

# Termes de Référence – Etude Hydrométrique et Bathymétrique du Fleuve Congo au Site d’Inga

## 1. Contexte et justification de l’étude

Le site d’Inga, sur le fleuve Congo dans la province du Kongo Central en République Démocratique du Congo (RDC), recèle un potentiel hydroélectrique exceptionnel d’environ 44 000 MW. Les centrales existantes Inga-1 et Inga-2 (respectivement mises en service en 1972 et 1982, totalisant environ 1 775 MW) ne suffisent plus à satisfaire la demande croissante d’électricité.

Dans ce contexte, la RDC envisage le développement d’Inga-3 comme première phase du complexe hydroélectrique Grand Inga, avec une puissance installée cible estimée entre 3 000 MW et 11 000 MW (la valeur précise restant à définir selon les options techniques en cours d’évaluation), afin d’alimenter le marché national (Kinshasa, Kongo Central, Katanga minier) ainsi que des pays voisins. Une étude de faisabilité menée par le groupement AECOM–EDF en 2013 a examiné les options techniques d’aménagement du site d’Inga et identifié les grandes orientations du projet. Elle a cependant mis en évidence d’importantes lacunes en données de base, nécessitant des compléments d’information pour réduire les incertitudes de conception des ouvrages.

En particulier, il manque une cartographie bathymétrique précise du lit du fleuve aux endroits critiques, ainsi que des données hydrologiques approfondies couvrant l’ensemble du cycle annuel (y compris étiages et crues extrêmes), indispensables pour optimiser la conception du futur barrage et de ses ouvrages annexes, et pour affiner la planification générale du projet. Les données partielles actuellement disponibles ne couvrent pas toutes les conditions d’écoulement : par exemple, les régimes de basses eaux et de crues exceptionnelles n’ont pas été suffisamment documentés, et certaines zones stratégiques du site (telles que la zone de prise d’eau de dérivation et la zone de restitution des eaux turbinées) n’ont que partiellement été couvertes par les relevés antérieurs.

Des études antérieures ont apporté un début de réponse partielle, notamment : l’étude Bathys 2015–2016, qui a réalisé un premier levé bathymétrique partiel du fleuve à Inga (profils bathymétriques initiaux, avec quelques jaugeages de débit mesurés de l’ordre de 37 000 à 39 000 m<sup>3</sup>/s) et a évalué l’état des échelles limnimétriques historiques du site ; ainsi qu’une campagne LiDAR aéroporté en 2012, qui a produit un Modèle Numérique de Terrain (MNT) détaillé de haute résolution pour les zones émergées du site (précision altimétrique élevée, courbes de niveau à équidistance 2 m). Ces travaux ont fourni une base de données initiale utile, mais leur portée est restée limitée et ils n’ont couvert qu’en partie les scénarios hydrologiques d’intérêt.

En particulier, la bathymétrie du fleuve et de ses bras adjacents n’a pas été intégralement intégrée avec la topographie terrestre existante, de sorte qu’il n’existe pas encore de modèle continu terre-eau du site combinant toutes les données disponibles. Compte tenu de

l'importance stratégique du projet Inga-3 (le Projet) et des recommandations des bailleurs de fonds (Banque mondiale, etc.), il est impératif de combler ces lacunes par une nouvelle étude hydrométrique et bathymétrique exhaustive du site d'Inga.

La présente étude s'inscrit dans le cadre du Programme de Développement d'Inga-3 (PDI3) financé par l'IDA. Elle devra scrupuleusement respecter les normes et directives des bailleurs de fonds, intégrer toutes les exigences environnementales, sociales et sécuritaires applicables, et veiller à la durabilité des acquis (données ouvertes, renforcement des capacités locales, etc.).

En fournissant des données géospatiales de référence fiables pour la conception détaillée du barrage et de ses ouvrages annexes, la présente mission contribuera à réduire les incertitudes techniques tout en assurant la cohérence avec les études antérieures. Elle facilitera également l'intégration avec l'étude parallèle d'actualisation des options techniques du projet (détermination du schéma d'aménagement optimal et variantes de conception du barrage). En somme, l'étude répond à un besoin stratégique : consolider les informations existantes et réaliser des levés complets afin de réduire les incertitudes de conception (topographie du lit, géodésie, régimes hydrologiques), disposer d'un référentiel actualisé de données hydrologiques et géospatiales 2D/3D couvrant l'ensemble du site d'Inga – bathymétrie fluviale et topographie terrestre – afin de guider les décisions d'ingénierie et d'accélérer le développement du projet et renforcer la transparence et la gouvernance : les données seront produites selon les normes mondiales et mises à disposition de l'ADPI/IDA.

Les présents Termes de Référence (TdR) définissent les objectifs, la portée, la méthodologie, les livrables et les exigences de la mission, en alignement avec les meilleures pratiques d'ingénierie hydraulique et de géomatique, et en conformité avec l'Accord de financement IDA et les standards internationaux applicables.

## **2. Objectifs de l'étude**

### **2.1. Objectif général**

L'objectif principal de la mission est de recueillir et fournir des données bathymétriques et hydrométriques détaillées, fiables et à jour sur le site d'Inga, afin d'affiner la conception technique du projet hydroélectrique Inga-3 en préparation et de réduire les incertitudes sur les conditions d'écoulement du fleuve. Pour ce faire, le Consultant réalisera l'ensemble des investigations de terrain nécessaires – notamment des levés bathymétriques haute précision, des mesures de débits sur plusieurs saisons hydrologiques, et des relevés topographiques complémentaires aux abords immédiats du fleuve.

En d'autres termes, la mission vise à doter l'Agence pour le Développement et le Projet Grand Inga (ADPI-RDC) (le Client), d'une base de données géoréférencée exhaustive servant de référence pour la planification et la conception du futur aménagement Inga-3 et de ses infrastructures associées.

## 2.2. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de l'étude (découlant de l'objectif général ci-dessus sous forme de résultats concrets) sont notamment :

- Collecter et analyser les données existantes : le Consultant compilera toutes les études précédentes (hydrologiques, sédimentologiques, bathymétriques, topographiques) disponibles, en évaluera la qualité et la pertinence, et justifiera l'utilisation ou la mise à jour totale ou partielle de ces données selon le cas.
- Cartographier la bathymétrie détaillée du fleuve Congo sur les zones clés du projet Inga-3. Ces zones incluent notamment :
  - la zone du futur barrage principal (traversée du fleuve vers l'île de Sikila) ;
  - la zone de la prise d'eau de Kianda en amont (rive gauche, emplacement du canal d'amenée projeté) ;
  - la zone aval de restitution des eaux turbinées dans la vallée de la Bundi (confluence Bundi–fleuve Congo).

Le Consultant mènera une campagne de levés bathymétriques multifaisceaux (MBES) à haute résolution sur ces trois zones stratégiques critiques du fleuve, conformément aux exigences de l'OHI (ordre Exclusive et 1a), en intégrant des levés complémentaires (profils monofaisceaux, carottages) au besoin, afin de produire un Modèle Numérique de Terrain précis du lit du fleuve au droit du site. La résolution devra être suffisante pour détecter toute irrégularité du fond (hauts-fonds, affleurements rocheux, etc.) pouvant influencer la conception des ouvrages.

- Mesurer les débits et régimes hydrologiques du fleuve sur plusieurs saisons hydrologiques, de manière à couvrir l'ensemble du cycle hydrologique annuel (basses eaux, moyennes eaux, hautes eaux). A cet effet, le Consultant installera des stations hydrométriques permanentes – par exemple des échelles limnimétriques équipées de capteurs enregistreurs et de systèmes de télémétrie, pour assurer un suivi continu des niveaux d'eau aux endroits stratégiques du site (par exemple à Kianda en amont et à Bundi en aval), et réhabilitera les quatorze (14) stations hydrométriques existantes le long du tronçon Inga–Matadi, afin d'assurer un suivi continu des niveaux d'eau. Ces 16 stations (2 nouvelles + 14 réhabilitées) fourniront un enregistrement continu des variations de hauteur d'eau en complément des campagnes ponctuelles de jaugeage, améliorant ainsi la compréhension du régime hydrologique du fleuve dans la région d'Inga.
- Acquérir des données topographiques haute résolution sur les berges et zones émergées du site (par levés LiDAR topobathymétrique et levés terrestres), afin de générer un modèle numérique altimétrique continu intégrant terre et eau sur l'ensemble de la zone d'étude.

- Elaborer un référentiel géodésique et altimétrique homogène : le Consultant définira un datum vertical unique applicable à tous les levés, rattaché au système de coordonnées du Projet (WGS84 / UTM zone 33S), afin de faciliter l'intégration des données historiques et la comparaison cohérente de l'ensemble des résultats.
- Intégrer l'ensemble des données recueillies (bathymétriques, topographiques et hydrologiques) dans un modèle numérique unifié et cohérent couvrant le site d'Inga. Le Consultant combinera la topographie terrestre disponible (notamment le MNT LiDAR de 2012) avec la nouvelle bathymétrie fluviale, afin de produire un modèle numérique intégré terre-eau couvrant tout le site d'Inga qui servira de base géospatiale commune pour les ingénieurs du projet. En parallèle, une maquette numérique 3D du site (de type BIM – Building Information Modeling) sera également élaborée, intégrant les données de terrain et permettant une visualisation et une analyse avancées de l'aménagement. Ces produits numériques contribueront à réduire les incertitudes en fournissant un référentiel actualisé et partagé de l'état du site avant travaux. Ce « jumeau numérique » servira de base fiable pour la conception détaillée des ouvrages et la planification du projet.
- Produire un Atlas cartographique et un rapport final incluant cartes en couleurs, profils longitudinaux et transversaux, analyses et recommandations.
- Renforcer les capacités locales et assurer la pérennité du suivi hydrologique. Un volet important de la mission sera consacré au transfert de compétences aux acteurs locaux désignés par le Client (techniciens de l'ADPI-RDC, de la SNEL, du Service Hydrologique National, de la Régie des Voies Fluviales, etc.) et à pérenniser les acquis du projet. Le Consultant impliquera activement le personnel local dans les activités de terrain et assurera sa formation à l'utilisation des équipements installés, à la mise à jour des modèles numériques, à l'entretien du réseau hydrométrique et à l'exploitation des données collectées, de sorte qu'à l'issue du projet la partie congolaise dispose des connaissances et outils nécessaires pour poursuivre de façon autonome le suivi hydrologique du fleuve. Un plan de maintenance des stations hydrométriques et des recommandations pour la poursuite du monitoring seront élaborés à cet effet, incluant les procédures d'entretien préventif et de calibration périodique, afin d'assurer leur fonctionnement durable au-delà de la mission. Ce plan de maintenance, couvrant un horizon d'au moins 10 ans, sera remis en annexe du rapport final et servira de feuille de route au Client. Il précisera le calendrier et les responsabilités pour les recalibrages, vérifications annuelles, remplacements de pièces, etc. Le Consultant devra également prévoir des sessions de formation pratique pour les agents locaux en charge du suivi. L'objectif sera de laisser au Client un héritage durable en termes de savoir-faire et d'outils de suivi hydrologique (stations opérationnelles, personnel formé, plan de maintenance à long terme validé et effectif).

En résumé, la présente mission vise à fournir au Client (ADPI-RDC) une base de données géospatiale exhaustive et de haute qualité (bathymétrie + hydrologie) pour orienter la planification et la conception du barrage Inga-3 et de ses ouvrages associés. Elle renforcera

significativement la connaissance du site (conditions d'écoulement, relief sous-marin, etc.) et contribuera à la préparation d'un projet robuste, conforme aux normes internationales et aux attentes des bailleurs de fonds.

### **3. Etendue des Services et Tâches du Consultant**

#### **3.1. Portée générale de la mission**

Pour atteindre les objectifs définis ci-dessus, le Consultant réalisera une mission complète incluant la préparation, les travaux de terrain, l'analyse des données et la restitution des résultats. Il proposera, dans son offre technique, une méthodologie détaillée pour chaque volet, en évitant les duplications avec les données existantes jugées suffisantes, et en optimisant l'enchaînement des activités pour tirer parti des conditions favorables (notamment de la saisonnalité du fleuve). La proposition décrira et justifiera les choix techniques, l'organisation prévue et les moyens à mobiliser.

Les principales tâches à réaliser par le Consultant comprennent notamment (liste non limitative) les cinq tâches décrites ci-après.

#### **3.2. Tâche 1 : Revue des données existantes et planification détaillée**

##### **3.2.1. Tâche 1.a – Collecte et analyse des informations disponibles**

Le Consultant collectera et examinera l'ensemble de la documentation, des études et des données existantes pertinentes mises à sa disposition par le Client ou accessibles par ailleurs. Il effectuera une analyse critique de ces sources afin d'identifier les lacunes, incohérences ou incertitudes qui devront être comblées par de nouveaux relevés. Par exemple, il analysera l'exhaustivité, la précision et l'âge des données analysées, vérifiera la compatibilité et la précision des référentiels géodésiques utilisés (systèmes de coordonnées, datum vertical), la date et la fiabilité des levés, la couverture spatiale et temporelle des données (zones ou périodes manquantes), et l'écart entre les besoins du projet et les informations disponibles.

Cette revue initiale couvrira notamment les études bathymétriques et hydrométriques antérieures (comme par exemple l'étude Bathys de 2015–2016, les données de LiDAR 2012, les archives de la RVF, etc.), les données hydrologiques historiques (stations limnimétriques d'Inga, débits enregistrés en aval, etc.), les études géotechniques et environnementales disponibles, ainsi que toute autre information utile (cartes, imagerie satellite, données administratives). Le Consultant dressera un inventaire des données existantes, en évaluant leur fiabilité, et identifiera les besoins supplémentaires. Cette étape permettra de préciser la portée des travaux de terrain à réaliser et d'optimiser la planification de la mission.

Cette revue portera également sur l'état des infrastructures de mesure existantes : notamment les échelles limnimétriques historiques du site d'Inga et des environs. En concertation avec le Client et la Régie des Voies Fluviales (RVF) qui gère ce tronçon du fleuve, le Consultant dressera la liste des stations hydrométriques historiques (on

dénombrer environ 16 échelles limnimétriques utiles installées par le passé, dont certaines pourraient être réhabilitées) et évaluera leur état et l'intérêt de leurs séries de données.

Il convient de noter que lorsque certaines données historiques existantes seront jugées suffisamment complètes et pertinentes et couvrent adéquatement une zone d'étude, le Consultant pourra les utiliser sans répéter l'intégralité des levés afin d'éviter des levés redondants, mais il devra évaluer de manière critique la qualité et la couverture de ces données et justifier dans son plan de travail tout choix de s'appuyer sur elles ou, au contraire, de conduire de nouveaux levés complémentaires sous réserve d'une argumentation solide et d'une validation sur le terrain. Le Consultant comblera les lacunes éventuelles identifiées par des mesures supplémentaires ciblées plutôt que de dupliquer gratuitement des données fiables.

