5:** l'histogramme des mesures au canal Mbamou illustre le débit solide simulé (en bleu) et le débit solide mesuré (en rouge), on voit bien la proportion entre les deux débits. L'axe des abscisses indique le nombre de mesures n et l'axe des ordonnées, la valeur du débit solide Q<sub>s</sub>(kg/s).

**Liste des tableaux**

**Tableau I. : Paramètres Hydrauliques au village Bonkolo ;U, vitesse de l'écoulement ; W, largeur de la section transversale; H, hauteur moyenne de l'eau ; Q, débit liquide ; (C<sub>m</sub>), Concentration en sable; débits solides mesurés Q<sub>s</sub> (kg/s) et Q<sub>s</sub> mes (t/j).**

U(m/s)	W(m)	H(m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	C <sub>m</sub> (mg/l)	Q <sub>s</sub> Mes(kg/s)	Q <sub>s</sub> Mes(t/j)
1.07	860	6.87	6322	11.57	73.14	6320
1.07	861	6.87	6329	11.57	73.23	6327
1.07	865	6.87	6359	11.57	73.57	6356
1.07	867	6.87	6373	11.57	73.74	6371
1.07	869	6.87	6388	11.57	73.91	6386
1.07	870	6.87	6395	11.57	73.99	6393
1.07	874	6.87	6425	11.57	74.33	6422
1.07	876	6.87	6439	11.57	74.50	6437
1.07	887	6.87	6520	11.57	75.44	6518
1.07	890	6.87	6542	11.57	75.69	6540

**Tableau II. : Paramètres Hydrauliques au Quai Pétrolier ;U, vitesse de l'écoulement ; W, largeur de la section transversale; H, hauteur moyenne de l'eau ; Q, débit liquide ; ( $C_m$ ), Concentration en sable; débits solides mesurés  $Q_s$  (kg/s) et  $Q_{sMes}$  (t/j).**

U(m/s)	W(m)	H(m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	$C_m$ (mg/l)	$Q_s$ (kg/s)	$Q_{sMes}$ (t/j)
0.984	726	5.13	3665	10.66	39.05	3374
0.984	814	5.13	4109	10.66	43.79	3783
0.984	823	5.13	4154	10.66	44.27	3825
0.984	853	5.13	4306	10.66	45.88	3964
0.984	867	5.13	4377	10.66	46.64	4029
0.984	870	5.13	4392	10.66	46.80	4043
0.984	876	5.13	4422	10.66	47.12	4071
0.984	880	5.13	4442	10.66	47.34	4090
0.984	884	5.13	4462	10.66	47.55	4108
0.984	890	5.13	4493	10.66	47.87	4136

**Tableau III. : Paramètres Hydrauliques au Canal Mbamou ;U, vitesse de l'écoulement ; W, largeur de la section transversale; H, hauteur moyenne de l'eau ; Q, débit liquide ; ( $C_m$ ), Concentration en sable; débits solides mesurés  $Q_s$  (kg/s) et  $Q_s$  mes (t/j).**

U(m/s)	W(m)	H(m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	$C_m$ (mg/l)	$Q_s$ (kg/s)	$Q_s$ Mes(t/j)
0.592	684	5.06	2047	16.02821	32.82	2835
0.592	710	5.06	2126	16.02821	34.08	2945
0.592	736	5.06	2205	16.02821	35.35	3054
0.592	750	5.06	2247	16.02821	36.01	3111
0.592	776	5.06	2326	16.02821	37.28	3221
0.592	780	5.06	2337	16.02821	37.45	3236
0.592	785	5.06	2351	16.02821	37.69	3256
0.592	790	5.06	2366	16.02821	37.93	3277
0.592	808	5.06	2420	16.02821	38.79	3352
0.592	815	5.06	2441	16.02821	39.13	3381

**Tableau IV : Maloukou ; H, Hauteur d'eau,  $C_m$ , Concentration en sable, Q débit liquide ( $m^3/s$ ),  $Q_s$  débit solide en (kg/s) et (t/j).**

Hauteur Beach (cm)	Q Beach ( $m^3/s$ )	$C_m$ (mg/l)	$Q_s$ (kg/s)	$Q_s$ (t/j)
167	40353	12,88	520	44906
166	40276	12,88	519	44820
164	40121	12,88	517	44648
162	39967	12,88	515	44477
163	40044	12,88	516	44563
163	40044	12,88	516	44563
157	39584	12,88	510	44051
161	39891	12,88	514	44392
158	39661	12,88	511	44136
155	39431	12,88	508	43880

**Tableau V : Milieu du fleuve Congo ; H, Hauteur d'eau,  $C_m$ , Concentration en sable, Q débit liquide,  $Q_s$  débit solide en (kg/s) et (t/j).**

Hauteur Beach (cm)	Q Maloukou (m <sup>3</sup> /s)	$C_m$ (mg/l)	$Q_s$ (kg/s)	$Q_s$ (t/j)
167	40353	8.288	334	28896
166	40276	8.288	334	28841
164	40121	8.288	333	28730
162	39967	8.288	331	28620
163	40044	8.288	332	28675
163	40044	8.288	332	28675
157	39584	8.288	328	28346
161	39891	8.288	331	28656
158	39661	8.288	329	28400
155	39431	8.288	327	28236