



HAL
open science

Mesure du flux de sable en suspension dans le fleuve Congo – Compte rendu de la mission de janvier 2024

Guillaume Dramais, Alexandre Hauet, Jérôme Le Coz, B. Camenen

► To cite this version:

Guillaume Dramais, Alexandre Hauet, Jérôme Le Coz, B. Camenen. Mesure du flux de sable en suspension dans le fleuve Congo – Compte rendu de la mission de janvier 2024. INRAE - RiverLy; IGE – Institut des Géosciences de l'Environnement; Ecole Nationale Supérieure Polytechnique (ENSP). 2024. hal-04743276

HAL Id: hal-04743276

<https://hal.science/hal-04743276v1>

Submitted on 18 Oct 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

➤ Mesure du flux de sable en suspension dans le fleuve Congo – Compte rendu de la mission de janvier 2024

Contribution au projet « Contribution à la modélisation du transport sédimentaire dans le fleuve Congo »

Dramais¹, G., Hauet², A., Le Coz¹, J., Camenen¹, B.

¹INRAE, UR RiverLy, équipe hydraulique des rivières, Lyon, France

²IGE, Université Grenoble-Alpes, Grenoble, France



Appui à la
Modernisation de
l'Enseignement
Supérieur

Table des matières

1. Le projet CMTSTC	3
1.1. Contexte.....	3
1.2. Programme de la mission de janvier 2024	3
2. Mesures de terrain.....	4
2.1. Campagnes de jaugeage solide	4
2.1.1. Section aval du bras congolais à Brazzaville.....	5
1.1.1. Section amont du bras congolais à Maloukou Bambou.....	10
2.2. Campagne de jaugeage du Congo total.....	14
2.3. Campagnes de mesure bathymétrique.....	16
2.4. Répartition des débits dans le Pool Malebo sur les campagnes	17
3. Suggestions d'amélioration des procédures et chaînes de mesure	18
3.1. Mesures et déploiement ADCP.....	18
3.2. Prélèvements.....	20
3.3. Analyses en laboratoire.....	21
4. Conclusion	22
5. Annexes	24
5.1. ANNEXE 1 – Protocole INRAE de jaugeage solide à la bouteille horizontale.....	24
5.2. ANNEXE 2 – Jaugeages du Congo à la section Brazzaville-Kinshasa, le 10/01/2024.....	28
5.3. ANNEXE 3 - Correction et actualisation de la série hydrométrique 1902-2024	33

1. Le projet CMTSTC

1.1. Contexte

Le projet « Contribution à la modélisation du transport sédimentaire dans le fleuve Congo (CMTSFC) », retenu dans l'appel à projets AMES 2022 et piloté par l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Brazzaville, vise l'étude de la dynamique du transport solide en suspension et par charriage du fleuve Congo en général, et du Pool Malebo en particulier. Sa mise en œuvre a été planifiée suivant cinq (05) activités, à savoir :

- Activité 1 : Achat Equipements de laboratoire ;
- Activité 2 : Formation par les experts du GIE-SCEVN sur les techniques de mesure des données hydrométriques ;
- Activité 3 : Campagne de mesures de terrain ;
- Activité 4 : Mobilité des doctorants en France (Lyon) ;
- Activité 5 : Formation puis évaluation et validation des résultats du projet avec les experts à Brazzaville.

Après l'exécution des trois (03) premières activités (la troisième se poursuivant jusqu'en avril 2024), et tenant compte de la disponibilité de l'équipe INRAE IGE (04), la 5e activité a été programmée du 05 au 15 janvier 2024. Cette programmation présente un double avantage. Elle a permis en effet, d'une part, la mise en place d'ajustements méthodologiques sur la campagne de mesures de terrain (Activité 3), et d'autre part la formation des participants à différentes méthodes de mesure et d'analyse qui seront utilisées pour la modélisation du transport hydro-sédimentaire du fleuve Congo. Par chance, la mission a coïncidé avec le pic de la seconde plus forte crue enregistrée depuis le début des relevés hydrométriques en 1902, ce qui a donné lieu à un jaugeage international avec 2 ADCP Sontek et RDI le 10 janvier 2024.

1.2. Programme de la mission de janvier 2024

La mission/séjour de janvier 2024 s'est déroulée en plusieurs phases avec des séquences de formation et des campagnes de mesure de terrain et de laboratoire.

Samedi 6 janvier : Locaux du GIE-SCEVN : Présentation des différents acteurs, visite des locaux des voies navigables présentations des différents partenaires du projet.

Formation théorique aux mesures par ADCP (Alexandre Hauet)

Formation théorique au post-traitement des données ADCP (Alexandre Hauet)

Formations hydrométrie générale (Jérôme Le Coz)

Dimanche 7 janvier : Locaux de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Brazzaville :

Formation mesures des flux sédimentaires, prélèvements, analyses, calcul du flux solide, courbes de tarage sédimentaires (Guillaume Dramais)

Démonstration et essais des règles à jaugeur (Jérôme Le Coz)

Modélisation des flux solides par courbes de tarage sédimentaires (Benoît Camenen)

Lundi 8 janvier : Locaux du GIE-SCEVN

Travaux sur les différents projets de thèse en cours, discussions et pistes de travail sur les différents sujets. Expertise QReVInt des dernières campagnes de jaugeages des voies navigables, discussion sur les procédures de déploiement des instruments.

Point sur le matériel de mesure et le protocole de terrain des jours suivants. Test du matériel à proximité du « Beach ».

Mardi 9 janvier : Campagne de mesure sur le bras congolais au niveau de Brazzaville au droit de la pointe aval de l'île M'bamou.

Jaugeage solide d'une partie du bras congolais (7 prélèvements sur deux verticales). Le jaugeage a été interrompu par un orage.

Mercredi 10 janvier : Jaugeage du Congo total sur la section Brazzaville-Kinshasa pour une hauteur échelle de 547 cm (stable depuis la veille). Expertise du débit jaugé avec QRevInt (cf. Annexe).

Levé bathymétrique de 3 sections en travers, à l'aval du bras congolais.

Jeudi 11 janvier : 4 transects débit + jaugeage solide à Malouku Bambou (3 verticales à 4 prélèvements)

3 transects de bathymétrie avec le capteur M9 en redescendant à Brazzaville.

Vendredi 12 janvier : Jaugeage + bathymétrie sur le bras de la falaise de Douvres + 4 prélèvements (surf, 2.5, 3.5, 4.5 sur 5 m) ; 2 prélèvements dans des bouffées sableuses (« 1ère section ») ; 4 transects de bathymétrie.

Fin du jaugeage solide section aval du 09/01 : 3 prélèvements à 4, 7, 9 m sur 10 m sur v3 milieu chenal gauche de petite île M'bamou

Mise en place du laboratoire de filtration au GIE-SCEVN et première série d'analyse de sable sur les échantillons du 09/01

Samedi 13 janvier : Locaux du GIE-SCEVN

Bilan et partage des données de la semaine, point sur les données manquantes pour la suite du projet. Analyse d'échantillons et formation pratique à la méthode de séparation des sables par tamisage.

Correction et mise à jour de la série hydrométrique (limnigramme et courbe de tarage) avec la méthode BaRatin (cf. Annexe).

Lundi 15 janvier : Locaux du GIE-SCEVN

Présentation des sujets des 4 doctorants et discussions sur le programme de travail restant.

2. Mesures de terrain

2.1. Campagnes de jaugeage solide

Des jaugeages solides ont été effectués en suivant le protocole INRAE (Annexe1) par échantillonnage distribué avec un préleveur de type bouteille horizontale « Niskin » (Wildco Alpha 2.2 L) équipée d'un capteur de pression pour vérifier les consignes de profondeur. Des mesures simultanées avec des profileurs ADCP Rio Grande 600 kHz (Teledyne RDI) et M9 (SonTek) ont été effectuées. Ces campagnes ont été réalisées depuis deux barques de mesure FED6 et FED8 du GIE-SCEVN de Brazzaville. Les ADCP sont placés à couple des barques de mesure (Figure 1) et tous deux équipés de GPS. Les échantillons ont été transférés dans des bouteilles d'eau minérale réutilisées pour analyse. Des comparaisons d'échantillons simultanés ont été effectuées entre la bouteille Niskin et le préleveur local « Laraque »

(bouteille verticale à goulot fin).

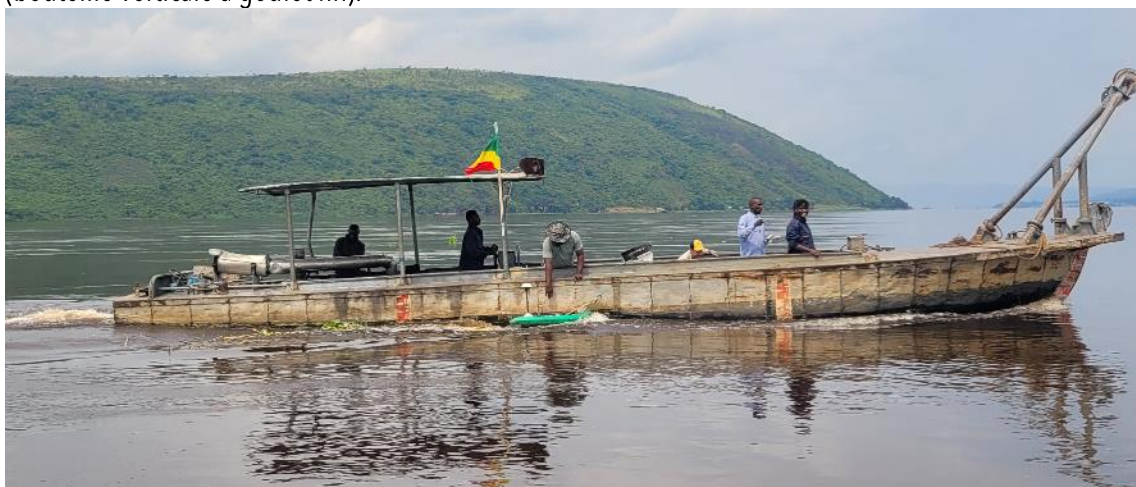


Figure 1 : Barque de mesure FED 6 sur la section de Maloukou Bambou vers l'entrée du bras congolais (11/01) ADCP M9 sur son support (photo G. Dramais).

2.1.1. Section aval du bras congolais à Brazzaville

La section aval du bras nord du Congo (ou « bras congolais ») à Brazzaville est située devant le Beach (le port). La Figure 2 issue du logiciel QRevInt 1.31 représente un transect projeté sur le secteur des mesures ADCP. Cette projection ne tient pas compte de la trajectoire exacte du bateau qui a contourné le sud de l'îlot de Sakana. On peut voir sur cette figure que l'intensité des vitesses dans le bras le plus proche du Beach est beaucoup plus soutenue que dans la seconde partie du bras congolais qui rejoint l'île M'bamou.



Figure 2 : Localisation des mesures du 09/01/2024 devant le "beach" de Brazzaville (transect M9) vitesses ADCP moyennées sur la verticale (Image Google Earth).

Des prélèvements à la bouteille horizontale (Figure 3) ont été réalisés sur cette section en suivant le protocole présenté en annexe, deux verticales ont été explorées le 09/01 avant un orage qui a nécessité l'arrêt des mesures par sécurité. La troisième verticale a été réalisée trois jours plus tard (12/01) pour un niveau d'eau équivalent. Les résultats sont présentés dans le Tableau 1. Les abscisses sur le transect présentées dans le Tableau 1 sont des « consignes » calculées grâce au déplacement de l'ADCP, une fois dans la bonne position celle-ci est maintenue par le pilote. Des positions plus justes pourraient être déterminées à partir des données GPS associées aux mesures ADCP. Les profondeurs d'échantillonnage ont été vérifiées par mesure par un capteur de pression (Figure 13), on remarque que la consigne est globalement respectée à quelques dizaines de centimètres près. L'écart le plus important observé est de 1m pour l'échantillon le plus incertain, ces écarts s'expliquent par l'angle que peut faire le dispositif par rapport à la verticale.