Le Consultant numérisera et géoréférencera les cartes et plans anciens, vérifiera la cohérence altimétrique, corrigera les éventuelles anomalies et constituera une base de données SIG sécurisée. Cette approche permettra d'optimiser les ressources et de concentrer les efforts sur les zones et périodes insuffisamment documentées.

### **3.2.2. Tâche 1.b – Plan de travail détaillé et méthodologie**

Sur la base de cette revue initiale, le Consultant élaborera un plan de travail détaillé pour l'exécution de la mission. Celui-ci comprendra la méthodologie proposée prévue par le Consultant pour chaque activité de terrain (levés bathymétriques, jaugeages hydrologiques, installations, traitement de données, etc.), le calendrier d'exécution détaillé, l'organisation de l'équipe (y compris les responsabilités de chaque membre), ainsi que les dispositions en matière de Santé-Sécurité-Environnement (plan HSE) et d'assurance qualité (plan QA/QC), les protocoles de mesure envisagés, le choix des équipements et technologies proposés, les normes de précision visées par zone (avec référence aux normes hydrographiques internationales de l'OHI, notamment la norme IHO S-44 – dernière édition – et ses catégories de levés), les dispositions de calibration des instruments (exemple : procédures d'étalonnage des sondeurs, mesures des profils de vitesse du son dans l'eau, etc.), ainsi que les mesures organisationnelles et sécuritaires prévues. Le plan de travail détaillé prendra en compte la saisonnalité du fleuve pour planifier au mieux les campagnes de mesures (étiage vs crue) et prévoira des solutions de repli en cas de contraintes imprévues.

Un accent particulier sera mis sur le Plan d'Hygiène, Sécurité et Environnement (Plan HSE) du projet, que le Consultant préparera avant le début des travaux de terrain : ce plan détaillera les mesures de sécurité pour le personnel et le matériel (navigation en eaux vives, prévention des accidents, gestion des risques naturels), en conformité avec les directives EHS de la Banque mondiale applicables. Il inclura également les mesures de mitigation environnementale et sociale pendant les travaux (exemple : éviter toute pollution du fleuve, respecter la biodiversité locale conformément aux exigences de la NES6/IFC PS6, informer les communautés locales en cas d'accès à des zones habitées, etc.).

Le calendrier détaillé des interventions sera établi, identifiant les fenêtres optimales pour chaque campagne de mesure en fonction des conditions hydrologiques. Par exemple, il est

attendu que la campagne bathymétrique principale soit programmée en période d'étiage (basses eaux, lorsque le niveau du fleuve est le plus bas et les courants possiblement un peu moins forts, typiquement vers juillet-septembre), afin de bénéficier de meilleures conditions de mesure et de couvrir les profondeurs maximales. Inversement, au moins une des campagnes de jaugeages hydrologiques devra avoir lieu en période de crue (débit élevé, par exemple vers novembre-décembre-janvier) afin d'observer les conditions de hautes eaux.

Le Consultant détaillera ces choix de fenêtres saisonnières et prendra en compte les contraintes logistiques (accessibilité des sites en fonction de la pluviométrie, etc.). Cette phase de préparation inclura également la coordination avec le Client pour obtenir toutes les autorisations nécessaires (permis de navigation sur le fleuve, accès aux terrains via la SNEL ou les autorités locales, autorisations douanières pour l'importation de matériel, etc.) et pour mettre en place les moyens logistiques (embarcations, véhicule 4x4, base-vie, moyens de communication, etc.).

Ce rapport de planification, appelé Rapport de démarrage, sera soumis au Client pour validation avant le lancement des travaux de terrain (voir Livrables). Le Consultant intégrera les commentaires du Client et finalisera sa méthodologie en conséquence avant de passer aux tâches de terrain.

Livrable (T1) : rapport de démarrage, à remettre à l'issue de la Tâche 1 et avant déploiement sur le terrain. Ce rapport comprendra la revue des données existantes (analyse documentaire), le plan de travail et la méthodologie détaillée pour l'ensemble des tâches, le calendrier d'exécution affiné, le Plan HSE du projet, le programme d'assurance qualité (plan QA/QC) et l'organigramme de l'équipe du Consultant. Le rapport de démarrage sera soumis au Client pour validation. La mission de terrain principale ne pourra débuter qu'après validation formelle de ce rapport (éventuellement révisé suite aux commentaires du Client).

### **3.3. Tâche 2 : Levés bathymétriques haute résolution**

Cette tâche constitue le cœur de la mission. Le Consultant réalisera la campagne bathymétrique principale visant à cartographier finement le lit du fleuve Congo aux endroits stratégiques définis (voir zones d'étude ci-dessous). Les levés devront couvrir l'entièreté des zones ciblées et être exécutés conformément aux normes hydrographiques internationales (norme OHI S-44, dernière édition en vigueur) et aux bonnes pratiques du domaine. L'objectif sera d'atteindre, pour chaque zone, le niveau de précision requis (Ordre de levé IHO cible) et une couverture complète du fond, afin de n'omettre aucun détail pertinent pour la conception des ouvrages.

#### **3.3.1. Tâche 2.a – Mobilisation des moyens hydrographiques**

Le Consultant mobilisera les moyens humains et matériels nécessaires pour réaliser les levés de la campagne bathymétrique dans des conditions optimales de sécurité et de qualité. Cela inclut la mobilisation d'une équipe hydrographique expérimentée, dotée d'un

chef de mission hydrographe certifié, de pilotes et techniciens, ainsi que l'acheminement du matériel de mesure.

Le matériel comprendra au minimum un échosondeur multifaisceaux (MBES) performant, à haute fréquence adaptée (afin d'obtenir une résolution centimétrique en profondeur), adapté aux grands fonds et forts courants, couplé à un système de positionnement géodésique de haute précision (récepteur GNSS différentiel (RTK) pour le géoréférencement précis des mesures, un profileur de courant acoustique (ADCP) pour les mesures de débit, et les équipements auxiliaires (sondes de vitesse du son, GPS base/rover, etc.). Les équipements à utiliser devront être calibrés et testés avant les levés (étalonnage du sondeur multifaisceaux, patch test pour alignement des capteurs. Avant chaque campagne, les sondeurs MBES et ADCP seront calibrés selon les recommandations constructeur (lever de tests à faible courant) et les résultats d'étalonnage seront inclus dans les rapports techniques.

Le Consultant procédera à l'étalonnage et à la calibration de ses instruments sur site (patch test du MBES, calibration de l'ADCP, etc.) en début de mission pour assurer la conformité des levés aux normes de précision requises (telles que les normes de l'OHI). Il prévoira également du matériel de rechange (redondance des capteurs critiques, pièces détachées) pour parer une éventuelle défaillance en cours de mission, afin de garantir l'atteinte des objectifs.

Par ailleurs, il mettra en place un réseau de repères géodésiques sur site : implantation et mesure d'un réseau primaire (5 points) et secondaire (10 points) de repères permanents en béton, reliés à la fois au réseau géodésique national et au système de coordonnées du Projet (WGS84 / UTM 33S). Ces repères serviront de base de référence altimétrique et planimétrique pour tous les levés et pour les ouvrages du projet. Le Consultant installera également les infrastructures logistiques nécessaires au déroulement de la campagne (bateau hydrographique équipé, moyens de communication, campement le cas échéant).

### **3.3.2. Tâche 2.b – Exécution des levés bathymétriques**

Le Consultant mènera la campagne de sondages bathymétriques multifaisceaux (MBES) sur les trois zones clés identifiées (voir Objectifs) en période d'étiage (période de basses eaux recommandée, afin de maximiser la couverture bathymétrique et de minimiser l'influence des crues sur la sécurité). Pendant cette période, le débit du fleuve, bien que toujours important, est à son plus bas annuel (environ 20 000–30 000 m<sup>3</sup>/s d'après les données historiques d'étiage), ce qui peut légèrement réduire la turbulence et la hauteur des vagues par rapport à la crue.

Le Consultant procédera à des levés systématiques sur chaque zone d'étude : les levés seront conduits suivant des transects (profils) rapprochés et parallèles assurant une couverture complète du lit (soit 100% du fond) et des berges immergées, de manière à obtenir un maillage de points dense (< 0,5 × 0,5 m ou meilleure) sur l'ensemble des zones. Une attention particulière sera portée aux secteurs critiques : tracé prévu du barrage

(rapides d'Inga, île de Sikila), couloir envisagé du canal de dérivation de Kianda, et chenal de restitution vers la Bundi.

Le Consultant veillera à couvrir suffisamment en amont et en aval pour englober les zones d'influence hydraulique du projet. Il procédera aux relevés en minimisant les zones d'ombre et en assurant un recouvrement latéral suffisant (typiquement 20% minimum) entre passes adjacentes, seront effectués afin de ne laisser aucune lacune de données. Sur les emplacements critiques (axe du futur barrage, zone précise de la prise d'eau de Kianda, etc.), une densité accrue de points sera exigée : le Consultant réalisera des passes supplémentaires (double couverture) pour atteindre la fiabilité IHO "Ordre exclusif" requise localement (chaque point du fond étant sondé au moins deux fois). Les données brutes MBES seront contrôlées en continu pour vérifier la qualité (couverture, densité, précision) et refaire des passes si nécessaire.

Une attention particulière devra être portée à la calibration en cours de levé et au contrôle qualité : le Consultant mettra en place un protocole QA/QC formel et rigoureux pendant les acquisitions : contrôles croisés entre passes (comparaison des profondeurs sur les zones de recouvrement), tests de répétabilité sur un point de référence sous-marin, et éventuellement levé de quelques points de contrôle indépendants (par exemple sondages monofaisceaux ponctuels ou mesures manuelles au sondeur plomb) pour valider la justesse des profondeurs mesurées. Chaque levé bathymétrique et hydrométrique sera vérifié par recoupement (par exemple levés inversés) et contrôlé par un expert indépendant. Les écarts seront documentés et corrigés avant finalisation du MNT. En parallèle, le Consultant effectuera des jaugeages de débit synchronisés lors des levés (voir Tâche 3) afin de corrélérer les profondeurs mesurées avec les conditions de débit instantané.

Si des écarts ou anomalies sont détectés (exemple : écart vertical hors tolérance entre deux passages, trou de données, etc.), le Consultant reprendra les mesures sur la zone concernée jusqu'à atteindre la conformité requise. Le niveau de tolérance pour chaque zone sera dicté par l'ordre de précision IHO visé : le Consultant devra s'assurer que l'erreur verticale totale (ETV) et les autres critères de précision respectent les limites de l'OHI pour l'ordre spécifié (Ordre 1a ou spécial/exclusif selon les zones).

Enfin, toutes les profondeurs mesurées seront réduites par rapport à un plan de référence altimétrique unique et stable (par exemple le zéro hydrographique local ou à un autre datum connu) en utilisant les relevés synchrones de niveau d'eau aux échelles limnimétriques (voir Tâche 3). Ainsi, les données bathymétriques finales seront exprimées en altitudes homogènes, directement exploitables par les ingénieurs.

### **3.3.3. Tâche 2.c – Couverture topographique complémentaire**

Parallèlement aux sondages bathymétriques et afin de compléter la cartographie, le Consultant réalisera des levés topographiques terrestres sur les zones riveraines non couvertes par les données LiDAR existantes ou lorsque cela s'avère nécessaire pour obtenir un modèle continu terre-eau. Il couvrira les zones terrestres immédiatement adjacentes (rives, hauts-fonds découverts) afin d'obtenir une continuité terre-eau sans rupture. Il

exploitera pour cela le MNT LiDAR existant (s'il est suffisamment récent et précis) pour la majeure partie des terres émergées. Il réalisera des relevés topographiques complémentaires là où c'est nécessaire : par exemple, un nivellement précis du zéro des échelles limnimétriques installées, des profils de berge sur les zones d'implantation pressenties des ouvrages, ou encore un survol par drone photogrammétrique des berges de la vallée de la Bundi si le LiDAR disponible est insuffisant.

Il pourra s'agir de levés par GPS RTK ou par tachéomètre sur les berges, d'acquisition de profils en travers sur les affluents ou bras secondaires, ou de déploiement d'un LiDAR topobathymétrique aéroporté si certaines zones peu profondes ne peuvent être sondées efficacement par bateau. Cette composante permettra d'intégrer les hauts-fonds émergés, les rochers affleurants, et de densifier la représentation des berges, assurant la continuité altimétrique avec la bathymétrie. Le Consultant veillera à ce que tous les levés complémentaires soient dûment raccordés aux repères géodésiques établis (mêmes référentiels horizontal et vertical).

Tous ces points viendront enrichir le modèle numérique final.

- Levés topographiques terrestres : relevés GNSS RTK/PPK et nivellement de précision sur les berges, les zones d'atterrissage, les voies d'accès et les plateaux environnants. Les levés topographiques compléteront les données LiDAR pour intégrer les parties émergées aux modèles bathymétriques. Les profils de berges permettront d'évaluer les risques d'érosion.
- LiDAR topobathymétrique : acquisition d'un nuage de points aérien à haute densité ( $< 4$  points/m<sup>2</sup>) couvrant l'intégralité de la vallée de Bundi, les îles (Sikila) et les berges du fleuve Congo afin d'obtenir des courbes de niveau à 25 cm. Les capteurs topobathymétriques permettront d'obtenir la bathymétrie des eaux peu profondes et des affleurements.
- Réseau de repères géodésiques : implantation et mesure d'un réseau primaire (5 points) et secondaire (10 points) de repères en béton, reliés au système de coordonnées du Projet (WGS84 / UTM 33S). Ces repères serviront au géoréférencement des levés et au recalage des stations hydrométriques.

En outre, le Consultant pourrait être amené à réaliser des levés bathymétriques additionnels hors étiage sur certaines zones spécifiques, si les conditions d'étiage n'ont pas permis de tout couvrir (par exemple, revenir en petite crue pour mesurer une zone inaccessible en étiage du fait d'un niveau d'eau trop bas, comme un chenal secondaire isolé). Ces éventuelles actions complémentaires seront planifiées en coordination avec la Tâche 3 (jaugeages hydrologiques multi-saisons).

Il convient de noter que si les données LiDAR de 2012 sont jugées suffisamment précises et récentes pour certaines zones, le Consultant pourra les réutiliser pour éviter des duplications inutiles, sous réserve de validation de leur qualité.

Livrables (T2) : données bathymétriques brutes et traitées (fichiers de sondages, nuage de points XYZ, grilles raster bathymétriques, cartes bathymétriques provisoires au 1:xx), accompagnées d'un Rapport de levé hydrographique. Ce rapport détaillera le dispositif de mesure, les procédures suivies (calibration, recueil, QA/QC), les résultats de contrôle qualité obtenus (précision atteinte, incertitudes), et inclura une première analyse descriptive de la bathymétrie (cartes, coupes transversales illustratives). Les données seront fournies dans des formats standards (par exemple XYZ, ASCII, GeoTIFF, ou format propriétaire du sondeur + exports) convenus avec le Client, avec métadonnées complètes.

### **3.4. Tâche 3 : Levés hydrologiques et jaugeages de débits**

Cette tâche vise à établir un diagnostic hydrologique complet du site, à travers l'installation d'un réseau de mesures en continu et la réalisation de campagnes de jaugeage pour caractériser le régime du fleuve. En parallèle du levé bathymétrique (ou de manière échelonnée sur l'année), le Consultant réalisera des campagnes hydrométriques destinées à caractériser les régimes d'écoulement du fleuve Congo à Inga sur plusieurs saisons contrastées.

L'objectif sera de mesurer les débits du fleuve dans différentes conditions hydrologiques (basses eaux, moyennes eaux, hautes eaux) et d'établir/affiner les courbes de tarage liant la hauteur d'eau au débit, afin de couvrir l'ensemble du cycle hydrologique annuel et d'appuyer le dimensionnement des ouvrages (calage de la cote de retenue, évacuation des crues, etc.).

#### **3.4.1. Tâche 3.a – Installation de stations hydrométriques permanentes**

Dès le démarrage de la mission (idéalement avant la campagne bathymétrique principale), le Consultant installera et/ou remettra en état les stations hydrométriques de mesure hydrologique sur le site pour assurer un suivi continu du niveau d'eau du fleuve pendant la durée de l'étude – et au-delà. Deux sites stratégiques ont été identifiés pour ces stations : (i) en amont, dans la zone de Kianda (rive gauche, là où le canal de dérivation est prévu pour capter une partie du débit) ; (ii) en aval, dans la vallée de la Bundi (zone de restitution des eaux turbinées).

Conformément aux objectifs, il procédera à l'installation de deux nouvelles stations hydrométriques permanentes aux emplacements stratégiques identifiés (par exemple une échelle limnimétrique instrumentée à Kianda en amont du site et une à Bundi en aval). Ces stations seront équipées de capteurs de niveau d'eau enregistreurs (enregistreurs automatiques de niveau type pression ou radar) avec transmission des données à distance (téléométrie GSM/satellite) afin de permettre un suivi en quasi temps réel,

Chaque station comprendra : (i) une échelle limnimétrique graduée ancrée de manière pérenne sur un support solide (rocher en berge, pile, enrochement, etc.), de manière à mesurer visuellement la hauteur d'eau, (ii) un capteur enregistreur de niveau (par exemple un capteur de pression submersible ou un radar de niveau) relié à un enregistreur de données (datalogger) avec un système de transmission à distance (téléométrie GSM/GPRS

ou satellite), (iii) un support solaire et des batteries, et (iv) un système d'acquisition et de transmission. Les stations seront nivelées avec précision et référencées au datum vertical unique de la mission. Le Consultant mettra en service la télétransmission des données, collectera les niveaux à un pas horaire et les transmettra au centre de contrôle.

Parallèlement, le Consultant réhabilitera et modernisera les quatorze (14) stations hydrométriques existantes le long du tronçon Inga–Matadi (remplacement des échelles usées, mise à niveau des capteurs et de la télémétrie, recalage altimétrique). Le Consultant devra confirmer la liste des stations existantes en concertation avec la RVF, vérifiera leur accessibilité et proposera les sites les plus pertinents ou des ajustements éventuels de ces localisations en fonction des objectifs hydrologiques et des contraintes logistiques après reconnaissance sur site. Chaque station sera équipée d'un repère géodésique et d'une échelle limnimétrique calibrée selon le référentiel altimétrique unique. Ces stations serviront de référence pour l'étude et pour la gestion future de la ressource en eau. Cette réhabilitation inclura la vérification/réfection des échelles limnimétriques existantes, le remplacement ou l'installation de capteurs enregistreurs sur ces stations si nécessaire, et la remise en service des systèmes de transmission. L'objectif est de disposer d'un réseau opérationnel de stations hydrologiques couvrant la zone du projet et l'aval immédiat, fournissant des données de hauteur d'eau en continu tout au long de l'étude. Le Consultant formera les agents locaux (par exemple personnel de la RVF) à l'entretien de base et à la relève des données sur ces stations pour assurer la pérennité du suivi.

Le Consultant réalisera des campagnes de jaugeage multi-saisons : au moins trois campagnes de mesure de débit seront effectuées (étiage, hautes eaux et saison intermédiaire). L'équipe déploiera des ADCP depuis des embarcations pour mesurer les profils de vitesse et calculer le débit total à diverses sections de référence (axes du futur barrage et stations hydrométriques). Chaque jaugeage sera corrélé aux niveaux enregistrés aux stations afin d'établir la courbe de tarage hauteur-débit. Les incertitudes seront quantifiées conformément aux guides ISO 5725.

Le Consultant assurera le suivi hydrométéorologique : il collectera des données climatiques (pluie, température, évaporation) auprès du Service météorologique national et, si nécessaire, installera des pluviomètres automatiques dans le bassin versant de la Bundi. Ainsi, les niveaux d'eau seront enregistrés en continu et pourront être consultés à distance en temps quasi-réel.

Le Consultant définira les spécifications précises des équipements (plage de mesure, précision, robustesse, protection anti vandale, alimentation solaire, etc.), procédera à leur installation sur site (travaux de génie civil léger pour ancrer l'échelle, fixation du capteur, coffret de protection), puis effectuera la calibration initiale par nivellement afin de connaître l'altitude exacte du zéro de l'échelle dans le référentiel altimétrique du projet. Il documentera précisément les coordonnées (latitude/longitude) de chaque station et l'altitude de référence (cote du zéro).

Ces stations fourniront une donnée de niveau d'eau en continu qui servira à référencer les profondeurs mesurées (correction de marnage pendant les levés bathymétriques) et à suivre

les fluctuations du fleuve tout au long de l'étude. Les données de niveau enregistrées pourront par exemple indiquer la montée progressive de la crue, ou servir à vérifier la stabilité des conditions pendant un jaugeage. Les stations hydrométriques ainsi créées constitueront en outre un héritage durable pour le Client en vue d'un suivi hydrologique à long terme du site. Le Consultant formera le personnel local à l'entretien de ces stations (cf. Tâche 6) et à l'interprétation des données recueillies.

### **3.4.2. Tâche 3.b – Campagnes de jaugeage de débit**

Le Consultant planifiera et réalisera plusieurs campagnes de mesure des débits du fleuve à Inga, étalées sur environ une année, aux différentes périodes hydrologiques de l'année. Au minimum, trois campagnes de jaugeage sont prévues de manière à couvrir les principaux régimes hydrologiques : (i) une campagne en période d'étiage (basses eaux) – idéalement concomitante à la campagne bathymétrique principale, (ii) une en période intermédiaire de moyennes eaux, et (iii) une en période de crue maximale (hautes eaux).

Chaque campagne comportera des mesures de débit au moyen d'un ADCP (acoustic doppler current profiler - courantomètre acoustique Doppler) adapté aux grands débits (capteur type rivière à bateau, fréquence et portée appropriées) pour mesurer les profils de vitesse et calculer le débit total du fleuve suivant les protocoles de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) ou équivalents. Les mesures seront effectuées sur des sections représentatives à proximité du site d'Inga -- typiquement par des traversées complètes du fleuve sur une section de référence (idéalement au droit du futur barrage) ainsi qu'à d'autres points stratégiques si nécessaire. Par exemple, des jaugeages en amont et en aval immédiat du site pourraient être réalisés pour boucler un bilan hydrologique local. Une section appropriée sera choisie, de préférence à l'emplacement du futur barrage ou sur un tronçon relativement rectiligne et représentatif, où le flux est bien contraint. L'équipe multipliera les va-et-vient (une série de 4 à 6 traversées au minimum) afin d'estimer le débit moyen instantané avec son incertitude.

Parallèlement, le niveau d'eau sera relevé sur les échelles limnimétriques pendant chaque jaugeage (lecture manuelle au moment des mesures et enregistrement continu via les capteurs) afin d'associer à chaque débit mesuré une hauteur d'eau précise. Ceci permettra d'établir ou mettre à jour la courbe de tarage (relation hauteur-débit) du site d'Inga.

Le Consultant s'attachera à utiliser un protocole reproductible d'une campagne à l'autre : idéalement, il mesurera le débit sur les mêmes sections ou à défaut des sections comparables, afin de pouvoir suivre l'évolution du débit au fil des saisons. Les conditions de mesure (heure, météo, niveau du fleuve) seront également notées précisément pour comparaison. Chaque campagne mobilisera une équipe et des moyens adaptés : embarcation motorisée (pouvant être le même bateau hydrographique que pour la bathymétrie, ou une embarcation plus légère si le courant le permet), équipage formé, sondeur ADCP avec GPS différentiel pour géoréférencement des mesures, etc. Des mesures complémentaires pourront être faites selon les besoins, par exemple des relevés de vitesses de surface au flotteur, ou des jaugeages manuels sur de plus petits bras si nécessaire.

Le Consultant analysera les données de jaugeage obtenues pour en déduire les courbes de tarage (relations hauteur-débit) aux stations hydrométriques clés. Ces courbes de tarage seront établies ou recalées pour les stations de Kianda et Bundi, afin de convertir les niveaux enregistrés en débits estimés en continu. En outre, le Consultant exploitera les données historiques disponibles (chroniques existantes de débits d'Inga, etc.) et appliquera des méthodes d'analyse statistique (lois d'extrêmes, courbes de fréquence) pour estimer les débits caractéristiques du fleuve (crue décennale, centennale, millénale, etc., module, étiage sévère) utiles à la conception du barrage. Les résultats hydrologiques viendront alimenter les modèles et dimensionnements hydrauliques du projet.

### **3.4.3. Tâche 3.c – Analyse des données hydrologiques et courbes de tarage**

Après chaque campagne hydrologique, le Consultant traitera les données recueillies. Les profils de vitesses ADCP seront vérifiés et filtrés : correction d'angle si l'embarcation a dérivé, extrapolation des vitesses près de la surface et du fond si la profondeur utile du capteur n'a pas couvert toute la section, etc. Le débit total sera calculé pour chaque traversée, puis moyenné sur l'ensemble des traversées valides effectuées lors de la campagne, afin d'obtenir la meilleure estimation du débit du fleuve ce jour-là (avec écart-type ou intervalle de confiance).

Ensuite, en combinant ces résultats avec les hauteurs d'eau mesurées simultanément, le Consultant tracera la courbe hauteur-débit du site. Si une courbe de tarage existait déjà (issue des données historiques reçues), il la mettra à jour en y ajoutant les nouveaux points mesurés ; sinon, il ajustera une nouvelle courbe (par exemple en interpolant/extrapolant une loi en puissance ou autre, en veillant à la cohérence avec le débit zéro et le comportement asymptotique en crue). L'incertitude sur cette courbe sera également évaluée.

A mesure que les campagnes se succéderont, la courbe pourra être progressivement enrichie et affinée. Par ailleurs, le Consultant analysera la cohérence des débits mesurés par rapport aux données régionales : par exemple, comparer les valeurs obtenues à Inga avec celles observées à Kinshasa à la même période (en tenant compte des affluents intermédiaires comme la rivière Kwa ou la rivière Kasai), ou avec le débit à l'embouchure (Boma). Toute incohérence notable devra être investiguée (erreur de mesure, influence de stockages intermédiaires, etc.).

Livrables (T3) : rapports de jaugeage après chaque campagne hydrologique. Chaque rapport présentera les conditions de la mission (date, niveau du fleuve, conditions météorologiques), la méthodologie suivie, les données brutes (profils de vitesse, résultats ADCP) et les principaux résultats (débit calculé, sections, etc.), avec comparaison aux campagnes précédentes. Le rapport final comprendra en annexe la ou les courbes de tarage mises à jour et les séries de niveaux enregistrés aux stations hydrométriques durant la période d'étude. Les données brutes de jaugeage (fichiers ADCP, relevés de niveau) seront fournies en format numérique, ainsi que les séries temporelles de hauteur d'eau enregistrées par les stations (format tableur ou compatible avec les outils hydrologiques standards).

### **3.5. Tâche 4 : Traitement, analyse et intégration des données**

Cette tâche couvre le travail de post-traitement des données collectées, leur analyse et la construction du modèle unifié intégrant toutes les composantes (bathymétrie, topographie, hydrologie). Elle consistera à traiter l'ensemble des données collectées (bathymétriques, topographiques, hydrologiques) afin de produire des résultats exploitables et intégrés dans un référentiel commun. Elle inclura également des analyses complémentaires visant à extraire des informations utiles pour la conception du projet.

#### **3.5.1. Tâche 4.a – Traitement des données bathymétriques**

Le Consultant procédera au traitement et au nettoyage approfondis des données brutes issues de tous les levés bathymétriques réalisés en Tâche 2. Ce traitement inclura le nettoyage des nuages de points (filtrage des échos aberrants, élimination des points hors d'eau ou des interférences), la correction des artéfacts, le filtrage des bruits, l'application des corrections de marée ou de nivellement GNSS, et la fusion des nuages de points issus des différentes passes MBES, l'application des corrections de calibration (offsets du patch test, ajustement de la vitesse du son dans l'eau, corrections de marée/niveau d'eau à partir des enregistrements des stations hydrométriques), la fusion des données de différentes sources (MBES principal, USV, LiDAR bathy, sondages ponctuels) et la génération de modèles numériques de terrain sous format raster ou maillage.

Les données seront traitées à l'aide de logiciels hydrographiques spécialisés (par exemple Caris HIPS & SIPS, Hypack, etc.), de manière à obtenir un modèle numérique bathymétrique fiable de chaque zone couverte. Le Consultant veillera à optimiser la résolution des grilles produites en fonction de la densité des points mesurés et des besoins (par exemple un pas de grille de l'ordre de 1 m ou moins dans les zones critiques). Il produira également des représentations visuelles de la bathymétrie : cartes colorées avec courbes isobathes, profils en long et en travers illustrant la morphologie du fleuve, modèles 3D, etc.