Figure 3 : Bouteille horizontale prête à échantillonner (à gauche), messenger prêt à être envoyé pour fermer la bouteille à la profondeur voulue (à droite).

Les analyses ont été effectuées au GIE-SCEVN avec le matériel de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Brazzaville, les résultats sont présentés dans le Tableau 1. Les concentrations en fines sont très faibles (9 à 25 mg/L). Les concentrations en sable sont assez variables avec un échantillon très chargé sur la seconde verticale qui a pu être contaminé par impact au fond du cours d'eau. Il est toutefois important de noter que cette seconde verticale a été choisie du fait de la présence d'un banc de sable immergé avec une forte turbulence visible à la surface. La distribution granulométrique des particules de sable de cet échantillon (RD12) est représentée Figure 4, elle a été mesurée sur l'appareil Malvern Mastersizer 3000 (ENTPE-Villeurbanne) dans le cadre de notre partenariat. Préalablement certains échantillons de sable ont été photographiés (Figure 5).

Tableau 1 : Récapitulatif des échantillons effectués lors du jaugeage solide du bras congolais aval

Code échantillon	Date	Abscisse [m] depuis RD (consigne)	Profondeur [m] (consigne/ mesure capteur)	Conc. sable g/L [>63m]	Conc. fine g/L [<63m]
RD2	09/01/24	1860	2 / 2.1	0.022	0.014
RD6	09/01/24	1860	6 / 6.1	0.020	0.025
RD9	09/01/24	1860	9 / 9.3	0.089	0.011
RD12	09/01/24	1860	12 / 12.3	3.441	0.009
RG5	09/01/24	370	5 / 4.9	0.483	0.013
RG6	09/01/24	370	6 / 5.8	0.537	0.015
RG7	09/01/24	370	7 / 6.0	0.028	0.009
M4	12/01/24	150	4 / 4.0	0.160	0.016
M7	12/01/24	150	7 / 7.1	0.068	0.023
M9	12/01/24	150	9 / 9.0	0.836	0.015

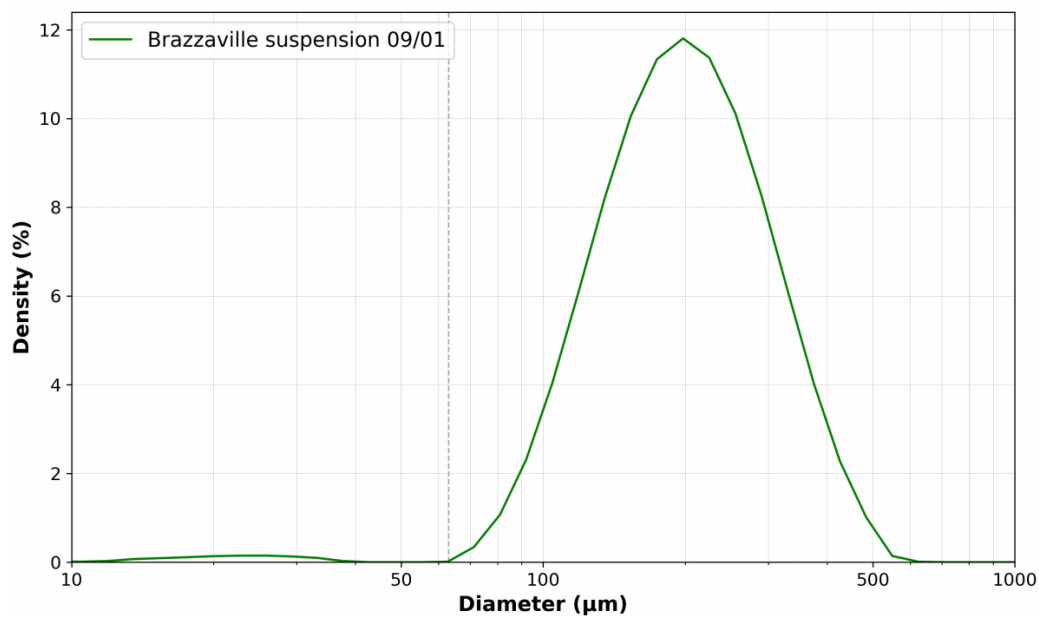


Figure 4 : Distribution granulométrique des sables > 63 µm dans l'échantillon RD12.

Tableau 2 : Diamètres caractéristiques des particules de sable (Echantillon RD12)

Prélevement	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]
Brazzaville suspension (RD12)	175	276	427



Figure 5 : Sables en suspension de l'échantillon RG5 (5m) du 12/01.



Figure 6 : Sables en suspension dans un "boil" turbulent près de la section de Brazzaville sur le bras congolais

Le débit liquide est de $19500 \text{ m}^3/\text{s}$ (RG600 kHz en référence BT) pour une hauteur d'eau au beach de Brazzaville à 547cm. Le calcul du jaugeage solide de sable en suspension donne 5231 kg/s (cf. Figure 7) mais ce flux solide est très incertain, d'une part car le peu d'échantillons effectué n'est pas suffisamment représentatif de la section ; en effet, les concentrations relativement élevées sur les verticales centrale et gauche (M4, RG5 et RG6) mériteraient d'être confirmées car ces valeurs ne sont pas confirmées par la verticale en rive droite, et elles induisent de fortes concentrations sur l'ensemble de la section (Figure 7). D'autre part, à une moindre échelle, l'échantillon RD12 (très concentré en sable) est potentiellement entré en contact avec le fond ; cependant, du fait des faibles valeurs des autres

points de la verticale, il n'influence que peu le calcul.

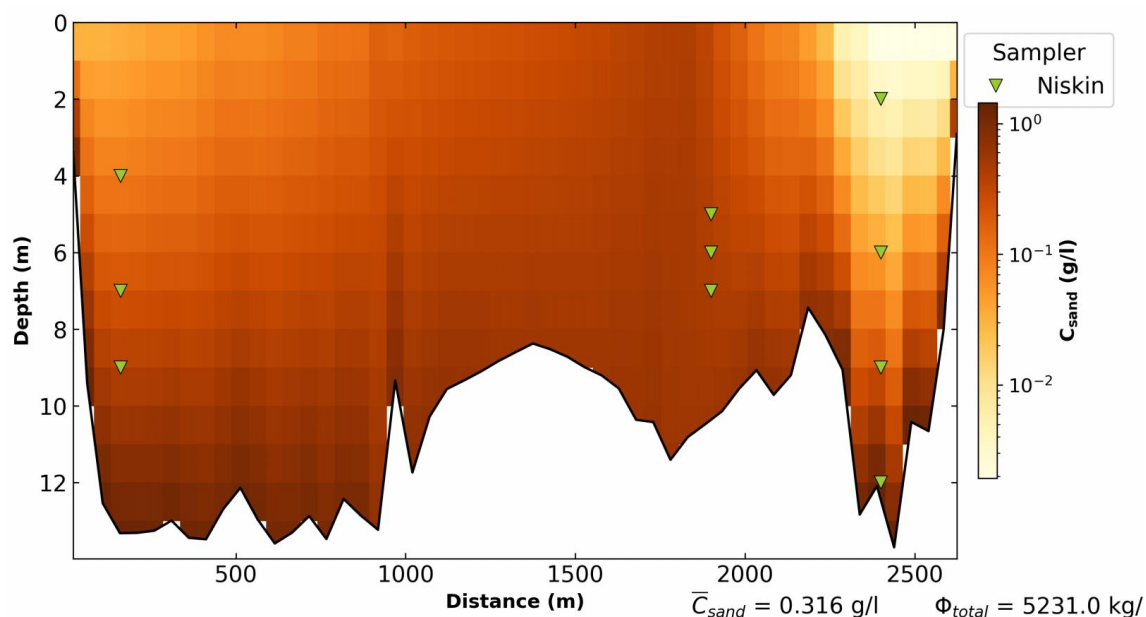


Figure 7 : Distribution spatiale des concentrations en sables en suspension dans la section de Brazzaville (SDC)

La Figure 8 présente les gradients de concentration pour les trois verticales mesurées. Ces résultats confirment les incertitudes en particulier pour la verticale 2 (à 370 m de la RD) présentant des concentrations assez élevées au milieu de la colonne d'eau et peu cohérentes par rapport aux deux autres verticales.

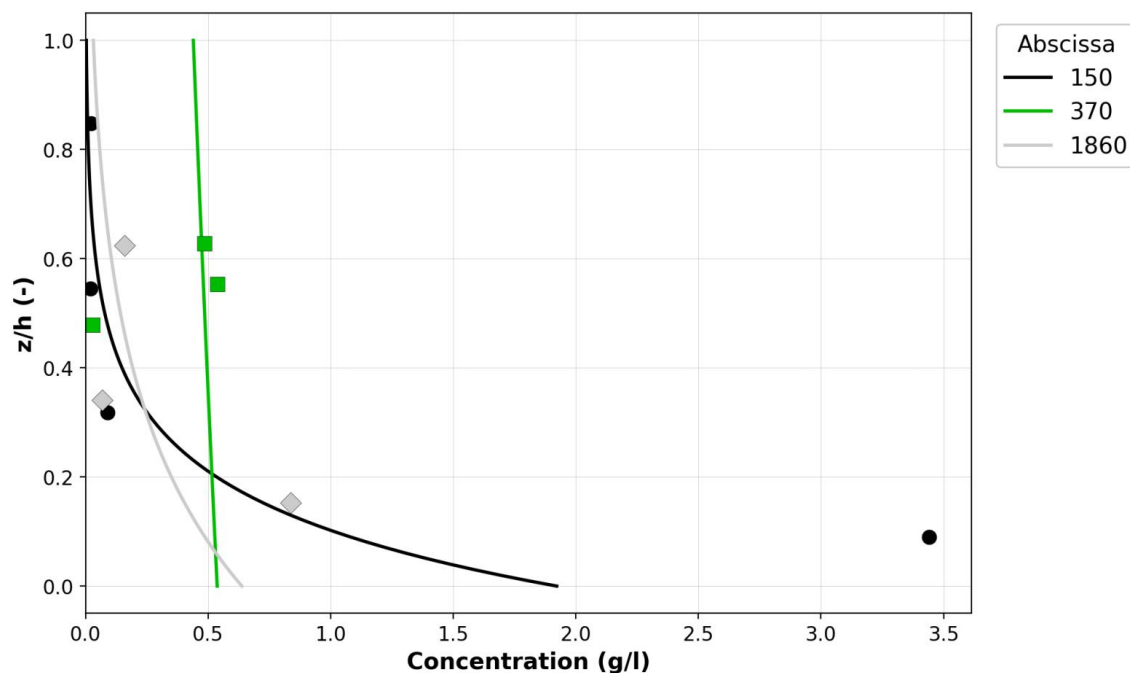


Figure 8 : Gradients de concentration en sable à l'aval du bras congolais (Section de Brazzaville). Et ajustements de profils exponentiels.

1.1.1. Section amont du bras congolais à Maloukou Bambou

Le jaugeage solide de Maloukou Bambou en amont du Pool Malebo a été effectué le 11/01 depuis les deux barques de mesures, l'une équipée de l'ADCP Rio Grande 600 kHz effectuant les prélèvements distribués et l'autre déployant l'ADCP M9. La Figure 9 présente le transect de Maloukou Bambou. On remarque une répartition des vitesses très particulière avec des vitesses beaucoup plus fortes en rive gauche de l'entrée du bras congolais, ce qui semble cohérent avec la morphologie du secteur. Les vitesses faibles en rive droite sont en effet liées à un effet de masquage lié à la direction principale de l'écoulement dans le Congo en amont de la bifurcation.