Parallèlement, le Consultant traitera les données topographiques complémentaires (levés terrestres, LiDAR) pour générer un modèle numérique de terrain des parties émergées adjacentes. Il veillera à la continuité altimétrique aux interfaces terre/eau (extraction des lignes de rivage, ajustement des recouvrements). En outre, les enregistrements des stations hydrométriques seront régulièrement téléchargés et vérifiés, et les séries de niveaux d'eau obtenues seront converties en débits à l'aide des courbes de tarage établies (Tâche 3).

Avant intégration finale, un contrôle qualité global sera effectué : comparaison du MNT bathymétrique final avec des sources indépendantes si possible (exemple : altitudes des rochers affleurants relevées topographiquement, ou profils historiques s'ils existent), vérification de la continuité aux interfaces terre-eau, etc. Le résultat sera un MNT bathymétrique validé pour chaque zone. Le Consultant analysera la qualité et la cohérence de l'ensemble des données collectées, en documentant les incertitudes résiduelles et en s'assurant que la précision globale atteint les objectifs fixés (précision bathymétrique conformément aux normes OHI ordre 1a, etc.).

### 3.5.2. Tâche 4.b – Intégration terre-eau et construction du modèle numérique unifié

Une fois les données individuelles traitées, le Consultant intégrera ensuite l'ensemble des données bathymétriques, topographiques et hydrologiques dans un modèle numérique unifié du site d'Inga couvrant l'ensemble du périmètre d'étude (du moins, la zone d'implantation du projet Inga-3). Cette intégration consistera à assembler le modèle bathymétrique du fleuve avec le modèle topographique terrestre, pour produire un MNT continu terre-eau couvrant toute la zone d'étude. Elle nécessitera de s'assurer de la compatibilité des référentiels : toutes les données (bathymétrie, LiDAR, nivellements) seront converties dans un même système de coordonnées planimétrique (probablement WGS84 UTM 33S) et référencées en altitudes par rapport au même datum vertical (par exemple une cote zéro locale reliée au niveau de la mer ou une autre référence reconnue).

Le résultat sera un véritable jumeau numérique du site, combinant la topographie submergée et émergée, sur lequel pourront être superposées les différentes informations (par exemple, niveaux d'eau en différents scénarios, courants, etc.). Le Consultant utilisera des outils SIG et de modélisation 3D/BIM pour construire ce modèle intégré et pour générer les cartes et plans requis (cartes bathymétriques, coupes transversales et longitudinales, cartes de pentes, etc. – voir Livrables). Il assurera la cohérence géoréférentielle du modèle (tous les jeux de données alignés dans le référentiel WGS84/UTM 33S et datum vertical unique) et préparera le gisement de données structuré qui sera remis en fin de mission.

Cette tâche inclut également l'analyse croisée des données intégrées : identification de tout point haut ou obstacle potentiellement problématique pour les ouvrages, analyse des profils d'écoulement, évaluation de l'évolution possible du lit (en se basant sur les observations sédimentaires qualitatives lors des levés, etc.), et formulation de recommandations techniques. Le Consultant veillera enfin à extraire de ce modèle unifié tous les éléments nécessaires à la conception du barrage et des aménagements (échelles de crues, profondeurs maximales, etc.), en collaboration avec l'équipe de maîtrise d'œuvre du projet Inga-3 si applicable.

Le Consultant vérifiera l'absence de décalage ou discontinuité aux zones de recouvrement entre la bathymétrie et la topographie. Si des écarts sont détectés (par exemple le LiDAR donne une altitude de berge légèrement différente de celle déduite du MBES au même endroit), des ajustements ou étalonnages pourront être réalisés (par exemple ajuster légèrement le MNT LiDAR localement, en justifiant toute correction). Le produit final sera un Modèle Numérique de Terrain (MNT) continu terre + eau de la zone d'Inga, comprenant le lit du fleuve, les berges, la vallée de la Bundi, etc.

Ce modèle sera livré sous la forme d'une grille numérique (par exemple GeoTIFF ou ASC grid) et pourra servir de base à un modèle 3D, représentation tridimensionnelle complète du site combinant ce MNT continu et d'autres éléments (couche d'eau, structures existantes, etc.), exportable dans un format standard de maquette numérique (respectant les standards de l'OGC pour l'interopérabilité).

### **3.5.3. Tâche 4.d – Vérification et validation croisée**

Avant de finaliser les livrables, le Consultant procédera à une validation croisée de l'ensemble des résultats. Il comparera notamment les données nouvelles aux données anciennes pour s'assurer de leur cohérence temporelle (par exemple comparer la courbe de tarage obtenue aux jaugeages historiques connus ; comparer la bathymétrie MBES 2016 aux profils Bathys 2015 sur les secteurs communs, pour vérifier l'absence de changement morphologique significatif ou de biais).

Il vérifiera la cohérence entre toutes les composantes : le volume de débit mesuré devra correspondre à la section bathymétrique relevée (sinon, revoir les estimations de rugosité, etc.), les surfaces inondées calculées devront correspondre aux observations terrains, etc. Le Consultant préparera également des supports de présentation clairs (cartes de synthèse, graphiques) pour faciliter la communication des résultats lors des réunions de pilotage.

Livrables (T4) : base de données intégrée contenant l'ensemble des données traitées : MNT continu (formats raster et vectoriel : courbes de niveau), modèles 3D, couches SIG (par exemple shapefile/GeoPackage) des entités particulières (rochers affleurants, chenaux, etc.), séries hydrologiques reconstituées, etc. accompagnée d'un rapport d'intégration et d'analyses documentant la construction du modèle numérique, les vérifications effectuées et les résultats des analyses thématiques (avec cartes et figures à l'appui).

### **3.6. Tâche 5 : Synthèse des résultats, rapports et recommandations**

Une fois les travaux de terrain achevés et les données traitées, le Consultant élaborera la synthèse générale des résultats de l'étude et formulera ses recommandations pour le projet Inga-3. Cette tâche correspondra à la production des rapports finaux et à la présentation des conclusions aux parties prenantes.

#### **3.6.1. Tâche 5.a – Rédaction du Rapport Final**

Le Consultant synthétisera l'ensemble des résultats de l'étude dans un Rapport Final consolidé en français (avec un résumé exécutif en anglais) présentant de manière structurée tous les résultats de l'étude hydrométrique et bathymétrique. Ce rapport constituera le document principal de référence, compilant toutes les informations recueillies et les analyses effectuées.

Il comprendra notamment : une introduction rappelant le contexte et les objectifs, une description de la méthodologie mise en œuvre (avec rappel des moyens techniques déployés et du déroulement des campagnes de terrain), la description des conditions de réalisation (périodes des levés, contraintes rencontrées, etc.), les résultats détaillés par thème -- des chapitres dédiés aux levés bathymétriques (présentés sous forme de cartes, coupes du fleuve sur les zones étudiées et de profils commentés), aux résultats hydrologiques (analyses statistiques, graphiques des hydrogrammes, analyse des régimes de débit, courbes de tarage établies, caractéristiques statistiques des crues/étiages), à l'intégration géospatiale des données sous forme de modèle numérique unifié, et une discussion sur les analyses spécifiques (exemple hydraulique, sédimentaire) effectuées et

les implications pour le projet (contraintes identifiées, marges de sécurité recommandées, etc.).

Le rapport mettra en lumière les implications pour la conception du projet : par exemple, il explicitera comment les nouvelles données influenceront sur les choix d'implantation ou de dimensionnement (exemple : « la profondeur maximale relevée sur l'axe du barrage est de 32 m, ce qui implique que... », ou « les débits de crue actualisés pourraient atteindre 70 000 m<sup>3</sup>/s, d'où la nécessité de prévoir une capacité d'évacuation suffisante »). Il formulera des recommandations concrètes, comme des préconisations d'ouvrages (éventuels endiguements complémentaires si des zones basses sont repérées, protections contre l'érosion aux points identifiés, etc.), ou des besoins d'études additionnelles si certaines questions restent ouvertes (par exemple études hydrologiques complémentaires sur le bassin versant, modélisation fine 3D de l'écoulement dans la prise d'eau, etc.).

Le rapport intégrera également des recommandations pour la suite du projet, par exemple en matière de surveillance hydrologique à long terme (plan de suivi des stations, etc.), de maintenance bathymétrique (plan de ré-survey, dragages éventuels) ou d'études complémentaires. Enfin, le Consultant élaborera, en annexe du rapport, un plan de transfert de connaissances (formation du personnel local, dissémination des données ouvertes) et un Plan de Maintenance Décennal du réseau hydrométrique installé (calendrier et ressources pour entretenir les stations sur 10 ans) (voir section dédiée ci-dessous), garantissant la pérennité des installations mises en place et des acquis de l'étude.

Toutes les normes et références utilisées (normes IHO, standards OGC, normes E&S, etc.) seront mentionnées de manière appropriée dans le rapport, notamment en annexe technique. Le rapport comprendra enfin en annexes les éléments techniques détaillés et les données brutes. Avant soumission finale, le Rapport Final sera d'abord délivré en version provisoire (draft) pour examen par le Client et l'IDA. Une réunion de restitution sera organisée (voir Tâche 5.b) pour présenter les résultats provisoires et recueillir les observations, puis le Consultant produira la version définitive intégrant les commentaires reçus. Le Rapport Final définitif sera fourni en plusieurs exemplaires (voir Livrables) et validé officiellement par le Client.

### **3.6.2. Tâche 5.b – Restitution et communication**

Le Consultant préparera et animera des sessions de restitution des résultats de l'étude. Il préparera les supports de restitution (présentations, cartes grand format, etc.) et participera aux réunions de présentation des résultats avec le Client et les parties prenantes (ministères, bailleurs, etc.). Au moins une présentation des résultats finaux sera faite à Kinshasa devant le Client et les bailleurs si nécessaire.

Une présentation intermédiaire pourra être tenue après les principales campagnes de terrain (par exemple après les campagnes bathymétriques) pour partager les premiers constats. Surtout, à l'issue de la rédaction du rapport provisoire (T0+9 mois environ), le Consultant organisera un atelier de restitution provisoire regroupant le Client, la RVF (Régie des Voies Fluviales), la Banque Mondiale (IDA) et les parties prenantes concernées. Il y

présentera les résultats obtenus, les conclusions et recommandations, et engagera la discussion avec les participants.

Le Consultant prendra note des commentaires et des questions soulevées lors de cet atelier. Enfin, une réunion/atelier de restitution final sera organisée après intégration de tous les commentaires, afin de valider collectivement les résultats finaux de l'étude. Le Consultant préparera des supports de présentation de qualité (diaporama PowerPoint, posters cartographiques, etc.) pour ces différentes réunions. Il veillera à ce que tous les documents de communication et livrables soient rédigés en français clair (avec résumés exécutifs en anglais le cas échéant), afin de faciliter leur appropriation par l'ensemble des parties.

Le Consultant devra être en mesure d'expliquer ses méthodes et conclusions de façon pédagogique, et de répondre aux questions techniques posées. Il fournira au Client l'ensemble des cartes et figures en haute résolution, pour usage dans les documents du projet. Un atlas cartographique complet du site sera également produit (voir livrables), recueil de plans et cartes thématiques en grand format (A3/A0) couvrant les résultats majeurs (planche bathymétrique du fleuve, planche topographique intégrée, profils en long, etc.), destiné à un usage opérationnel par les ingénieurs. Le Consultant appuiera le Client pour la diffusion contrôlée des données sensibles (voir section Gestion des données sensibles).

Livrables (T5) : Rapport Final complet (version provisoire pour revue, puis version finale intégrant les commentaires du Client et de la Banque mondiale) – incluant le Plan de Maintenance, l'atlas cartographique et toutes les annexes techniques. Ce rapport devra être remis en version numérique (formats modifiables et PDF) ainsi qu'en version imprimée en 10 exemplaires papier reliés.

Enfin, le Consultant remettra toutes les données numériques finales (voir livrables T4) sur supports appropriés (disque dur externe, clé USB) avec une structure organisée et des métadonnées pour faciliter leur réutilisation.

#### **4. Méthodologie attendue**

Le Consultant est invité à proposer dans son offre une méthodologie optimisée pour réaliser l'étude, en s'appuyant sur les meilleures pratiques internationales en hydrographie, hydrologie et ingénierie fluviale. Cette méthodologie devra démontrer une compréhension fine des défis spécifiques du site d'Inga – notamment les débits exceptionnellement élevés du fleuve Congo, la présence de rapides et remous, l'accessibilité difficile de certaines zones, et l'importance de garantir la sécurité des équipes sur le terrain. Le candidat soumissionnaire décrira en détail les moyens techniques envisagés, l'organisation des campagnes (calendrier tenant compte de la saison sèche pour la bathymétrie, etc.), et les dispositions pour assurer la qualité des données (calibration des instruments, contrôles croisés, etc.).

Le Consultant est tenu d'adopter une méthodologie conforme aux meilleurs standards internationaux pour ce type d'étude. Cela inclut le respect des normes techniques, une

rigueur scientifique dans l'acquisition et le traitement des données, et la mise en place d'un système d'assurance qualité robuste.

#### **4.1. Couverture et densité des mesures**

Une couverture totale du fond sera visée sur les zones essentielles (chenal principal, prise d'eau, confluence Bundi). Le plan de sondage devra garantir qu'aucune portion significative du lit n'échappe à la détection. Pour cela, des lignes de sondage parallèles rapprochées avec recouvrement de 20–30% sont requises, ainsi que des passes supplémentaires (perpendiculaires par exemple) sur des zones complexes pour éviter les angles morts. Chaque entité remarquable (rocher saillant, trou profond) devra être sondée plusieurs fois pour fiabiliser sa détection. Les zones non accessibles au MBES (berges rocheuses abruptes, très faible profondeur) feront l'objet de relevés alternatifs (LiDAR, ou sondages ponctuels à l'échosondeur monofaisceau ou à la perche). L'objectif final sera d'obtenir un MNT continu sans lacune sur l'ensemble du domaine.

#### **4.2. Précision et étalonnage**

Le Consultant devra mettre en place des procédures d'étalonnage rigoureuses de tous les instruments de mesure. Avant les levés, un calibrage du sondeur multifaisceaux sera effectué (patch test pour corriger les alignements d'angle, mesure de la vitesse du son en colonne d'eau avec des sondes de célérité, etc.). Les récepteurs GNSS seront paramétrés en mode différentiel (RTK temps réel ou PPK en post-traitement) pour atteindre une précision centimétrique planimétrique et altimétrique.

Un nivellement précis reliera le zéro des échelles limnimétriques au datum altimétrique de référence afin de corriger les mesures bathymétriques du niveau instantané. Les ADCP utilisés pour les jaugeages seront vérifiés (test en eau calme pour la calibration du compas, etc.). Pendant les opérations, des vérifications régulières seront effectuées : double passage sur un même profil pour contrôler la répétabilité, mouillage d'une mire de jauge pour vérifier les lectures du capteur de niveau, etc. Toute dérive détectée devra entraîner un recalibrage immédiat ou des corrections a posteriori lors du traitement des données.