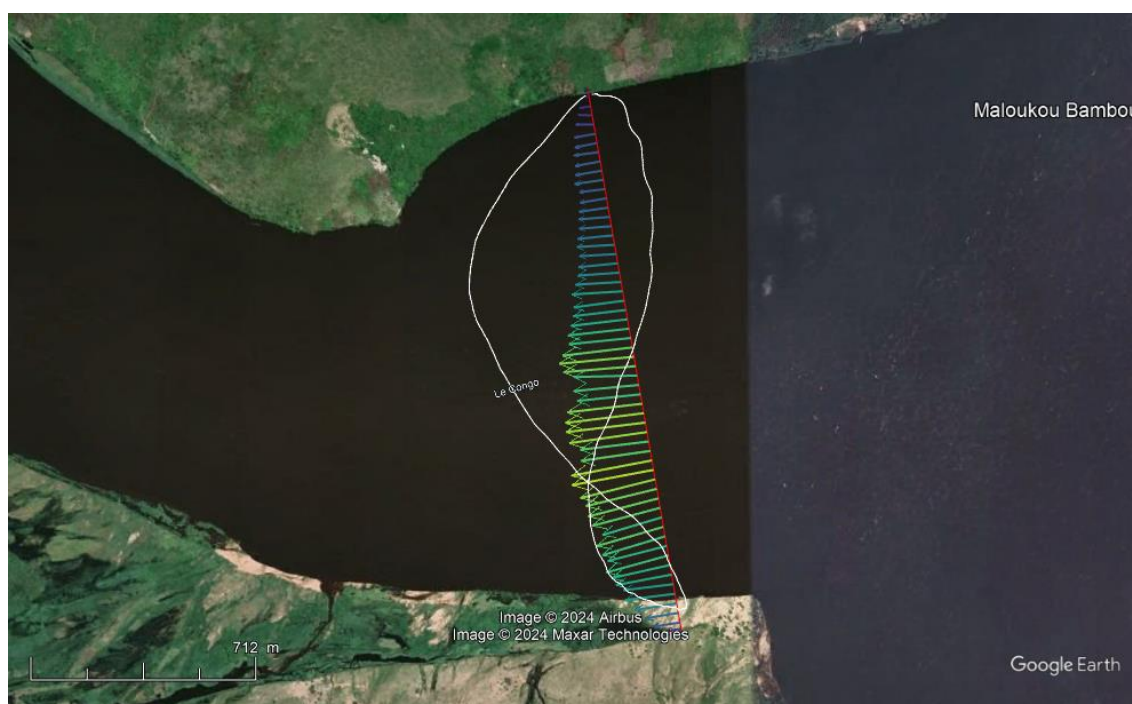


Figure 9 : Emplacement du transect de Maloukou Bambou et données ADCP (RG 600 kHz) moyennées sur la verticale. L'image de fond (Google) est prise à un niveau plus faible que celui du jour des mesures.

Des prélèvements ont été réalisés sur cette section de Maloukou Bambou. Trois verticales ont été explorées. Les résultats de concentration en sable sont présentés dans le Tableau 3. Ces analyses ont été effectuées au GIE-SCEVN avec le matériel de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Brazzaville. La distribution granulométrique des particules de sable est représentée Figure 10. Certains échantillons de sable ont été photographiés (Figure 11 et Figure 12). Le Tableau 4 présente les quantiles caractéristiques de la distribution granulométrique de ces deux échantillons.

Tableau 3 : Récapitulatif des échantillons effectués lors du jaugeage solide de la section amont du bras congolais (Maloukou Bambou)

Code échantillon	Date Heure TU+1	Abscisse [m] depuis RD (consigne)	Profondeur [m] (consigne / Mesure capteur)	Conc. sable g/L [>63m]	Conc. fine g/L [<63m]
RD2	11/01/24 15:17	400	2 / 1.7	0.011	0.014
RD4	11/01/24 15:15	400	4 / 3.8	0.020	0.024
RD5	11/01/24 15:12	400	5 / 4.9	0.025	0.010
RD6	11/01/24 15:10	400	6 / 6.3	0.030	0.036
CT2	11/01/24 15:45	800	2 / 1.8	0.073	0.034
CT5	11/01/24 15:42	800	5 / 4.9	0.064	0.148
CT8	11/01/24 15:39	800	8 / 6.7	0.070	0.062
CT9	11/01/24 15:27	800	9 / 8.3	0.293	0.022
RG2	11/01/24 16:04	1200	2 / 1.7	0.074	0.032
RG5	11/01/24 16:00	1200	5 / 4.9	0.086	0.050
RG7	11/01/24 15:57	1200	7 / 6.4	0.119	0.014
RG8	11/01/24 15:54	1200	8 / 7.4	0.186	0.022

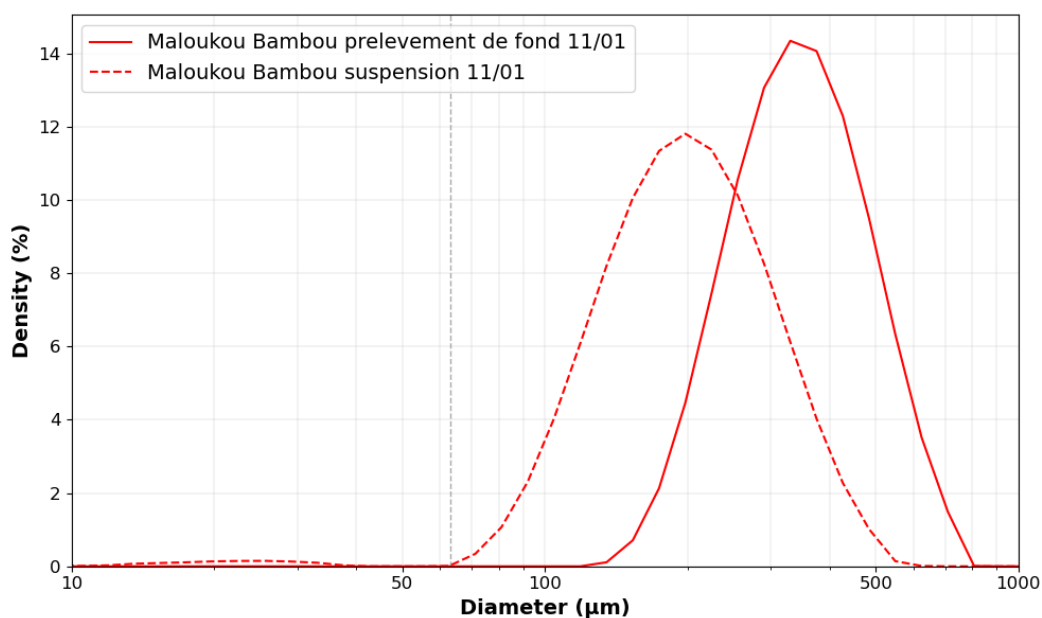


Figure 10 : Distribution granulométrique de deux échantillons de sable à Maloukou Bambou (11/01)

Tableau 4 : Caractéristiques des diamètres des particules de sable

Prélevement	D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]
Maloukou fond	221	343	530
Maloukou suspension (mix)	113	196	333



Figure 11 : Sable prélevé au fond par contact du préleveur dans la section à Maloukou Bambou le 11/01/2024.

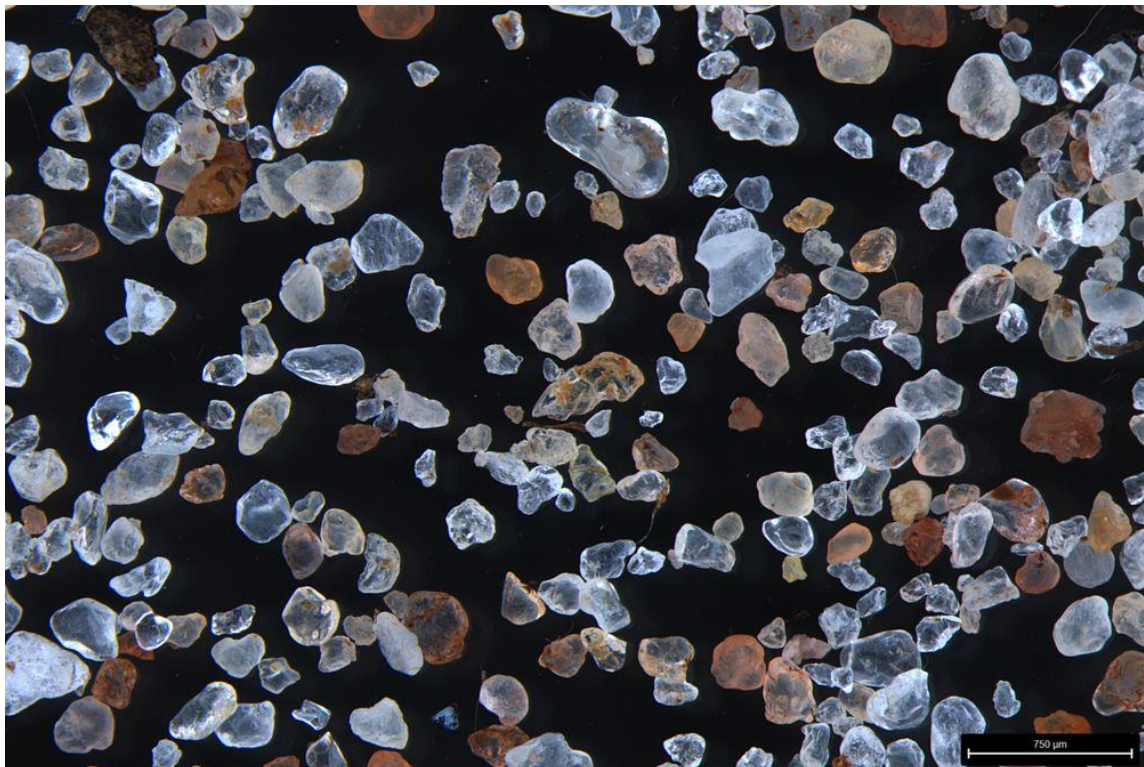
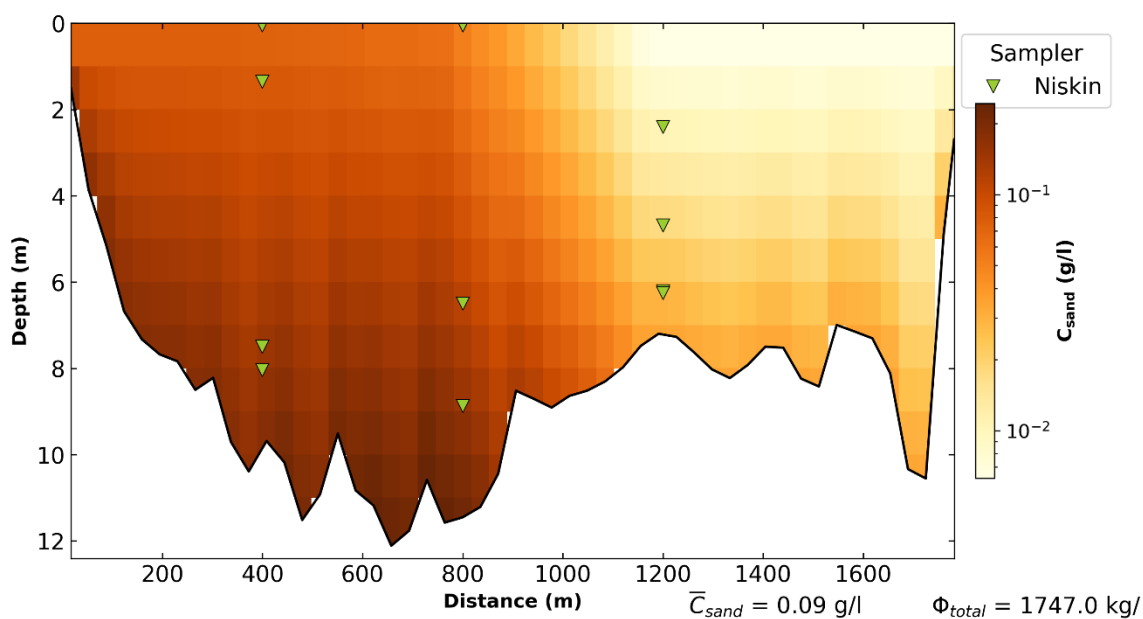
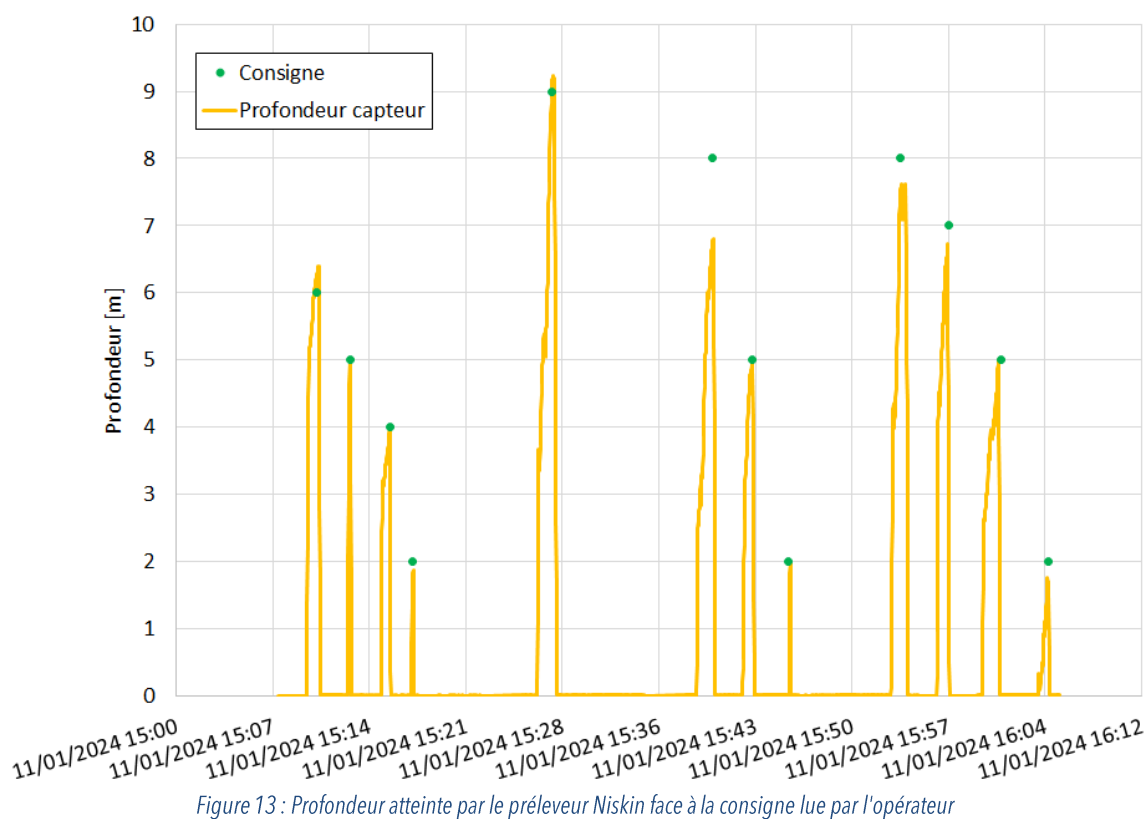