#### **4.3. Assurance Qualité / Contrôle Qualité (QA/QC)**

Le Consultant élaborera un plan de gestion de la qualité décrivant les procédures de QA/QC qu'il appliquera. Ce plan (fourni dans le rapport de démarrage) couvrira notamment : l'organisation des revues de conception (validation des protocoles par un expert sénior avant déploiement), les check-lists de contrôle quotidien pendant les levés (vérification du bon fonctionnement des GPS, calibration du sondeur, sauvegarde des données sur au moins deux supports, etc.), le traitement statistique des données (filtrage, détection des intrus ou valeurs aberrantes), et le contrôle final (comparaison indépendante, validation croisée comme décrite en Tâche 4.d).

Le Client se réserve le droit d'inspecter sur site les procédures de QA/QC du Consultant et d'exiger des levés complémentaires si nécessaire en cas de doute sur la qualité d'une zone couverte. Une attention particulière sera portée au respect des exigences de précision : en cas de non-respect avéré des normes de précision sur une zone critique, le Consultant devra

procéder à ses frais à des levés supplémentaires ou toute action corrective pour atteindre le niveau requis (voir clauses contractuelles).

#### **4.4. Hydrologie spécifique du fleuve Congo à Inga**

Le fleuve Congo au niveau d’Inga présente des caractéristiques hydrologiques extrêmes et uniques au monde. Au niveau des chutes d’Inga (Inga Falls) – un ensemble de rapides et cascades formant le site d’Inga – le fleuve chute d’environ 96 m de dénivelé sur environ 15 km de parcours. Le débit moyen annuel du fleuve y est monumental, de l’ordre de 42 000 m<sup>3</sup>/s, faisant du fleuve Congo le 2<sup>e</sup> fleuve au monde en termes de volume (après l’Amazone).

La concentration d’une telle dénivellation sur une si courte distance crée l’un des torrents les plus puissants existants. Les courants y sont extrêmement violents : des études hydrodynamiques menées sur le cour inférieur du fleuve Congo ont montré que la vitesse moyenne sur la section pouvait dépasser 4 m/s par endroits. Localement, dans les resserrements, des vitesses encore plus élevées (supérieures à 6–7 m/s en crue dans certains chenaux étroits) sont probables, faisant d’Inga l’un des sites à plus fort courant au monde.

Ces vitesses s’accompagnent de conditions hautement turbulentes : des tourbillons et mouvements secondaires intenses se forment sur toute la profondeur de la colonne d’eau (qui atteint parfois plus de 100 m par endroits dans les fosses les plus profondes). De violents cisaillements se produisent entre les zones de recirculation proches des berges et le jet central du courant très rapide. Cette turbulence extrême peut créer localement des poches d’eau quasi stagnantes isolées (des “reflux”) à proximité immédiate de veines d’eau très rapides, séparées par des zones de cisaillement intenses. De telles conditions rendent les mesures hydrauliques délicates – par exemple, les instruments acoustiques ADCP peuvent perdre le suivi par endroits là où les tourbillons sont trop forts.

En plus de ces courants hors normes, le lit du fleuve à Inga est parsemé de nombreux obstacles rocheux. Les chutes d’Inga sont un groupe de rapides où le fond est essentiellement constitué de dalles et blocs rocheux, formant des seuils qui canalisent l’écoulement en multiples bras et cascades. De gros rochers affleurent à la surface ou émergent en basses eaux, fragmentant le flot. Ces obstacles engendrent d’importants remous et vagues stationnaires, interdisant toute navigation traditionnelle dans la zone. Ils créent également des différences de hauteur locales (chutes d’eau secondaires) qui accentuent la variabilité spatiale du courant.

Le fleuve charrie par ailleurs une charge sédimentaire non négligeable. Le transport solide du fleuve Congo se compose de sédiments fins en suspension (argiles, limons) – qui donnent à l’eau sa couleur brune turbide – et de matériaux plus grossiers (sables, graviers) entraînés lors des hautes eaux. Toutefois, du fait de la vaste étendue du bassin versant et de la répartition équatoriale des pluies, la variabilité saisonnière de la charge sédimentaire est modérée : les concentrations de matières en suspension n’ont qu’un rapport d’environ 5 entre la crue et l’étéage. En d’autres termes, le fleuve reste relativement chargé en sédiments

toute l'année, avec une turbidité notable même en basse saison (bien que les crues y amènent davantage de particules fines et de débris). On note aussi la présence périodique de débris flottants (troncs d'arbres, jacinthes d'eau, végétation arrachée) particulièrement en période de crue, ce qui peut constituer un danger pour les équipements de mesure et devra être pris en compte lors des travaux (filets de protection éventuels pour les instruments, surveillance accrue).

Hydrologiquement, le fleuve Congo à Inga présente une relative régularité comparé à des bassins plus petits : grâce à l'énorme capacité de stockage naturel du bassin (zones marécageuses, grands lacs, etc.) et à l'étalement des pluies sur l'année (pluviométrie bimodale de part et d'autre de l'équateur), les variations saisonnières de débit sont atténuées. Le débit mensuel moyen oscille typiquement entre environ 30 000 m<sup>3</sup>/s (basses eaux vers juillet-août) et environ 50 000 m<sup>3</sup>/s (hautes eaux principales vers novembre-décembre), avec parfois une seconde crue moins marquée vers mai. Les crues extrêmes néanmoins peuvent atteindre ou dépasser 60 000 m<sup>3</sup>/s (crue décennale estimée autour de 65 000 m<sup>3</sup>/s, et crue centennale possiblement supérieure à 70 000 m<sup>3</sup>/s d'après certaines extrapolations).

A l'inverse, l'étiage extrême historique (par exemple lors de sécheresses exceptionnelles) pourrait descendre légèrement sous 25 000 m<sup>3</sup>/s, mais de tels niveaux sont rares. Cette amplitude relativement modérée (un facteur d'environ 2 à 2,5 entre l'étiage moyen et la crue moyenne) facilite la planification des travaux : on n'a pas de saison sèche absolue, le fleuve coule en permanence avec un débit énorme, mais on peut identifier une période plus favorable (basses eaux) où le niveau est un peu plus bas et stable. C'est pendant cette fenêtre que la plupart des mesures (notamment bathymétriques) seront effectuées, tandis que les campagnes en crue serviront à capturer les conditions hautes.

En résumé, le site d'Inga conjugue un débit colossal et un relief accidenté concentré, ce qui en fait un milieu extrême pour la mesure hydrologique et hydrographique. La présente étude devra s'adapter à ces conditions : équipements robustes, méthodologies spécifiques pour eaux rapides, et prise en compte de la turbulence et des sédiments dans l'interprétation des données. Ces conditions offrent en contrepartie un formidable potentiel hydroélectrique que le projet Inga-3 vise à exploiter, d'où l'importance de bien caractériser le comportement du fleuve à cet endroit.

#### **4.5. Saisonnalité et fenêtres d'acquisition des données**

La définition précise du calendrier des campagnes de mesure est cruciale pour tirer le meilleur parti des conditions naturelles du fleuve. Sur la base des caractéristiques hydrologiques évoquées ci-dessus, les fenêtres optimales suivantes ont été identifiées :

- Période d'étiage (juin à septembre) – prioritaire pour les levés bathymétriques. Durant cette période, le niveau du fleuve est le plus bas de l'année (souvent 2 à 3 m en dessous du niveau de crue) et les débits sont au minimum. Cela présente plusieurs avantages : davantage de relief de lit est exposé ou en faible profondeur (facilitant d'éventuels relevés complémentaires), les vitesses d'écoulement sont un peu réduites par rapport

aux crues (ce qui améliore la sécurité des opérations et la stabilité du bateau), et la météo est généralement plus clémente (saison sèche relative). La campagne bathymétrique principale sera donc planifiée en étiage. Il est suggéré, à titre indicatif, de la mener en juillet–août 2026 (si T0 ~ mi 2026), afin de bénéficier de conditions optimales et d’avoir installé préalablement les stations limnimétriques (Tâche 3.a).

- Période de crue principale (novembre à janvier) – essentielle pour au moins une campagne de jaugeage. C’est durant ces mois que le fleuve atteint ses plus hauts niveaux et débits. Effectuer un jaugeage en crue (par exemple en décembre) permettra de mesurer le fleuve dans des conditions proches du dimensionnement extrême du projet. On pourra ainsi vérifier/ajuster la courbe de tarage sur sa partie haute et observer des phénomènes de remous ou de débordement potentiels. Cette campagne en hautes eaux servira aussi à tester les installations en conditions sévères (stations limnimétriques submergées par de forts courants, etc.). Il faudra prévoir des bateaux et une équipe aguerrie pour intervenir en crue, potentiellement en profitant d’une accalmie météo (pas de tempête ni orage violents ce jour-là) pour minimiser les risques.
- Période de transition ou moyennes eaux (par exemple mars–avril ou octobre) – intéressante pour une campagne intermédiaire. Une troisième campagne hydrologique pourra être programmée lors d’une saison intermédiaire, lorsque le fleuve est à un niveau moyen. Par exemple, vers fin mars 2027, ce qui correspondrait à la fin de la petite saison des pluies dans le bassin sud (pouvant donner un épisode de crue secondaire). Cette campagne confirmera la courbe de tarage sur la zone médiane et permettra d’affiner la compréhension de la dynamique saisonnière (notamment si la crue principale a un ressaut).

#### **4.6. Options technologiques pour la bathymétrie à Inga**

Les conditions extrêmes du site d’Inga imposent de réfléchir soigneusement aux choix technologiques pour les levés bathymétriques. Cette section se propose de discuter les différentes options technologiques envisageables, afin de s’assurer que le Consultant proposera la combinaison la plus appropriée.

- Echo-sondeur multifaisceaux (MBES) monté sur bateau : c’est la méthode de référence pour cartographier le fond de grands cours d’eau. Un MBES fournit une couverture large (fauchée) et une haute résolution, en particulier les modèles récents à faisceaux multiples. Au niveau d’Inga, son usage sera incontournable sur les portions navigables du fleuve (chenal principal). Toutefois, la réussite dépendra de la capacité du bateau à se maintenir sur l’eau malgré les courants. Un bateau à moteur puissant, de type vedette fluviale ou petit remorqueur, pourrait convenir. L’ajout d’un système de positionnement dynamique (ancrage flottant, moteur d’étrave) pourra aider à stationner. Le MBES devra être choisi pour grande profondeur (certains gouffres ont plus de 100 m de profondeur) et pour haute fréquence (bonne résolution) ; il faudra donc un compromis, par exemple un MBES 200–300 kHz capable de 200 m de portée. Un risque technologique ici est la perte du signal dans les eaux très turbulentes ou turbides : la forte turbulence pourrait créer des bulles d’air dans l’eau perturbant les ondes acoustiques, la turbidité élevée

atténué également le signal. Le Consultant devra paramétrer soigneusement le sonar (puissance, gain) et éventuellement opérer à des moments opportuns (par exemple le matin quand l'eau est moins agitée en surface). Il pourrait aussi combiner les mesures MBES avec des sondages plus simples si besoin.

- Drones de surface USV : ces petits bateaux sans équipage, très stables, sont désormais couramment utilisés pour des levés bathymétriques en zones dangereuses. Au niveau d'Inga, un USV robuste (catamaran insubmersible) pourrait être utilisé pour explorer les zones de rapides ou de remous où envoyer un bateau habité serait trop risqué. L'USV pourra être équipé d'un sondeur monofaisceau de haute précision ou même d'un petit MBES léger. Il aura l'avantage de pouvoir encaisser un choc (s'il heurte un rocher par exemple) sans mettre de vie en danger. Son inconvénient est qu'en très fort courant, il pourra avoir du mal à remonter le flux ou à être contrôlé s'il n'est pas assez puissant. Le Consultant pourra donc l'utiliser plutôt en le laissant dériver sur certains tronçons puis en le récupérant en aval. Le Consultant devra prévoir une stratégie de récupération (filet, ou le faire naviguer vers une zone calme). Les USV sont une option hautement recommandée pour compléter le bateau principal.
- LiDAR bathymétrique aéroporté : cette technologie laser aéroportée permet de mesurer à la fois le terrain émergé et le fond sous une faible profondeur d'eau (quelques mètres) dans des eaux claires. A Inga, l'eau est très turbide (brune) et profonde, ce qui limite fortement la pénétration du laser. Un LiDAR bathy ne pourra sonder que les berges mouillées et peut-être les très faibles profondeurs de l'ordre de 2-3 m. Néanmoins, il pourrait être utile pour cartographier précisément la ligne de rive à la cote d'étiage, les rochers affleurants, et combler de petites zones de transition que le MBES n'atteint pas (eaux trop peu profondes pour le bateau). L'usage d'un LiDAR bathy (embarqué sur drone ULM ou hélicoptère) se justifiera si disponible facilement. Alternativement, un drone aérien classique avec photogrammétrie pourra capturer le relief des rochers et berges lors de l'étiage (quitte à ce que la partie sous l'eau immédiate soit modélisée par extrapolation). Le Consultant pourra proposer cette option en fonction de sa disponibilité de moyens aéroportés.
- Sondages monofaisceaux ou manuels : malgré l'équipement multifaisceaux, il pourra être nécessaire de réaliser localement des profils monofaisceaux (sondeur simple vertical) ou même des mesures manuelles (poids-sondé) dans des endroits très exigus ou peu profonds (exemple : petit bras secondaire où un bateau ne passe pas). Ce sont des solutions de dernier recours pour ne pas laisser de "trou" dans la donnée. Par exemple, le bras de Kianda s'il n'est pas navigable sur toute sa longueur pourrait être relevé partiellement au théodolite et à la perche depuis la rive. Ces mesures ont une précision moindre, mais mieux vaudra une approximation que rien. Le Consultant devra le cas échéant intégrer ces relevés isolés dans le MNT global.
- Techniques géophysiques : il est à noter que des méthodes géophysiques (sismique, sonar à balayage latéral, etc.) ne sont pas explicitement demandées dans cette mission, car l'objectif est centré sur la bathymétrie. Toutefois, si le Consultant identifie un intérêt

à imager la nature du fond (exemple : pour détecter l'épaisseur de sédiments, un rocher sous-jacent), il pourrait proposer en variante une courte campagne de sismique ou sonar latéral. Par exemple, un sonar latéral pourrait aider à repérer les gros blocs ou cavités sur le fond. Ceci n'est pas prioritaire mais le Consultant sera libre de suggérer des ajouts s'il les juge utiles et réalisables sans retarder la mission.