Figure 12 : Sable en suspension à Maloukou Bambou (Echantillon RG7)

Le débit liquide est de 19700 m³/s (RG600 kHz en référence BT) pour une hauteur d'eau au Beach de Brazzaville à 547cm, ce qui est très cohérent avec le débit mesuré le 09/01 à Brazzaville sur l'aval du bras congolais. L'analyse SDC¹ donne un flux de 1750 kg/s de sable en suspension pour ce débit (Figure

¹ Méthode de calcul des flux par ADCP et prélèvements décrite dans ["River suspended-sand flux computation with uncertainty estimation."](#)

14). La représentation du flux dans la section est obtenue grâce au code SDC qui permet une intégration verticale des concentrations en sable et une interpolation latérale des concentration en prenant en compte les données ADCP.



On observe Figure 15 des gradients de sable marqués sur les trois verticales mais avec des valeurs relativement faibles (max à 0.3 g/L) alors que plusieurs points avec des concentrations supérieures à 0.5 g/L ont été observés sur le transect aval (Figure 7).

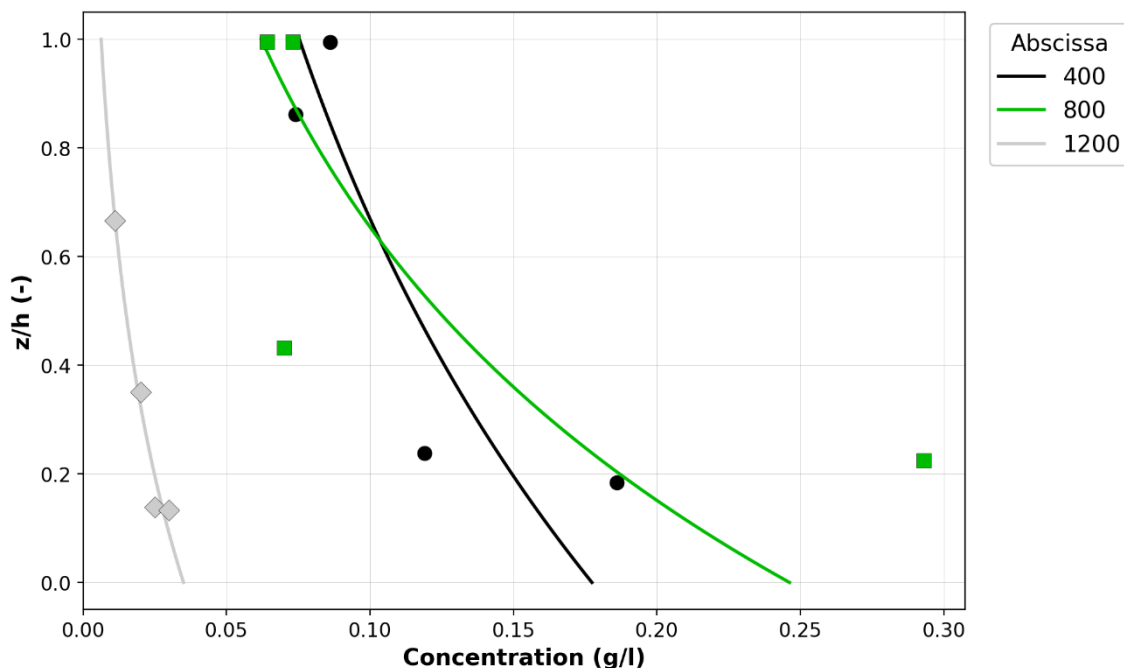


Figure 15 : Gradients de concentration en sable (Maloukou Bambou). Et ajustements de profils exponentiels.

2.2. Campagne de jaugeage du Congo total



Figure 16 : Traversée sur la section Brazzaville-Kinshasa en aval du pool Malebo

Un jaugeage transfrontalier a été mené le 10 janvier 2024 (Figure 16). Deux vedettes du GIE SCEVN ont déployé deux ADCP, un TRDI RG 600 kHz (GIE SCEVN) et un Sontek M9 (prêté par la DREAL AURA en France). Ce jaugeage (Figure 17) a été mené par une équipe transfrontalière composée d'experts hydromètres de République Démocratique du Congo et de la République du Congo (Figure 18). Ce jaugeage a été mené entre 10h00 et 13h30 (Heure UTC) avec une hauteur échelle au beach de Brazzaville de 547cm. Chaque ADCP était monté à couple d'une barque de mesure, et elles naviguaient à une distance de plusieurs centaines de mètres l'une de l'autre, pour éviter toute éventuelle

perturbation acoustique entre les deux ADCP. Les mesures des deux ADCP ont été analysées avec le logiciel open-source QRevlnt 1.31 (<https://www.genesishydrotech.com/qrevint>). Ces mesures ont fait l'objet d'un rapport de jaugeage en annexe 2 de ce rapport. Le débit retenu est la mesure en suivi BT du capteur Teledyne RG 600 kHz, soit 74900 m³/s avec une incertitude élargie (au niveau de confiance de 95%) de 5% comme résultat de ce jaugeage. Ce choix a été fait en raison de problèmes de qualité GPS et en l'absence de biais dû au fond mobile sur l'ADCP 600 kHz.

L'hydraulique de cette section n'est pas idéale comme le montre la Figure 17 avec un phénomène d'entonnement à la sortie du Pool Malebo et des obstacles qui donnent un champ de vitesse assez hétérogène.



Figure 17 : Position du transect Brazzaville-Kinshasa et données ADCP moyennées sur la verticale pour le transect 4 (RG 600 kHz). Image Google.



Figure 18 : Equipe transfrontalière rassemblée pour le jaugeage du 10/01/2024 sur le Congo (Photo Ruben Mayoni)

2.3. Campagnes de mesure bathymétrique

Les campagnes de bathymétrie menées pendant cette mission à l'aide de couplages ADCP-GPS (Figure 20 à Figure 23) permettront de préparer un maillage pour effectuer une modélisation hydraulique du bras congolais notamment avec les codes de simulation 1D Mage (eau, charriage) et AdisTS (solutés et matières en suspension) et leur interface graphique Pamhyr2. Les modèles 1D ou « filaires » permettent de calculer vitesse, hauteur d'eau et débit le long du linéaire fluvial ainsi que des volumes de sédiments déposés ou érodés, tandis que les modèles 2D permettent de calculer une cartographie des écoulements et des champs d'inondation ainsi que les évolutions locales des fonds. La Figure 19 illustre la localisation des transects bathymétriques réalisés pendant cette mission.

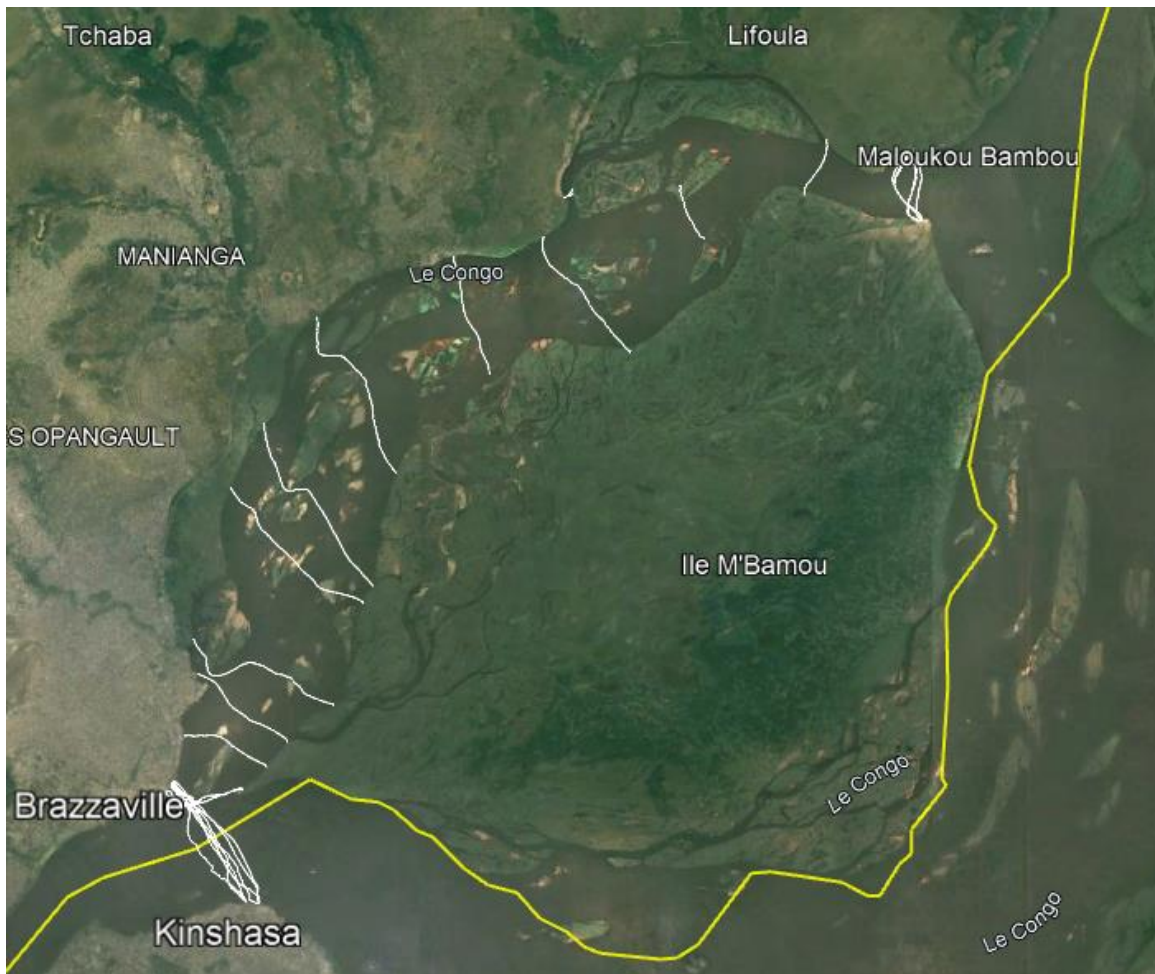


Figure 19 : Transects de bathymétrie mesurés à l'ADCP dans le bras congolais durant la mission de janvier 2024.