#### **4.7. Analyse comparative des options technologiques**

Au démarrage de l'étude, le Consultant conduira une analyse comparative des différentes options technologiques pour confirmer le dispositif optimal. Cette analyse tiendra compte des critères suivants :

- Sécurité : priorité absolue. Quelle option minimise l'exposition des personnes aux dangers ? (exemple : un USV élimine le risque humain dans les rapides). Quelles mesures pour sécuriser l'équipe sur le bateau principal ? (nombre de personnes limité, gilets, etc.).
- Couverture et précision : quelle combinaison permet de couvrir 100% des zones ? Par exemple, un MBES sur bateau couvrira le chenal principal, un USV couvrira les bordures dangereuses, un drone ou LiDAR couvrira les berges : ce trio pourra donner la couverture complète. La précision attendue étant élevée (Ordre 1a/exclusif), le Consultant évaluera pour chaque option s'il pourra l'atteindre (le LiDAR bathy aura du mal en profondeur au-delà de 5 m, donc pas utilisable pour les zones profondes critiques).
- Fiabilité technique : le Consultant évaluera les risques de panne ou d'échec de chaque option dans ce contexte. Par exemple, un USV peut se renverser ou se perdre dans les rapides – comment mitiger cela ? Un MBES pourra perdre le signal – pourra-t-on compenser par une autre approche ou des passes multiples ? Le Consultant prévoira des solutions de redondance pour les équipements critiques (deux GNSS, deux batteries, etc.).
- Coût et logistique : un hélicoptère LiDAR par exemple pourra être très coûteux à mobiliser en RDC. L'USV devra être acheminé sur place (par avion ou par route) ; s'il est petit, on pourra l'embarquer dans un pick-up. Le Consultant comparera la faisabilité logistique (douanes, transport) et le coût relatif. Si une option apporte peu de gain pour un grand surcoût, elle pourra être écartée.
- Expérience du Consultant : le Consultant mettra en avant son retour d'expérience. Par exemple, s'il a déjà réalisé des levés sur des fleuves comparables (Zambèze, Nil, etc.) il saura quelles difficultés pratiques ont été rencontrées et comment tel instrument a performé. Il pourra ainsi argumenter le choix avec des exemples concrets.

Le résultat attendu de cette analyse est un schéma technologique optimisé que le Consultant présentera dans son Plan de travail (Tâche 1). Ce schéma indiquera quels outils seront utilisés sur quelles zones et comment ils se complètent. Aucun "angle mort" ne doit subsister : si le Consultant décide de ne pas utiliser une option, il devra démontrer que les autres suffisent pour couvrir le besoin. Par exemple, s'il n'utilise pas de LiDAR, il devra

montrer comment il lèvera les berges exondées autrement, etc. Cette analyse fera l'objet d'un chapitre dans le rapport de démarrage et sera discutée avec le Client en début de mission pour accord.

#### 4.8. Levés bathymétriques et topobathymétriques (Tâches 2 et 3)

Les trois zones d'étude sont présentées dans le tableau 1 et illustrées sur la carte générale (figure 1) ci-dessus. Le Consultant mettra en œuvre des méthodes adaptées à chaque zone : échosondeur multifaisceaux (MBES) haute résolution, sonar latéral, véhicule de surface autonome (USV) pour les zones difficiles d'accès, profils monofaisceaux ou sondages manuels sur les marges et LiDAR topobathymétrique pour les zones émergées ou très peu profondes. Les données seront collectées avec un système de navigation inertielle/GNSS différentiel (RTK ou PPK) assurant une précision planimétrique et altimétrique centimétrique. Les hauteurs d'eau seront référencées à un datum vertical unique grâce aux lectures aux stations limnimétriques et aux repères géodésiques.

**Tableau 1 – Zones d'étude, limites indicatives et objectifs des levés**

(Coordonnées indicatives en WGS84 – UTM Zone 33S pour les limites de chaque zone)

Zone d'étude	Limites géographiques approximatives (WGS84 / UTM 33S)	Méthodes de levé préconisées	Objectifs principaux	Ordre IHO cible
Zone 1 : Prise d'eau de Kianda (rive gauche amont – départ du canal d'amenée projeté vers la vallée de la Bundi)	Point central (approx.) : 05°29'00" S ; 13°37'00" E (WGS84) Rectangle de levé : Coin nord-ouest : 05°28'30" S ; 13°36'30" E Coin nord-est : 05°28'30" S ; 13°37'30" E Coin sud-est : 05°29'30" S ; 13°37'30" E Coin sud-ouest : 05°29'30" S ; 13°36'30" E	Levés MBES haute résolution embarqué sur un bateau léger (si zone navigable) et/ou drone de surface (USV) pour accéder aux secteurs de faible tirant d'eau ou trop dangereux pour un équipage. bateau léger ou USV, complété par un levé LiDAR topobathymétrique aéroporté sur les zones de très faibles profondeurs si possible, et par des levés topographiques terrestres/dronautiques le long des	Cartographier finement. Cartographier finement le bras de Kianda, , la zone de dérivation du fleuve (entrée du canal) et l'emplacement envisagé de la prise d'eau. Identifier le profil du lit à l'endroit où sera prise l'eau (profondeur disponible, éventuels seuils rocheux ) et cartographier le bras de Kianda environnant pour déterminer l'emplacement optimal de la prise d'eau (assurer une profondeur	Ordre 1a (haute précision) sur l'ensemble de la zone. Ordre "Exclusif" visé localement sur le point précis de captage (zone d'implantation critique)

Zone d'étude	Limites géographiques approximatives ( WGS84 / UTM 33S)	Méthodes de levé préconisées	Objectifs principaux	Ordre IHO cible
		berges par GNSS RTK.	suffisante et l'absence d'obstacles sur le trajet du canal). Identifier d'éventuels hauts-fonds à draguer. Ces données sont cruciales pour le dimensionnement de l'ouvrage de prise d'eau et du canal d'amenée	
Zone 2: Barrage principal (traversée du fleuve sur environ 5 km vers l'île de Sikila – axe du futur barrage Inga-3)	<p>Point central (approx.) : 05°32'00" S ; 13°35'00" E (WGS84)</p> <p>Rectangle de levé :</p> <p>Coin nord-ouest : 05°31'30" S ; 13°34'30" E</p> <p>Coin nord-est : 05°31'30" S ; 13°35'30" E</p> <p>Coin sud-est : 05°31'30" S ; 13°35'30" E</p> <p>Coin sud-ouest : 05°32'30" S ; 13°34'30" E</p>	<p>Levé multifaisceaux (MBES) depuis un bateau hydrographique robuste avec ADCP (résistant aux forts courants) couvrant toute la largeur du chenal principal. USV en appui dans les zones trop dangereuses pour le bateau habité (rapides proches de Sikila). Si nécessaire, complément par drone LiDAR bathymétrique aérien pour les zones très peu profondes ou les rochers affleurants et les berges de l'île de Sikila ; profils monofaisceaux dans les biefs secondaires.</p>	<p>Cartographier avec grande précision et obtenir un modèle bathymétrique détaillé du lit du fleuve à l'emplacement prévu du barrage. Objectif : détecter toute irrégularité du fond (amas rocheux, failles, rochers affleurants, blocs, hauts-fonds) pouvant influencer l'implantation des fondations et la conception de la structure ; caractériser les profondeurs maximales et minimales ; orienter l'implantation et le dimensionnement des digues et ouvrages de dérivation. Obtenir un MNT bathymétrique détaillé sous l'emprise du futur barrage et de ses</p>	<p>Ordre 1a sur le chenal principal. Ordre "Exclusif" (précision maximale) visé localement sur l'axe exact du barrage et ses abords immédiats (zone critique</p>

Zone d'étude	Limites géographiques approximatives ( WGS84 / UTM 33S)	Méthodes de levé préconisées	Objectifs principaux	Ordre IHO cible
			appuis. Identifier les profondeurs maximales et la nature du substrat le long de l'axe du barrage pour dimensionner les fondations et les éventuels ouvrages de dérivation provisoires (casiers de batardeau, etc.).	
Zone 3 : Zone aval de Restitution (confluence de la rivière Bundi et du fleuve Congo – vallée de restitution des eaux turbinées)	<p>Point central (approx.) : 05°32'40" S ; 13°33'08" E (WGS84)</p> <p>Rectangle de levé : Coin nord-ouest : 05°32'10" S ; 13°32'40" E</p> <p>Coin nord-est : 05°32'10" S ; 13°33'40" E</p> <p>Coin sud-est : 05°33'10" S ; 13°33'40" E</p> <p>Coin sud-ouest : 05°33'10" S ; 13°32'40" E (de la confluence Bundi–fleuve Congo à la vallée en amont qui sera ennoyée) (embouchure de la Bundi dans le fleuve Congo)</p>	<p>Levés hybrides : MBES depuis bateau/USV sur les parties actuellement en eau (zone de confluence et lit actif de la Bundi) pour une couverture quasi-complète du fond. Levé LiDAR aéroporté et/ou relevés terrestres pour la topographie sur les zones terrestres de la vallée (berges, plateau) destinées à être submergées par la retenue. Quelques profils monofaisceaux supplémentaires ou sondages manuels près des berges pour couvrir d'éventuels chenaux très exigus accessibles difficilement autrement</p>	<p>Cartographier la topographie et la bathymétrie de la vallée de la Bundi où sera restituée l'eau turbinée, afin de caractériser le lit et les berges du fleuve à la confluence.</p> <p>Objectifs : déterminer les profondeurs et volumes disponibles pour la retenue, l'implantation du barrage de fermeture et l'impact hydraulique en aval, afin d'évaluer les modifications d'écoulement dans la Bundi (risque de débordements latéraux, érosion potentielle une fois la Bundi fortement alimentée), et fournir les données pour implanter le barrage de fermeture sur la</p>	<p>Ordre 1a pour la zone de confluence (précision élevée requise pour la modélisation des écoulements). Ordre 1b suffisant sur l'extension amont de la vallée (zones moins critiques à plus faible profondeur).</p>

Zone d'étude	Limites géographiques approximatives ( WGS84 / UTM 33S)	Méthodes de levé préconisées	Objectifs principaux	Ordre IHO cible
			Bundi. Identifier et localiser tout obstacle et hauts-fonds (affleurements rocheux, rapides) pouvant perturber la restitution. Ces informations aideront à calibrer la modélisation hydrodynamique post-projet et à concevoir les éventuelles protections de berge ou digues nécessaires en aval	

Les coordonnées et limites indiquées ci-dessus sont approximatives : le Consultant affinera ces délimitations et ces contours à partir des images satellites et en phase de reconnaissances préliminaires, en veillant à couvrir au-delà des emprises strictes des ouvrages projetés (par précaution) et à englober toutes les zones où des changements bathymétriques significatifs pourraient affecter le projet, et proposera un tableau détaillé des coordonnées GPS des limites des zones en annexe du rapport intermédiaire.

## 5. Plan de Maintenance Décennal du Réseau Hydrométrique

Afin de garantir la pérennité du réseau hydrométrique mis en place dans le cadre de la présente étude (stations de mesure, échelles limnimétriques, etc.), le Consultant élaborera un Plan de Maintenance destiné à garantir le fonctionnement durable des 16 stations hydrométriques (2 nouvelles et 14 existantes réhabilitées) sur au moins 10 ans. Ce plan de maintenance, qui fera partie intégrante des livrables finaux, a pour objectif de permettre au Client (et aux entités locales, par exemple la RVF ou le Service Hydrologique National) de poursuivre l'exploitation des installations hydrométriques sur le long terme, bien après la fin du contrat du Consultant.

Conformément aux recommandations du rapport initial, le Consultant devra renforcer le plan existant en y intégrant les éléments suivants :

- Définir les interventions périodiques et le contenu des interventions requises sur chaque station : le Consultant définira pour chaque station un programme d'entretien comprenant :

- Visites mensuelles : les techniciens liront et enregistreront manuellement le niveau d'eau sur l'échelle limnimétrique, compareront la lecture avec celle du capteur et repéreront toute divergence (par exemple visites mensuelles pour relevés visuels manuels de l'échelle et vérification du fonctionnement, fréquence des entretiens préventifs). Ils procéderont au débroussaillage et au nettoyage des abords (retrait des sédiments, des débris et des végétaux susceptibles d'obstruer les capteurs), vérifieront la fixation et l'intégrité de l'échelle, testeront la transmission des données (GSM/SMS/satellite) et remplaceront au besoin les fusibles ou cartes SIM.
- Entretiens préventifs trimestriels : les techniciens effectueront des opérations plus approfondies : nettoyage trimestriel des capteurs, retrait des débris, vérification des fixations, étalonnage et recalage des capteurs de niveau (pression ou radar), graissage et contrôle des treuils et câbles des stations câblées, vérification des panneaux solaires et de l'état des batteries, nettoyage de la prise d'eau des capteurs et remplacement des pièces usées.
- Pour chaque visite planifiée, le plan décrira les tâches précises : nettoyage des repères de l'échelle, purge éventuelle du capteur de pression, calibrage ponctuel en comparant la lecture du capteur avec l'échelle graduée, etc.
- Recalage altimétrique annuel : une fois par an, le Consultant ou un géomètre mandaté effectuera un nivellement de précision pour vérifier que le repère zéro de chaque échelle n'a pas bougé (en raison d'érosion ou de mouvements du terrain). Si une variation est détectée, il recalera l'échelle et mettra à jour la cote de référence. Le programme détaillera les tâches à effectuer à chaque visite et précisera les responsabilités entre le Consultant (pendant la période de garantie) et le Client (après transfert).
- Identifier les ressources nécessaires : le plan estimera les besoins en ressources humaines (profil des agents ou techniciens devant effectuer les maintenances, besoin éventuel de plongeurs ou d'accès bateau pour certains sites) et en ressources matérielles (équipement de rechange, outillage, véhicules). Par exemple, il précisera que le Client devra disposer de capteurs de niveau de rechange et de kits de maintenance (joints, dessiccateurs, piles, etc.) disponibles localement.
  - Ressources humaines et logistiques : au moins deux techniciens hydrométriques permanents, dotés d'un véhicule tout terrain et d'équipements de sécurité. Les techniciens devront être formés au fonctionnement des capteurs, à la calibration, au téléchargement des données et à la maintenance préventive.
  - Gestion des pièces de rechange et des consommables : constitution d'un stock de capteurs de niveau de secours, batteries, panneaux solaires, cartes SIM, joints et fusibles. Les durées de vie estimées (batteries : 3–5 ans, capteurs : 5–7 ans) seront utilisées pour planifier les remplacements préventifs. Il sera recommandé de prévoir une marge de 10 % d'équipements supplémentaires pour pallier les pertes ou dommages.
  - Assistance technique post-projet : le Consultant pourra proposer (en prestation séparée) d'assurer une assistance ponctuelle pendant les cinq premières années

suivant la fin de la mission (support à distance, missions de contrôle ponctuelles) afin d'accompagner les équipes locales dans la résolution des problèmes techniques majeurs. Les modalités (nombre de missions, réactivité, mécanismes de réquisition) seront précisées.