2.4. Répartition des débits dans le Pool Malebo sur les campagnes

Pendant la séquence de mesure du 09 au 11 janvier 2024 (Échelle de Brazzaville à 547 cm) la répartition des débits entre le bras congolais (rive droite) et le bras de la RDC en rive gauche a pu être estimé à 26% du débit total dans le bras Congolais. Cette répartition est calculée ici en fonction du débit total mesuré le 10/01 entre Brazzaville et Kinshasa et le débit de la diffluence à Maloukou Bambou en amont du Pool Malebo mesuré le lendemain. Cette répartition devra être vérifiée pour différents débits du Congo total pour affiner la modélisation et la compréhension du fonctionnement du Pool Malebo.

3. Suggestions d'amélioration des procédures et chaînes de mesure

3.1. Mesures et déploiement ADCP

Lors des mesures de la campagne de janvier 2024 nous avons noté un certain nombre d'améliorations qui pourraient être effectuées pour faciliter les mesures ADCP depuis les barques de mesures du GIE SCEVN et qui permettraient éventuellement d'améliorer la qualité des mesures.

En premier lieu, pour déployer le capteur ADCP, l'utilisation d'un support flottant installé à couple du bateau (cf. Figure 1) est une solution qui fonctionne mais qui peut être assez instable et n'offre pas la possibilité d'un enfoncement de capteur modulable. Une alternative pourrait être le déploiement d'ADCP fixé sur une potence (cf. Figure 20 à Figure 23), solution qui pourrait faciliter les mesures. Certaines potences peuvent être assez complexes (cf. Figure 20, Figure 21) d'autres très simples et plus légères (Figure 22, Figure 23).

Les potences offrent une stabilité intéressante et sont moins exposées à des renversements lors des manœuvres en berge ou dans les écoulements très turbulents. La potence doit permettre le réglage de l'enfoncement du capteur, ce qui sur un cours d'eau comme le Congo peut s'avérer utile. En effet vu les dimensions du cours d'eau, enfoncer le capteur de quelques dizaines de cm n'est pas du tout gênant et permettrait de limiter les pertes de signal liées aux mouvements intempestifs d'un support flottant parfois instable. En conditions difficiles, ces potences peuvent éventuellement poser problème si le bateau est agité par des vagues, les oscillations pouvant créer des mouvements importants de l'ADCP qui est alors solidaire de l'embarcation.

La potence peut également permettre de remonter ou pivoter le bras soutenant le capteur rapidement pour le protéger d'un quelconque danger.

Un autre intérêt d'un dispositif comme une potence pour déployer des ADCP sur le Congo est la possibilité de positionner l'antenne GPS un peu plus haut qu'actuellement, ce qui permettrait de réduire les masques qui affectent la qualité de la réception des données satellites. Pour cela il faudrait également probablement acheter des câbles adaptés pour pouvoir mettre l'antenne GPS plus haut. L'antenne GPS pourrait éventuellement être positionnée sur le toit du bateau mais dans ce cas-là, pour une utilisation comme outil de bathymétrie il faudra calculer précisément les décalages par rapport à la position de l'ADCP (pour le jaugeage la connaissance des offset de décalage n'est pas primordiale).

L'acier utilisé pour une potence ADCP doit idéalement être amagnétique et traité contre la corrosion (galvanisé, inox ou peint) mais l'utilisation de barques en acier rend cette préconisation inutile. Certaines potences sont aussi en aluminium.

Au niveau de l'amélioration des jaugeages par ADCP, outre les ajustements importants pour améliorer la qualité GPS, d'autres points de vigilance sont à prendre en compte.

Nous avons rencontré lors des différents jaugeages de cette mission des difficultés d'étalonnage compas qui peuvent être dues à la présence de perturbation magnétiques. L'utilisation d'un compas GPS externe pourrait permettre d'améliorer les déploiements. Dans tous les cas il est nécessaire d'effectuer systématiquement un étalonnage compas dans l'eau en configuration de mesure en effectuant des « ronds » dans l'eau. Idéalement l'erreur totale doit être inférieure à 1°.

L'effet du fond mobile lors de cette mission était assez limité mais il est important d'effectuer régulièrement des tests de fond mobile car le substrat et les conditions hydrauliques sont favorables à une mobilité du fond.



Figure 20 : Potence ADCP réglable avec antenne GPS (INRAE)



Figure 21 : Potence ADCP réglable et console de protection/commande



Figure 22 : Potence ADCP réglable (USGS)

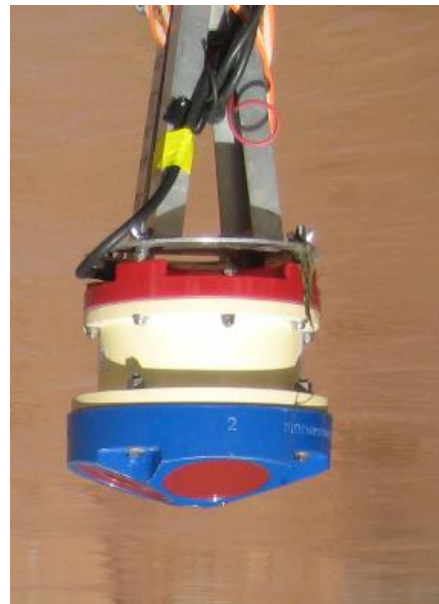


Figure 23 : Fixation de l'ADCP en bout de tube

3.2. Prélèvements

Lors des phases de prélèvement d'échantillons en rivière, quel que soit le préleveur utilisé il faut que le préleveur soit propre (au moins rincé) avant le premier échantillon, au mieux entre chaque échantillon avec de l'eau propre ou éventuellement avec de l'eau de surface.

Les phases de transfert d'échantillon (cf. Figure 24) sont à limiter au maximum, en particulier dans le cadre de prélèvements destinés à quantifier le sable en suspension dont les particules vont chuter très vite et parfois rester dans le fond de la bouteille ou au passage du goulot, il vaut mieux rincer avec un peu d'eau propre (idéalement il faut mesurer et prendre en compte le volume ajouté) pour récupérer toutes les particules plutôt que de les laisser dans le flacon. L'utilisation de flacons aux parois lisses est préférable aux contenants de type bouteille d'eau de consommation qui présentent souvent des creux dans lesquels les particules les plus grosses vont être piégées.

L'échantillonneur appelé « Laraque » ou IRD (Figure 24) n'est pas adapté au prélèvement du sable en suspension, il peut effectivement permettre de prélever les particule de diamètre inférieur à $63\mu\text{m}$ dans l'écoulement (MES fines) mais pas les particules plus grosses. D'autres préleveurs seraient sans doute mieux adaptés, notamment certains des préleveurs développés par le FISP ([Federal Interagency Sedimentation Project](https://water.usgs.gov/fisp/)). (<https://water.usgs.gov/fisp/>).



Figure 24 : Transfert d'échantillon avec le préleveur IRD

3.3. Analyses en laboratoire



Figure 25 : Laboratoire provisoire au GIE SCVN avec le matériel de l'ENS de Brazzaville

L'équipe de l'ENSP Brazzaville maîtrise les phases d'analyse par filtration de MES sur filtres en fibre de verre. Il est cependant important d'insister sur les précautions à prendre pour ces analyses et sur la traçabilité des analyses. L'utilisation d'un cahier de laboratoire où sont consignées en temps réel les différentes phases d'analyse est indispensable et peut permettre d'expliquer ensuite des analyses douteuses.

La mesure de volume des échantillons doit être très rigoureuse, attention aux unités et aux lectures, il faut notamment bien vérifier la résolution des éprouvettes graduées et autres éléments de verrerie.

Comme évoqué dans le paragraphe précédent, les transferts d'échantillons sont des phases sensibles de l'analyse des MES et du sable en suspension, le rinçage est très important. La verrerie et le dispositif de filtration doivent être lavés régulièrement.

Les balances sont des instruments fragiles, elles nécessitent d'être installées sur des tables stables et d'être mises à niveau à l'aide des vis de réglage et de la bulle sphérique. La mesure de masse se fait portes fermées. A chaque mise en route de la balance l'utilisation d'un poids de « référence » (de 1g par exemple) peut-être utile pour mettre en évidence des dérives, ces mesures de contrôle doivent être consignées dans un cahier de laboratoire.

A Brazzaville l'humidité étant très importante le séchage des filtres est une phase à ne pas négliger, les filtres doivent être pesés secs. L'utilisation d'une armoire de dessiccation peut permettre de faire la transition entre l'étuve et la balance.

Une pièce climatisée peut aussi permettre de stabiliser les conditions d'analyse dans le laboratoire.

4. Conclusion

Les mesures réalisées pendant cette campagne sont riches d'enseignements pour les futurs projets qui pourront avoir lieu sur le Congo. La configuration très complexe et les dimensions du Pool Malebo sont une difficulté pour réaliser des campagnes de mesure mais les moyens mis en œuvre par les équipes de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Brazzaville et le GIE-SCEVN permettent de réaliser des campagnes de mesure efficaces. Les flux de sable en suspension qui ont pu être estimés peuvent paraître relativement modestes au vu des débits liquides très importants mesurés. Vu la mobilité des bancs qui est observée par les experts locaux au fur et à mesure des crues et les volumes de sable déplacés, on peut supposer qu'une part non négligeable de sable se déplace aussi par charriage, cela sera sans doute à explorer lors de prochaines mesures sur le Congo. Ce rapport est un compte rendu de mission, les données seront exploitées par la suite pour mieux comprendre le fonctionnement du fleuve.




Figure 26 : Equipe du projet AMES (GIE SCEVN, ENS Brazzaville, INRAE, IGE)

Remerciements : A la DREAL RA à Lyon pour le prêt de l'ADCP M9 et toutes les personnes ayant contribué ou facilité cette mission et cet échange.

5. Annexes

5.1. ANNEXE 1 – Protocole INRAE de jaugeage solide à la bouteille horizontale

 UR RIVERLY – Métrologie	Jaugeage solide en rivière par la méthode ADCP- Bouteille de prélèvement	Vers. : <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="22/07/2024"/> Date : <input type="text" value="1 / 5"/>
	<input type="text" value="MO/RILYMET/MSP-025"/>	

Jaugeage solide en rivière par la méthode ADCP-Bouteille de prélèvement horizontale

Domaine d'application : Cette procédure est adaptée aux jaugeages solides en cours d'eau navigable ou depuis une traîlle moyennant quelques adaptations.

Documents de référence :

- Norme ISO 4363, 2002. "Measurement of liquid flow in open channels – Methods for measurement of characteristics of suspended sediment". International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 32 p
- Norme ISO 748, 2009. "Hydrometry — Measurement of liquid flow in open channels using current-meters or floats". International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 46 p.
- Protocole de tamisage / filtration MO-RILYMET-MSP-026
- Protocole de jaugeage ADCP MO-HHMET-MSP-002
- Protocole de couplage ADCP-GPS MO-HHMET-COM-006

Principe de la méthode : Effectuer des prélèvements distribués dans une section de cours d'eau à l'aide d'une bouteille Niskin/Van Dorn horizontale et faire une acquisition ADCP simultanée. Effectuer un jaugeage liquide complet à l'ADCP avant et un autre après les prélèvements.

Personnel minimal nécessaire : Un pilote, un opérateur ADCP, un opérateur échantillonneur qui sera aide-marinière lors des approches en berge.