- Mode de gestion et financement : plusieurs options seront étudiées (gestion directe par la RVF, contrat de maintenance avec une société spécialisée, partenariat avec une université ou un centre de recherche). Le Consultant recommandera un modèle de gouvernance et élaborera un budget annuel estimatif couvrant les salaires, les frais de déplacement, l'entretien, les pièces de rechange et la formation continue. Le plan devra s'aligner sur l'Accord de financement et sur les directives de l'IDA en matière de durabilité.
- Renforcement des capacités et transfert de connaissances : un programme de formation sera mis en place pour au moins cinq techniciens locaux, issus de la RVF ou d'autres institutions locales désignées par le Client. Ce programme couvrira la gestion des stations, la maintenance des capteurs, la collecte et l'analyse des données, les notions de géodésie et d'hydrographie, et l'utilisation des logiciels SIG et de modélisation. Des certificats de formation seront délivrés.
- Définir le mode de gestion et de financement : le Consultant recommandera une structure pour assurer la gestion du réseau hydrométrique sur 10 ans. Cela pourrait être, par exemple, l'intégration au Service Hydrologique National existant, ou un partenariat SNEL–RVF pour l'entretien, etc. Le plan évoquera les coûts récurrents (communications GSM, étalonnages annuels, remplacement de pièces) et proposera des options de financement (ligne budgétaire dédiée du projet, soutien de bailleurs, etc.).
- Fournir un calendrier de maintenance : idéalement présenté sous forme de tableau ou diagramme, indiquant pour chaque station et chaque année les actions à entreprendre. Par exemple : Année 1 : visite mensuelle, plus une vérification semestrielle par un ingénieur ; Année 2 : idem + recalage altimétrique du zéro ; Année 5 : remplacement préventif du capteur de pression, etc. Ce calendrier sur 10 ans servira de feuille de route au gestionnaire du réseau.
- Inclure des fiches techniques et consignes : le plan contiendra en annexe des fiches pratiques par station (avec photos de l'installation, schéma de câblage, paramètres de configuration du datalogger, contacts pour le support technique du fabricant, etc.) ainsi que des manuels simplifiés d'entretien (check-list de ce qu'il faudra vérifier à chaque visite, procédures de dépannage en cas de panne de télémétrie, etc.).

L'objectif final est de doter le Client d'un guide opérationnel clair pour que les stations hydrométriques restent fonctionnelles et fournissent des données fiables pendant au moins une décennie, sans dépendance continue au Consultant. Ce plan de maintenance sera discuté avec le Client pour s'assurer qu'il est en phase avec les capacités locales (humaines et financières). Si nécessaire, le Consultant proposera une phase de transfert progressif : par exemple, il accompagnera le personnel local durant les premières maintenances post-projet (ce qui recoupe la Tâche 6 de renforcement des capacités).

Livrable (Maintenance) : le Plan de Maintenance Décennal du Réseau Hydrométrique, intégré en tant que section spécifique du Rapport Final (et mis en annexe pour les détails techniques). Ce plan devra être pratique, réaliste et adapté au contexte congolais, afin d'être effectivement mis en œuvre.

## **6. Jumeau Numérique du système hydrique d'Inga**

Dans le cadre de la transformation digitale des projets d'infrastructure, le développement d'un Jumeau Numérique du site d'Inga est prévu dans le périmètre de la mission. Le Jumeau Numérique est une réplique numérique évolutive du système hydrique du site d'Inga, intégrant l'ensemble des données géospatiales et hydrologiques collectées, et permettant de simuler, visualiser et suivre le comportement du fleuve et des ouvrages dans le temps. Cette section détaille les objectifs, les composants et les standards attendus pour ce jumeau numérique.

Il s'agit de disposer d'un outil digital interactif qui servira à la fois à la conception (phase études) et à l'exploitation (phase construction et fonctionnement du barrage). A court terme, le jumeau numérique permettra aux ingénieurs du projet de manipuler le modèle 3D du site, de tester différentes configurations (par exemple simuler le remplissage de la retenue, visualiser l'emprise des eaux pour telle cote, etc.), et d'accéder facilement aux données de base (mesures, cartes) en un seul environnement intégré. A plus long terme, ce jumeau pourra être mis à jour avec les informations as-built et les mesures en temps réel (données des capteurs, imagerie périodique) pour suivre l'évolution du site (sédimentation du réservoir, performance des évacuateurs lors des crues, etc.). L'objectif final est de faciliter la prise de décision en fournissant un tableau de bord numérique du système, fidèle à la réalité.

Le Consultant devra fournir au minimum :

- Une maquette 3D haute définition du site d'Inga et de ses abords immédiats, intégrant la topographie terrestre et la bathymétrie subaquatique (issu du modèle intégré de Tâche 4), ainsi que les principaux éléments d'infrastructure existants (centrales Inga-1 & Inga-2, routes d'accès, villages, etc., qui pourront être modélisés de manière simplifiée à partir de sources existantes ou d'imagerie satellite).
- Un modèle de données géospatiales structuré, contenant les couches SIG de référence (MNT, orthophoto éventuellement, plans des ouvrages projetés si disponibles, couche hydrographique, etc.) dans un format interopérable.
- Idéalement, un module de simulation hydrodynamique simplifié intégré : par exemple, un modèle 1D/2D paramétrable du fleuve sur le tronçon d'étude, permettant de simuler l'écoulement pour un débit donné et de visualiser les niveaux d'eau, vitesses, etc. Ce module pourrait être basé sur un outil open-source (HEC-RAS 2D ou autre) couplé à la maquette, pour donner une première approximation du comportement hydraulique.
- Une interface utilisateur (logiciel ou plateforme) pour visualiser et interagir avec le jumeau numérique. L'interface devra permettre de naviguer en 3D sur le site,

d'activer/désactiver des couches (par exemple afficher le maillage du fond, afficher les isovales de vitesse, etc.), et d'extraire des informations (par exemple un clic sur un point => donne la profondeur, la hauteur d'eau mesurée la plus proche, etc.).

L'intégration des données des capteurs en temps réel (ou en différé). Concrètement, les niveaux d'eau relevés par les stations limnimétriques installées devront pouvoir être injectés dans le jumeau numérique. Par exemple, via une connexion aux données transmises (API ou import de fichiers CSV automatiques). Ainsi, l'utilisateur du jumeau pourrait voir en direct le niveau du fleuve évoluer (une animation de la cote de l'eau dans la maquette 3D par exemple). Ce sera une composante plus expérimentale, mais hautement souhaitable pour ajouter la dimension temporelle au jumeau.

Une instance opérationnelle du jumeau numérique sera livrée au Client sur un support approprié. Cela inclura tous les fichiers de la maquette 3D, les bases de données associées, et éventuellement le logiciel de visualisation (viewer) ou un accès à une plateforme en ligne (si le Consultant en met une en place pendant la durée du projet). Le Consultant fournira un manuel d'utilisateur expliquant comment naviguer dans le jumeau numérique, comment mettre à jour les données (par exemple si plus tard on refait un levé, comment remplacer le MNT), et comment utiliser les fonctions de simulation si incluses. Une formation rapide pourra être faite auprès de l'équipe du Client pour prise en main de l'outil (ceci pourrait s'inclure dans la Tâche 7 de renforcement des capacités).

Le Jumeau Numérique constituera l'une des innovations majeures de l'étude, alignée avec les meilleures pratiques de gestion de projet modernes. En adoptant cet outil, le Client disposera d'une vision numérique globale du site d'Inga, lui permettant d'interagir avec les données de manière visuelle et dynamique. Cela facilitera la communication avec les décideurs (le jumeau pourra être utilisé pour illustrer les scénarios lors des réunions) et posera les bases d'un système de suivi en temps réel lors de la phase d'exploitation d'Inga-3.

## **7. Renforcement des capacités et transfert de compétences**

Le renforcement des capacités locales constitue un volet transversal essentiel de cette mission. Le Consultant devra non seulement fournir des données et rapports, mais également veiller à transférer son savoir-faire aux parties prenantes congolaises, afin que celles-ci puissent s'approprier les résultats et poursuivre les activités de suivi hydrologique de façon autonome à l'avenir.

### **7.1. Formation du personnel local**

Le Consultant élaborera un plan de formation dès le début du projet. Ce plan identifiera les domaines à couvrir (exemple: techniques de jaugeage ADCP, utilisation du sondeur multifaisceaux, traitement des données SIG, maintenance des stations hydrométriques, interprétation des résultats hydrologiques, utilisation du jumeau numérique, etc.), la population cible (ingénieurs et techniciens de l'ADPI-RDC, de la SNEL, de la RVF, du Service Hydrologique ou d'universités locales), et le format des formations (ateliers théoriques en

salle, formation pratique sur le terrain, sessions de démonstration de logiciels, etc.). Le Client s'attend à ce que le Consultant propose au moins :

- Une formation pratique sur site lors de la première campagne de mesures : les techniciens congolais seront embarqués aux côtés de l'équipe du Consultant pour apprendre à installer les équipements, effectuer les mesures bathymétriques et hydrologiques, manipuler un ADCP, lire une échelle limnimétrique, etc. Cette formation in situ sera cruciale pour transmettre les bons gestes et les procédures de sécurité.
- Des sessions théoriques ou séminaires à Kinshasa (ou à Inga) pour expliquer les principes de base (hydrographie, hydrologie fluviale) et la méthodologie employée dans l'étude. Par exemple, un atelier d'une journée sur "les normes hydrographiques et le traitement des données bathymétriques" pourrait être organisé, ainsi qu'un atelier sur "l'établissement d'une courbe de tarage et l'analyse statistique des débits".
- Une formation dédiée au jumeau numérique une fois celui-ci développé : le Consultant démontrera son utilisation, permettra aux ingénieurs du Client de s'y exercer (zoom 3D, extraction d'un profil, mise à jour d'une couche, etc.), pour qu'ils soient autonomes dans sa manipulation après le départ du Consultant.
- Une formation à la maintenance des stations hydrométriques : lors de l'installation et après quelques mois de fonctionnement, le Consultant organisera une séance de formation spécifique sur l'entretien des échelles et capteurs (nettoyage, vérification de l'étalonnage, remplacement de pièces, diagnostic de pannes).

Des supports visuels (vidéos, manuels illustrés) pourront être remis pour faciliter l'apprentissage.

## **7.2. Implication des partenaires locaux**

Dans la mesure du possible, le Consultant impliquera du personnel local au sein de son équipe de travail. Par exemple, il recrutera un hydrométricien ou un ingénieur local en tant qu'adjoint, fera appel à des bateliers et aides-topographes de la région, etc. Cette immersion dans l'équipe du Consultant constituera une formation en soi par le transfert de compétences au quotidien.

Le Consultant devra également collaborer avec les institutions locales : il est recommandé de tenir informés et, si possible, d'associer aux travaux le Service Hydrologique ou la RVF , qui gèrent le réseau hydrologique national, afin de créer des synergies et de faciliter la reprise du réseau Inga après l'étude.

## **7.3. Matériels pédagogiques et documentation**

Le Consultant fournira au Client l'ensemble des documents de formation utilisés (présentations PowerPoint, notes techniques, tutoriels logiciels, etc.) de sorte que le Client puisse s'y référer ultérieurement ou reproduire ces formations. Il pourra aussi proposer des manuels ou guides existants (exemple : guide de l'OMM sur l'hydrométrie, documentation

fabricant des appareils en français) s'il juge utile de les diffuser aux participants. Tous les documents devront idéalement être en français clair.

## 8. Résultats Attendus et Livrables

Cette section récapitule l'ensemble des livrables que le Consultant devra fournir tout au long et à l'issue de la mission, avec leurs contenus et formats attendus. Tous les livrables écrits seront fournis en français (sauf mention contraire) et en versions numérique modifiable et PDF. Les données seront délivrées dans des formats ouverts standard (par exemple XYZ, ASCII, GeoTIFF, Shapefile, LandXML, etc.) conformément aux bonnes pratiques.

### Livrables intermédiaires

- Rapport de démarrage (T0 + environ 1,5 mois) – comprenant la revue des données existantes, le plan de travail détaillé, la méthodologie, le plan HSE, le plan de contrôle et d'assurance qualité (QA/QC) et le calendrier d'exécution. Ce rapport, produit à l'issue de la Tâche 1, sera soumis pour validation deux semaines après sa soumission, avant le démarrage effectif des travaux de terrain.
- Rapports de campagne – après chaque mission de terrain importante, le Consultant remettra un court compte-rendu intermédiaire. Par exemple : un rapport de mission bathymétrique après la campagne de levés (décrivant le déroulement de la campagne T2, les éventuelles difficultés rencontrées, et un aperçu des données brutes obtenues), ainsi que des rapports de jaugeage hydrologique après chaque campagne T3 détaillant les conditions de mesure et les premiers résultats de débit, avec les courbes de tarage provisoires (voir détails en Tâche 3). Ces rapports intermédiaires permettront au Client de suivre l'avancement de l'étude et d'avoir une première idée des résultats partiels.
- Données brutes – au fil et à mesure de l'étude, le Consultant mettra à disposition les données brutes collectées, immédiatement après chaque mission terrain (ou regroupées par étape). Cela inclura par exemple : les fichiers de levé MBES natifs, les enregistrements ADCP bruts, les relevés des stations hydrométriques (données de niveau), etc. Ces données brutes pourront être déposées sur un support ou serveur convenu avec le Client. Elles serviront de sauvegarde (backup) et pourront directement être exploitées par le Client en cas de besoin urgent avant la fin de l'étude.

### Livrables finaux (à fournir à l'issue de la mission, vers T0 + environ 9–10 mois)

- Rapport Final consolidé – document principal compilant tous les résultats définitifs de l'étude. (Le contenu détaillé est décrit à la Tâche 5.) Il inclura notamment : un résumé exécutif bilingue (FR/EN), une description de la méthodologie employée, les résultats des levés bathymétriques avec cartes intégrées, les résultats hydrologiques (analyses et graphiques de débits, courbes de tarage) et les modèles numériques produits, les analyses et recommandations finales, ainsi que le Plan de Maintenance Décennal et le plan de transfert de connaissances dans des sections annexes dédiées. Le rapport fera également référence aux normes utilisées (par exemple normes OHI, standards OMM,

directives de la Banque mondiale, etc.). Le Consultant devra soumettre ce rapport en version provisoire pour commentaires environ 4 semaines avant la fin de la mission, puis organiser un atelier de restitution provisoire avec le Client, la RVF, l'IDA et les parties prenantes pour présenter et discuter des résultats. Après incorporation des observations et validation par le Client/IDA, la version finale approuvée sera remise en 10 exemplaires papier et en version électronique (formats PDF et Word modifiable, après incorporation des observations et validation par le Client et l'IDA.).