Matériel nécessaire :

Barque	Mesure	Prélèvements	Divers
-Embarcation en état -Gilets de flottaison -Corde de sécu -Essence -Armement réglementaire -Clé de contact /pompiers / papiers du bateau -Caisse support protection PC -Touque -Sondeur -Radio VHF	-ADCP / support / mètre ruban /thermomètre -GPS Leica 1200 /batterie /câble -GPS BlueSky -PC terrain -convertisseur USB/série -Feuilles de terrain / carnet étanche -Convertisseur 12/220V -Batteries	-Bouteille Horizontale, messagers, capteur Diver et lecteur -Flacons 2.2L / caisse -Entonnoir /seau -Marqueur / étiquettes -Pissette d'eau déminéralisée et réserve -Benne Eckman (option)	- Gants -Trousse de secours -Signalisation -Outils / Scotch -Parapluies / Cirés -Eau / savon -Essuie tout / sacs

Protocole

Choix de la section : La section est choisie idéalement avec les mêmes recommandations que pour un jaugeage liquide (ISO 748). Le tronçon doit être rectiligne et aucun affluent proche en amont ne doit pouvoir affecter le mélange des sédiments dans la section.

Choix du nombre de verticales et position des prélèvements : Si la largeur de la section est inférieure à 200m, 3 à 5 verticales seront réalisées à distance égales. Quatre prélèvements seront réalisés par verticale aux profondeurs (depuis le fond) de 0,1h ; 0,25h, 0,5h et en surface (Figure 1)

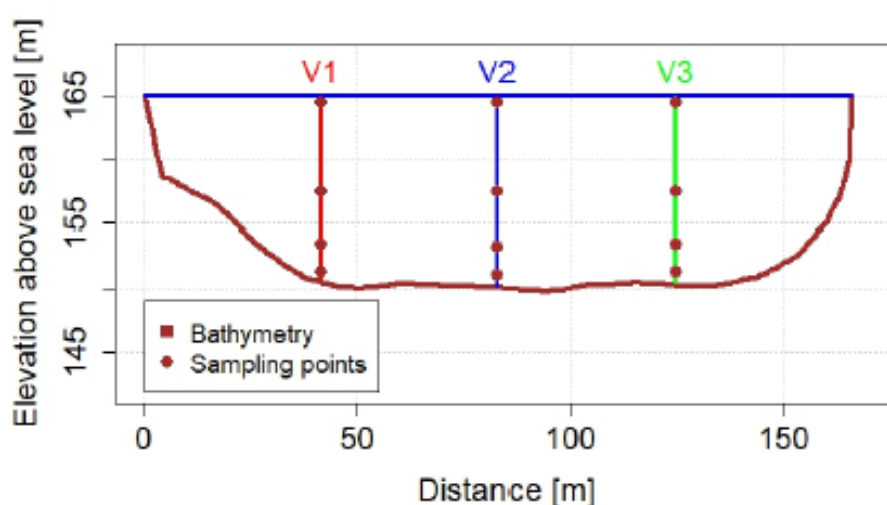


Figure 1 : Exemple de répartition des points de prélèvement sur la section

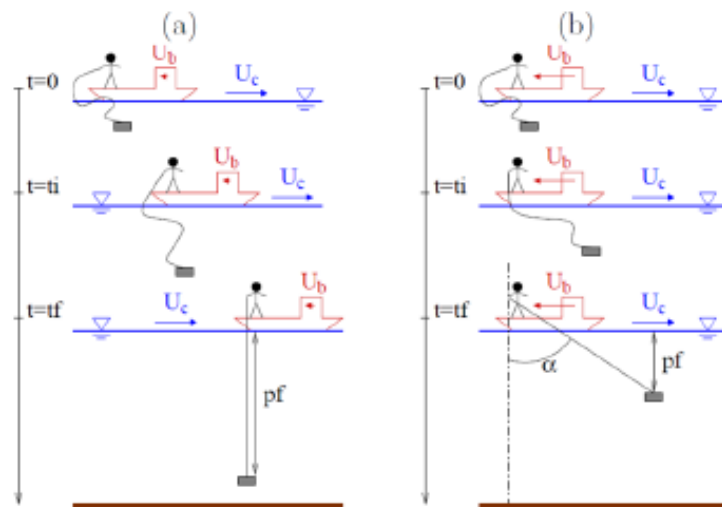
Mise en œuvre de l'ADCP : L'ADCP sera mis en œuvre dans les règles de l'art. Sans oublier une calibration compas, et un couplage ADCP GPS. Un jaugeage sera constitué de 6 transects consécutifs (3 aller-retour) à réaliser avant et après (soit 2 * 6 transect) les opérations de prélèvement, tout comme la lecture échelle (avec photo).

Note : Exemple de configuration « condition extrême de transport solide » pour un ADCP RG RDI : BP4 / WP5 / BM5 / WM1 / WS30 / WN30 / WF15 / BE3000 / BA15 / BC180

Choix des verticales : Lors du premier jaugeage liquide l'opérateur ADCP réalise un schéma de la section avec le plan de prélèvement. L'examen du graphique de la distribution du backscatter peut permettre de détecter le transport de sable et d'ainsi placer les verticales en fonction, en essayant de centrer sur des zones de concentration/profondeur/vitesse relativement homogènes. La norme ISO 4363 prévoit 5 verticales pour les cours d'eau de largeur inférieure à 200m de large et 7 verticales pour les cours d'eau de largeur supérieure à 200m. Cette règle peut être appliquée pour vérifier l'homogénéité de la distribution de la concentration, on essaiera ensuite de réduire ce nombre de verticales.

Mise en œuvre de la bouteille Horizontale : La bouteille Horizontale sera équipée d'un capteur de pression autonome de type Diver ou autre et réglé à un pas de temps d'acquisition de 0,5 à 1 seconde. Suivre ensuite les étapes suivantes, qui correspondent à la (Figure 2).

- Positionnement de l'embarcation sur la première verticale de prélèvement (on peut utiliser pour cela un autre GPS type traceur de carte ou autres), l'opérateur ADCP peut guider le pilote et vérifier la distance parcourue depuis la berge et la profondeur lorsque la verticale cible est atteinte.
- Idéalement faire un enregistrement ADCP stationnaire de 3 min sur chaque verticale avant d'échantillonner.
- Se mettre ensuite en place en amont du transect de mesure dans l'axe de verticale cible
- Préparer la longueur de câble porteur voulue
- Avant de laisser descendre le préleveur, mettre le moteur du bateau au point mort et se laisser dériver.
- La bouteille est mise à l'eau lorsque la vitesse du bateau est équivalente à la vitesse du courant, de préférence à l'amont du bateau.
- La dérive du bateau va permettre au câble porteur de se trouver à la verticale quelques instants, c'est à ce moment-là, voir un peu avant suivant les vitesses et l'inertie du bateau que le message doit être envoyé pour fermer le préleveur
- Lors de l'impact du message, l'opérateur ADCP devra noter le N° d'ensemble ADCP correspondant ainsi que le numéro de l'échantillon, la profondeur cible et le temps.
- Il est fortement conseillé de faire un essai pour estimer la distance de dérive (cette distance va dépendre du bateau utilisé et de la vitesse du courant)
- En cas d'impact du préleveur au fond, renouvelez l'opération.



• *Figure 2 : Protocole de prélèvement avec une bouteille Van Dorn (a : correct ; b ; incorrect). Source Camenen (2016)*

Transfert de l'échantillon :

- A l'aide de l'entonnoir, transférer la totalité du contenu du préleveur dans le flacon préalablement numéroté.

- Observer l'intérieur du préleveur et la base de l'entonnoir : en cas de présence de sable visible aider les particules à rentrer dans le flacon en réutilisant l'eau du flacon reprise avec un petit récipient. (Noter cette opération sur la fiche de terrain)

Fin de campagne : Vérifier la présence de tous les échantillons marqués sur la fiche de terrain. Au retour au laboratoire stockez les en chambre froide en attendant l'analyse. Exporter et sauvegarder les données et des photos des fiches de terrain.

Bonus : Faire un prélèvement à la benne Eckman au droit de chaque verticale, verser le contenu dans flacon.

5.2.ANNEXE 2 – Jaugeages du Congo à la section Brazzaville-Kinshasa, le 10/01/2024

Jaugeages du Congo à la section Brazzaville-Kinshasa, le 10/01/2024

Alexandre Hauet – IGE – Univ. Grenoble Alpes. alexandre.hauet@univ-grenoble-alpes.fr

Guillaume Dramais, Jérôme LeCoz, Benoît Camenen, Inrae Lyon.

Projet AMES - Contribution à la modélisation du transport sédimentaire dans le fleuve Congo .

09/02/2024

Contexte

Le jaugeage du Congo complet entre Brazzaville et Kinshasa a été réalisé le 10/01/2024, entre 10h00 et 13h30 (heure UTC), au moment du pic de la crue, avec une hauteur à l'échelle de Brazzaville de 547 cm.

Deux ADCP ont été utilisés : un TRDI RioGrande 600 kHz appartenant aux GIE-SCEVN, et un SonTek M9 (mis à disposition par la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes) apporté par INRAE et IGE dans le cadre du projet AMES. Chaque ADCP était monté à couple d'une pinasse, et les pinasses naviguaient à une distance de plusieurs centaines de mètres l'une de l'autre, pour éviter toute éventuelle perturbation acoustique entre les deux ADCP (Figure 1).



Figure 1: déploiement des ADCP SonTek M9 (à gauche) et TRDI RioGrande (à droite) sur les deux pinasses

Les mesures des deux ADCP sont analysées avec le logiciel open-source QRevInt 1.28 (<https://www.geneshydrotech.com/qrevint>).

Mesure TRDI RioGrande 600 kHz

Le RioGrande est équipé d'un GPS. Le suivi Bottom Tracking (BT) est peu biaisé par le charriage de fond (fond mobile), vu les fréquences faibles émises par l'appareil. Le suivi BT est théoriquement de meilleure qualité qu'un suivi GPS, car beaucoup plus direct (les vitesses du bateau et de l'eau sont

mesurées dans le même référentiel géométrique). En GPS, l'ADCP doit être équipé d'une boussole magnétique, et cette boussole doit être calibrée pour prendre en compte les influences magnétiques locales. Dans le cas de notre mesure, l'ADCP est déployé sur un flotteur, à couple d'un bateau à coque métallique. Ce bateau produit une très forte perturbation du champ magnétique. La calibration de compas a été réalisée au niveau du Beach de Brazzaville, pour avoir des conditions d'écoulement calme permettant des rotations des pinasses. Malgré une calibration de compas relativement bonne (erreur de $1,4^\circ$), on constate un biais de la trace GPS, de l'ordre de $+7^\circ$ dans le sens Rive droite \rightarrow Rive gauche et de -4° dans le sens Rive gauche \rightarrow Rive droite. Ces biais de compas sont probablement dus à l'environnement magnétique du Beach de Brazzaville où a été réalisée la calibration, en raison des masses métalliques de bateaux et de barges présents. En corrigeant ces dérives, les traces BT et GPS-GGA sont en superposition quasi-parfaite, comme illustré en Figure 2. Cela confirme également que la trace BT n'est pas perturbée par du fond mobile.

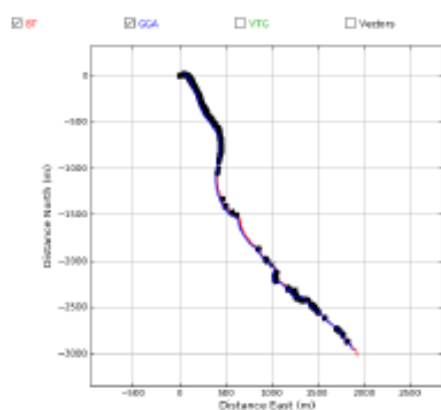


Figure 2 : traces des suivis BT et GPS (GGA)

Avec ces conditions (suivi BT de bonne qualité, pas de biais de fond mobile), le suivi BT est choisi comme référence. Les débits dans les zones proches du fond et de la surface sont extrapolés avec une loi puissance d'exposant 0.17, très proche de la valeur $1/6$ prise habituellement par défaut (Figure 3). Les débits extrapolés en surface et au fond représentent respectivement 5 et 10% du débit total.

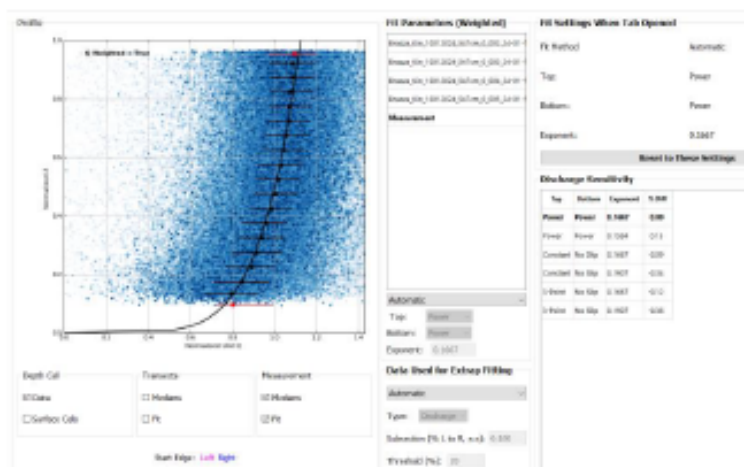


Figure 3 : distribution verticale des vitesses

Les débits extrapolés en berge sont insignifiants par rapport au débit total (0.27 et 0.04% de débit en rive gauche et droite respectivement), donc les incertitudes du débit dues aux distances aux rives (estimées à l'œil) et coefficients de rive sont négligeables.

L'incertitude est estimée par la méthode Oursin implémentée dans QRevInt (Despax et al., 2023).

Le débit retenu, en suivi BT, est de $74\,900\text{ m}^3/\text{s}$, avec une incertitude de $\pm 5\%$ au seuil de confiance de 95% (Figure 4), soit $71\,200\text{ m}^3/\text{s} < Q < 78\,600\text{ m}^3/\text{s}$.

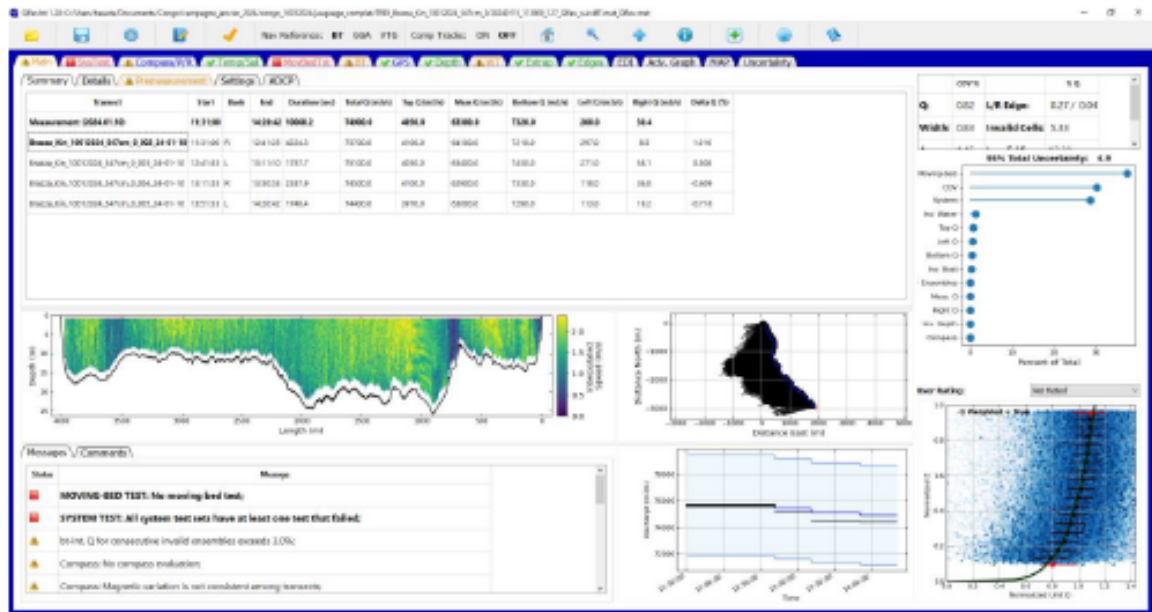


Figure 4 : résumé de la mesure avec le RioGrande 600 kHz.

Pour information, le débit en suivi GGA, considéré moins précis, est de $75\,800\text{ m}^3/\text{s}$, soit un écart de 1% avec le débit en suivi BT, écart non significatif vu les incertitudes.

Mesure SonTek M9

Le SonTek M9 mesure les vitesses avec une fréquence acoustique plus élevée, de 1000 kHz. Cette fréquence plus élevée le rend plus sensible aux perturbations de fond mobile et aux pertes de suivi du BT. Dans ces conditions, la mesure avec le TRDI RioGrande 600 kHz est privilégiée.

On choisit d'utiliser le suivi GPS, et le compas est étalonné de façon convenable (erreur de $1,48^\circ$).

Les débits dans les zones proches du fond et de la surface sont extrapolés avec une loi puissance d'exposant 0.13, relativement proche du 0.17 obtenu avec le TRDI RioGrande 600 kHz (Figure 5).

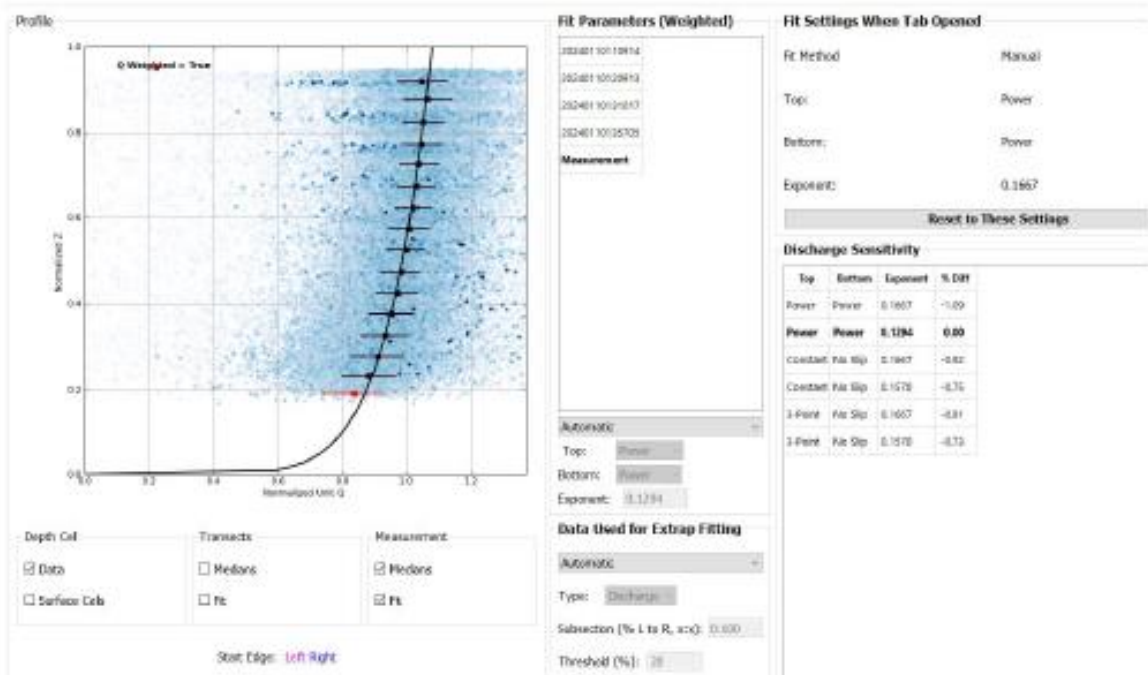


Figure 5 : distribution verticale des vitesses, SonTek M9

Les débits extrapolés en berge sont à nouveau insignifiants par rapport au débit total (0.08 et 0.17% de débit en rive gauche et droite respectivement).

Le débit retenu, en suivi GGA, est de 73 200 m³/s, avec une incertitude de +/- 6% au niveau de confiance de 95% (Figure 6), soit 68 800 m³/s < Q < 73 200 m³/s.

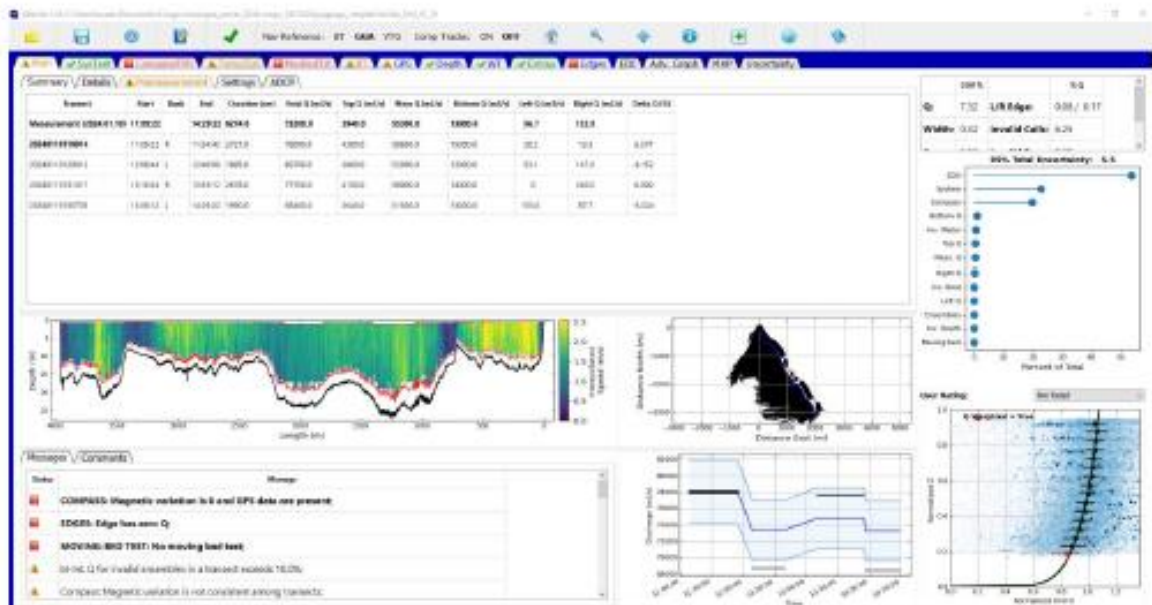


Figure 6 : résumé de la mesure avec le SonTek M9

Pour information, le débit en suivi BT, évalué moins précis, est de 73 800 m³/s, soit un écart de moins de 1% avec le débit en suivi GGA, ce qui laisse penser que l'effet du fond mobile est limité.

Bilan des mesures

Les deux jaugeages retenus sont très proches :

- 74 900 m³/s ± 5% avec le TRDI RioGrande 600 kHz
- 73 200 m³/s ± 6% avec le SonTek M9 1000kHz
- Soit un écart de 2% entre les deux jaugeages

L'écart entre les jaugeages n'est pas significatif si on considère les incertitudes des jaugeages (5% pour TRDI, 6% pour SonTek).

La mesure en suivi BT étant plus robuste que la mesure en suivi GPS, il est décidé de garder la valeur du jaugeage TRDI, soit 74 900 m³/s avec une incertitude élargie (au niveau de confiance de 95%) de 5% comme résultat de ce jaugeage.

Références :

Despax, A. et al. Validation of an Uncertainty Propagation Method for Moving-Boat Acoustic Doppler Current Profiler Discharge Measurements. Water Res. Res., 59(1).
<https://doi.org/10.1029/2021WR031878>

5.3. ANNEXE 3 - Correction et actualisation de la série hydrométrique 1902-2024

J. Le Coz – 13/02/2024

La mission de janvier 2024 à Brazzaville a été l'occasion de corriger et mettre à jour la chronique de hauteur et de débit du Congo quasi-continue depuis 1902, qui avait été établie et calculée avec la méthode BaRatin (Le Coz et al., 2014) pour les articles de Le Coz et al. (2021) et de Laraque et al. (2022). En effet, les échanges avec les hydromètres des deux rives (Lévy Ayissou et Grace Bissemou pour le GIE-SCEVN, Cédric Tschumbu pour la RVF) ainsi que la consultation des carnets d'enregistrement des hauteurs d'eau ont permis de corriger certaines erreurs et lacunes, et d'ajouter les relevés les plus récents :

- élimination de plusieurs petites lacunes codées en cote nulle (ce qui donnait donc des débits aberrants après application de la courbe de tarage) ;
- changement de l'heure du relevé quotidien de 12h à 7h (pratique actuelle, et a priori la plus probable dans le passé, le fuseau horaire est supposé être celui en vigueur actuellement : UTC+1) ;
- ajout des hauteurs d'eau mesurées au beach de Brazzaville (BZV) de 2021 à janvier 2024, incluant le pic de crue 2024
- détection d'erreurs à corriger dans les cotes de Kinshasa-est (à transmettre à la RVF) : manifestement, les cotes négatives sont en mètres, alors que les cotes positives sont en centimètres. Cela semble se produire partout dans le fichier, pas seulement pour fin juillet 1997 ;
- correction des hauteurs d'eau reconstituées pendant la lacune de juin à décembre 1997 correspondant à la guerre civile et aux troubles subséquents au Congo-Brazzaville.

Ce dernier point mérite quelques explications car il causait une énorme erreur qui entachait la plus belle série hydrométrique du continent africain! En effet, le pic de la crue 1997 était clairement faux (surestimé de 60 cm, ce qui en faisait le 3ème plus fort de la série depuis 1902...). Cet écart correspond au décalage d'échelle entre les échelles de Kinshasa-est et BZV-beach (voir équation 2 dans Laraque et al. 2022) : en corrigeant ce décalage avec cette même équation, on retombe bien sur les cotes que j'ai relevées dans le carnet 1997 du GIE SCEVN lors de notre mission, qui couvrent novembre-décembre 1997 (avec des lacunes) : voir Figure III-1. Il y avait aussi quelques relevés en juin permettant de confirmer et compléter un peu la série de Laraque et al. 2022 : il y a eu une chute de niveau assez rapide au début de la lacune, d'environ 60 cm, ce qui a dû tromper ceux qui ont comblé la lacune précédemment.

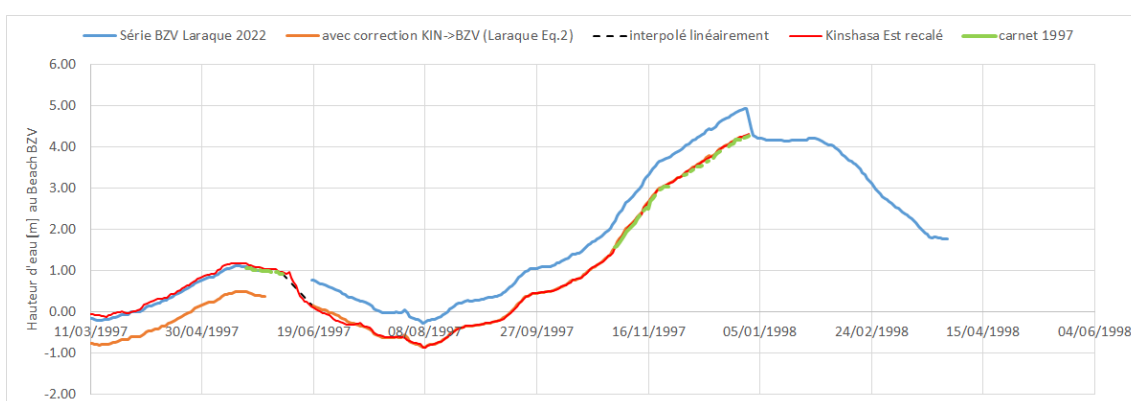


Figure III-1. Hauteurs d'eau relevées et reconstituées à l'échelle du Beach de Brazzaville en 1997-1998 : pendant la lacune (juin-décembre 1997) due à la guerre civile, les cotes transférées depuis l'échelle de Kinshasa-Est sont très proches des relevés lacunaires retrouvés dans les carnets du GIE-SCEVN ; la chronique existante (Laraque et al., 2022) est ainsi corrigée et complétée.

La chronique de hauteurs d'eau corrigée (Figure III-2) a été mise à jour dans le logiciel BaRatinAGE 3.0 permettant d'estimer la courbe de tarage hauteur-débit ainsi que l'hydrogramme, assortis de leurs incertitudes. On constate bien l'occurrence de pics de crue très élevés en 2019 et 2024 (547 cm, n°2), qui rappellent ceux de 1961 (554 cm, n°1) et 1962 dans la « décennie humide » 1960-1970.

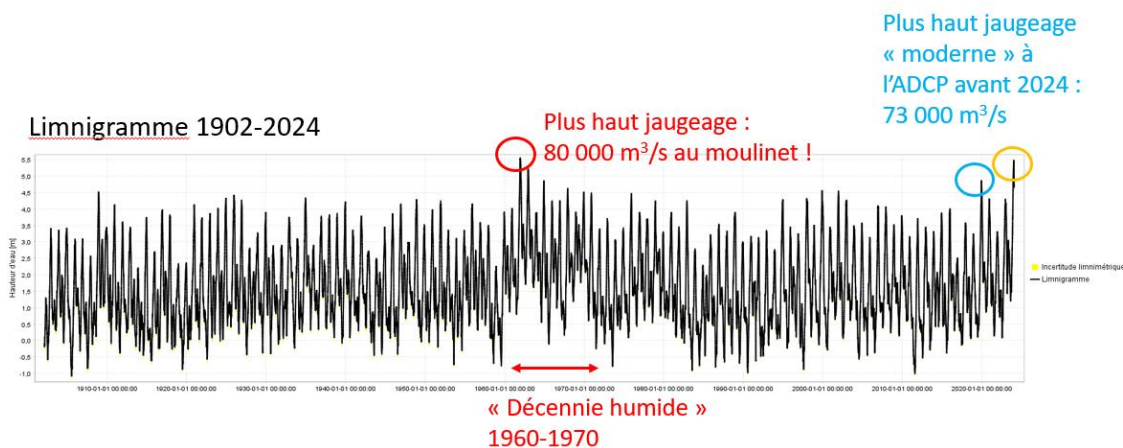


Figure III-2. Série corrigée des hauteurs d'eau mesurées ou reconstituée à l'échelle du Beach de Brazzaville de 1902 à janvier 2024 (logiciel BaRatinAGE 3.0).

La courbe de tarage hauteur-débit du Congo au beach de Brazzaville calculée avec la méthode BaRatin a été mise à jour avec les jaugeages ADCP les plus récents (postérieurs à celui du pic de 2019), dont celui de janvier 2024. La courbe de tarage ainsi baratinée (Figure III-3) ne change quasiment pas par rapport à celle établie par Laraque et al. (2022), qui proposent d'autres variantes très similaires. Une révision des débits des jaugeages ADCP (à prendre en référence BT plutôt que GGA, le débit en référence GGA pouvant être faussé si le compas est perturbé pendant l'étalonnage tandis que l'effet de fond mobile semble négligeable pour 600kHz, cf. Annexe 2) et une vérification qu'ils ont bien été tous pris en compte seraient sans doute utiles, même si cela ne changera pas beaucoup la courbe de tarage, a priori, qui reste également très proche de l'ajustement polynomial établi dans Laraque et al. (2022).

Les incertitudes de la courbe de tarage restent très faibles, mais pour les plus hautes eaux, les jaugeages anciens au moulinet semblent s'aligner légèrement plus hauts que le reste des jaugeages et que les jaugeages ADCP « modernes » : biais de mesure des jaugeages anciens (réalisés dans des conditions très difficiles) ou léger détarage survenu entretemps (remblai ou modification du contrôle au niveau des rapides du Djoué) ?

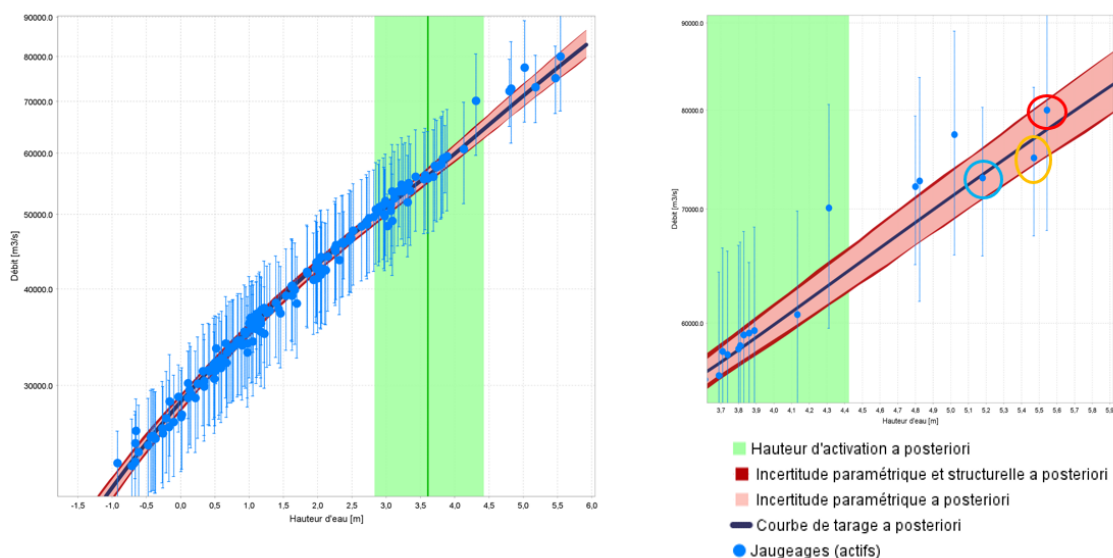


Figure III-3. Courbe de tarage hauteur-débit du Congo au beach de Brazzaville calculée avec la méthode BaRatin (à droite :

détail pour les hautes eaux).

L'hydrogramme 1902-2024 avec incertitudes est corrigé et mis à jour avec ce nouveau limnigramme et cette nouvelle courbe de tarage. L'étude BaRatin mise à disposition pourra être actualisée avec les futurs jaugages et relevés de hauteurs d'eau.

Quoi qu'il en soit, on est dans le cas (pas si rare) où la courbe de tarage est certainement moins incertaine que les jaugages (en particulier ceux faits au moulinet). Ce qui fait que les pointes de crue dans l'hydrogramme ne sont pas tout à fait égales aux valeurs des jaugages, que les gens gardent plus volontiers en tête :

- 78 000 m³/s en 1961 (jaugage moulinet à 80 000 m³/s) : intervalle d'incertitude à 95% = [75 000 ; 81 000]
- 77 000 m³/s en 2024 (jaugage ADCP à 75 000 m³/s) : intervalle d'incertitude à 95% = [74 000 ; 80 000]

Ce qui fait qu'en débit, la pointe de crue de 2024 est à -1.3% seulement de celle de 1961...

Références

Laraque, A., Le Coz, J., Moukandi N'kaya, G.D., Bissemo, G., Ayissou, L., Rouché, N., Bricquet, J.-P., Gulemvuga, G. (2022) Courbes de tarage du fleuve Congo à Brazzaville-Kinshasa, LHB-Hydrosience, 2082338.

Le Coz, J., Renard, B., Bonnifait, L., Branger, F., Le Boursicaud, R. (2014) Combining hydraulic knowledge and uncertain gaugings in the estimation of hydrometric rating curves: a Bayesian approach, *Journal of Hydrology*, 509, 573-587

Le Coz, J., Moukandi N'kaya, G. D., Bricquet, J.-P., Laraque, A., and Renard, B. (2021) Estimation bayésienne des courbes de tarage et des incertitudes associées : application de la méthode BaRatin au Congo à Brazzaville, *Proc. IAHS*, 384, 25-29.



Centre Center Lyon-Grenoble - Auvergne-Rhône-Alpes
Adresse à préciser

Rejoignez-nous sur :



<https://www.inrae.fr/centres/lyon-grenoble-auvergne-rhone-alpes>