- Atlas cartographique – recueil de planches cartographiques imprimées (et fourni également en numérique) présentant à grande échelle l'ensemble des résultats spatialisés. On y trouvera notamment des cartes bathymétriques détaillées du site (échelle de l'ordre de 1:2 500 à 1:10 000) avec courbes isobathes, profils longitudinaux et transversaux caractéristiques, des cartes thématiques de répartition des vitesses d'écoulement, des profondeurs et éventuellement de la granulométrie des sédiments si mesurée. Chaque planche comportera une légende complète, une échelle graphique, une flèche nord, les coordonnées géoréférencées en WGS84/UTM 33S, ainsi que le datum vertical utilisé. L'atlas sera fourni en haute résolution numérique (PDF) et en 10 exemplaires papier au format approprié (A0 ou A1 plié en A4).
- Jumeau numérique du site – tel que décrit dans la section dédiée ci-dessus, une version exploitable du jumeau numérique sera livrée. Concrètement, cela pourra prendre la forme d'un fichier d'une maquette numérique (ou d'un ensemble de fichiers liés) contenant la scène 3D du site, associée à un projet SIG/BIM. Si une plateforme interactive a été mise en place durant l'étude (par exemple un viewer web), le Consultant en fournira une copie et donnera les clés pour poursuivre son développement. Un manuel utilisateur et un manuel d'administration et gestion accompagneront ce livrable.
- Documentation technique annexe – incluant les annexes mentionnées ci-après (extraits de normes, tableau de conformité IHO, etc.), les fiches de maintenance des stations hydrométriques (issues du Plan de Maintenance), les manuels d'utilisation des équipements (fournis par les fabricants, utiles au Client), etc. Une annexe importante sera la liste des 16 échelles limnimétriques historiques avec leurs caractéristiques (localisation, historique, statut), conformément aux exigences. D'autres annexes pourraient détailler par exemple les calculs hydrologiques (formules utilisées pour l'estimation de la crue extrême, etc.), ou fournir les relevés journaliers de niveau pendant l'étude, etc. L'organisation des annexes sera proposée par le Consultant et validée avec le Client pour s'assurer que toute information utile y figure.
- Base de données numérique complète – l'ensemble structuré des données géospatiales et temporelles collectées et produites au cours de l'étude, organisé de manière logique. Le Consultant portera une attention particulière à la structuration (par exemple arborescence de dossiers par thème : Bathymétrie/, Hydrologie/, SIG/, BIM/, etc.) et aux métadonnées. Un document d'accompagnement présentera chaque fichier livré avec sa description (nature des données, système de coordonnées, unités, date de collecte, etc.). Cette base de données comprendra notamment : le modèle numérique final terre-

eau du site (MNT intégré), les couches SIG (shapefiles) des entités géographiques (emplacement des repères, des échelles, etc.), les tableaux de données hydrologiques (séries de niveaux et de débits), les fichiers de calibration, etc. L'ensemble sera livré sur supports physiques pérennes (5 disques durs USB) et constituera l'archive officielle du projet. Le Consultant devra garantir que ces données seront directement exploitables par le Client via des logiciels standards (ArcGIS/QGIS, AutoCAD/Civil3D, Excel, etc.).

Tous ces livrables seront soumis à un processus de validation : le Client, en concertation avec le bailleur (Banque mondiale), examinera les rapports et données fournis. Des réunions de présentation/examen des livrables finaux seront organisées (voir section Coordination et communication ci-dessous) et le Consultant devra intégrer les commentaires et corrections demandés avant soumission des versions définitives. La livraison ne sera considérée comme complète qu'une fois les livrables définitifs approuvés formellement par le Client.

## **9. Durée de la Mission et Calendrier Indicatif**

La durée totale de la mission est estimée à environ 10 mois à compter de la date de début (T0), hors éventuels délais de validation. Elle pourrait s'étendre jusqu'à 12 mois si nécessaire pour capturer toutes les saisons hydrologiques (afin de réaliser les jaugeages en étiage et en crue extrême). Le calendrier indicatif des principales étapes et jalons se présente de la manière suivante :

- T0 : démarrage du contrat (ordre de service). Réunion de lancement entre le Consultant et le Client dans la semaine suivant T0 (kick-off meeting).
- Mois 1 (T0 + 1 mois) : phase de préparation et de revue bibliographique (Tâche 1) ainsi que l'approvisionnement du matériel. Mobilisation de l'équipe, finalisation des protocoles, obtention des autorisations nécessaires.
- T0 + 1,5 mois : soumission du Rapport de démarrage (fin de la Tâche 1). Le rapport de démarrage contenant le plan détaillé de l'étude, devra être validé par le Client sous 2 semaines avant de passer aux travaux de terrain.
- T0 + 2 mois : début des travaux de terrain principaux (Tâches 2 et 3) une fois le rapport de démarrage validé et la logistique prête. Première mission de terrain (période d'étiage, par exemple juillet-août) – réalisation des levés bathymétriques MBES sur les trois zones définies (barrage, Kianda amont, Bundi aval), couplés avec un premier jaugeage en conditions d'étiage. Installation sur site des stations hydrométriques : mise en place des 2 nouvelles échelles (Kianda & Bundi) et réhabilitation simultanée des 14 stations existantes, dès le début de la campagne de terrain.
- T0 + 3 mois : fin de la campagne bathymétrique principale et du jaugeage en étiage. Retour de l'équipe terrain à la base. Démarrage immédiat du traitement initial des données bathymétriques brutes (Tâche 4) dès la fin de la mission de terrain.
- T0 + 4 à 5 mois : période de traitement des données bathymétriques, d'intégration partielle des modèles et de préparation de la prochaine campagne hydrologique. Durant

cette phase, le Consultant pourra remettre un rapport de mission bathymétrique intermédiaire, et procédera à la maintenance intermédiaire des stations hydrométriques installées si nécessaire. Parallèlement, les premières analyses des données d'étiage seront effectuées et utilisées pour planifier la suite.

- T0 + 6 mois : deuxième mission de terrain (saison des pluies débutante ou intermédiaire, par exemple octobre) – réalisation d'une deuxième campagne hydrologique avec jaugeages en eaux moyennes. Durant cette mission, le Consultant vérifiera le fonctionnement des stations hydrométriques (maintenance intermédiaire) et pourra effectuer quelques levés bathymétriques complémentaires si certaines zones n'avaient pas pu être couvertes lors de la première campagne (exemple zones auparavant inaccessibles). En parallèle, le MNT bathymétrique intégré sera finalisé à partir des données traitées.
- T0 + 8 mois : troisième mission de terrain (pleine saison de crue, par exemple novembre-décembre) – réalisation d'une troisième campagne hydrologique avec jaugeages en hautes eaux (crue). Cette mission permettra de compléter la caractérisation du régime du fleuve en condition de crue. Au retour de l'équipe, le Consultant finalisera les analyses hydrologiques (traitement immédiat des données de crue, comparaison avec les estimations statistiques, ajustement final des courbes de tarage).
- T0 + 8,5 mois : finalisation du jumeau numérique – à ce stade, le modèle numérique intégré terre-eau du site sera complété en y incorporant les dernières données collectées en crue. Le Consultant s'assurera que toutes les données (bathymétrie, topographie, hydrologie) sont cohérentes et intégrées dans la base de données géospatiale.
- T0 + 9 mois : synthèse finale et reporting – intégration finale de toutes les données, élaboration des produits finaux (cartes définitives, atlas, modèles numériques) et rédaction du Rapport Final provisoire (Tâche 5). Vers la fin du mois 9, le Consultant soumettra au Client le Rapport Final provisoire pour revue, accompagné des livrables associés provisoires (exemple ébauche d'atlas cartographique, extraits de la base de données, etc.). Une réunion de restitution provisoire sera organisée à ce stade pour présenter les résultats au Client et aux parties prenantes et recueillir leurs commentaires.
- T0 + 10 mois : finalisation des livrables – réception des commentaires du Client et des bailleurs (IDA) sur le rapport provisoire. Le Consultant procédera aux révisions nécessaires, incorporera toutes les corrections et finalisera l'ensemble des livrables. Il organisera l'atelier de restitution final pour valider les résultats définitifs avec le Client et les parties prenantes. Emission du Rapport Final définitif approuvé ainsi que de tous les livrables finaux (atlas, base de données, etc.). Cette échéance marque la fin de la mission opérationnelle du Consultant sur le terrain.

- T0 + 10–11 mois : période tampon éventuelle pour la validation officielle et l’approbation finale par l’IDA. Durant cet intervalle, le Consultant ne sera pas mobilisé en continu, mais restera disponible pour d’éventuelles clarifications ou ajustements requis par le processus d’approbation.
- T0 + 12 mois : Clôture administrative du contrat une fois les livrables approuvés et la mission techniquement achevée, les procédures de clôture contractuelle et financière finalisées (acceptation formelle des livrables, paiement du solde, retour d’expérience, etc.).

Ce calendrier indicatif sera affiné par le Consultant dans son offre puis lors de la Tâche 1, pour tenir compte de la date réelle de démarrage et des conditions effectives. Il devra être optimisé par le Consultant, qui justifiera les durées proposées et intégrera les contraintes saisonnières (hautes eaux entre novembre et mars, étiage entre juin et août).

Le calendrier devra rester flexible pour tenir compte des aléas climatiques et logistiques (par exemple, – une crue exceptionnelle plus précoce, un retard d’approvisionnement, etc., pourraient nécessiter d’ajuster les dates). Il devra faire preuve de souplesse dans l’ajustement du planning, tout en respectant les délais globaux. En particulier, si une crue tardive devait survenir (après le mois 10 par exemple), le Client pourrait décider de prolonger légèrement la mission pour permettre de la mesurer, car cela sera essentiel pour la qualité des résultats – c’est pourquoi une marge jusqu’à 12 mois est évoquée. L’important est que l’ensemble du cycle hydrologique soit effectivement couvert sur la durée de la mission, même si cela déborde légèrement (il est préférable d’attendre une crue tardive pour la mesurer plutôt que de boucler précipitamment sans l’avoir observée).

La durée totale de la mission ne devrait pas excéder 12 mois au maximum, afin de fournir les résultats dans les délais du projet Inga-3 et de l’étude parallèle des options. L’objectif est de disposer d’un rapport final validé avant la prochaine saison d’étiage 2027. La nature du contrat sera de type forfaitaire, donc les paiements seront liés à des échéances et livrables, pas au temps passé. Néanmoins, le Consultant sera tenu de maintenir son équipe mobilisable (au moins clémente) tout au long de la période couverte, avec la présence sur le terrain aux moments clés comme convenu dans le calendrier validé.

## **10. Organisation de la Mission et Logistique**

### **10.1. Moyens logistiques et matériels**

L’exécution de la présente mission dans un site reculé et difficile d’accès comme Inga requiert une préparation logistique minutieuse. Le Consultant sera responsable de la mise à disposition de tous les moyens matériels nécessaires à l’accomplissement des tâches, sauf mention contraire.

Le Consultant devra arriver entièrement autonome pour travailler sur le site d’Inga. Aucune infrastructure ou matériel n’est garanti par le Client à part l’accès au site et éventuellement un espace de bureau à Kinshasa pour les réunions. Cette autonomie inclura aussi l’approvisionnement en carburant (essence pour les bateaux, générateurs), en électricité

(prévoir groupe électrogène ou batteries solaires pour le camp), en vivres pour l'équipe sur site, etc. Le coût de ces moyens logistiques devra être intégré dans l'offre du Consultant.

Le Client attachera une importance particulière à la robustesse du dispositif proposé. Par exemple, un candidat soumissionnaire proposant un seul petit bateau en plastique pour couvrir toute la zone sera jugé à risque par rapport à un soumissionnaire prévoyant un vrai bateau + un USV + un zodiac. De même, la présence d'une base de secours (exemple un expert bathymétrie resté à Kinshasa pouvant être mobilisé si l'expert principal se blesse, etc.) pourra être un plus en termes de continuité.

## **10.2. Coordination et communication**

Une bonne coordination entre le Consultant, le Client et les autres parties prenantes sera fondamentale pour la réussite de la mission. Le Consultant devra mettre en place des canaux de communication efficaces et s'intégrer dans la gouvernance globale du projet Inga-3.

### **10.2.1. Coordination avec le Client (ADPI-RDC)**

Le Consultant désignera un Chef de projet (Team Leader) qui sera l'interlocuteur principal du Client. Des réunions de suivi régulières seront tenues, par exemple des réunions de coordination mensuelles (en présentiel ou visioconférence si distance) pour faire le point sur l'avancement, et des réunions ad-hoc avant chaque campagne de terrain majeure. Le Consultant remettra un rapport d'avancement mensuel (même succinct, par e-mail) résumant les activités du mois écoulé, les résultats intermédiaires et les éventuelles difficultés rencontrées, ainsi que le programme du mois suivant. Ces rapports permettront au Client de suivre l'exécution et de réagir rapidement en cas de dérive.

### **10.2.2. Interface avec les autres consultants du projet**

Parallèlement à cette étude, le Client a pu mobiliser ou prévoit de mobiliser d'autres études liées à Inga-3 (par exemple actualisation des options techniques d'aménagement, études environnementales et sociales, etc.). Le Consultant collaborera étroitement avec ces autres équipes. En particulier, il devra échanger avec l'équipe en charge de la mise à jour des options techniques du projet Inga-3 afin d'assurer la complémentarité des travaux.

Cela signifiera : partager les données utiles (par exemple fournir rapidement des extraits de bathymétrie si l'équipe barrage en a besoin pour avancer, sous réserve de confidentialité), recueillir auprès d'eux des informations (par exemple position envisagée du barrage pour cibler les levés), et participer à des réunions de coordination inter-équipes organisées par le Client. Il sera crucial que le Consultant hydrométrique ne travaille pas en silo mais bien en synergie dans l'écosystème du projet.

### **10.2.3. Communication avec les autorités locales et les populations**

Le site d'Inga est une zone stratégique (installations hydro existantes, terrain concédé) mais aussi un territoire où vivent des communautés (villages environnants). Le Client facilitera le contact avec les autorités locales (chefferies, administrations territoriales) pour introduire le Consultant et expliquer l'objet de la mission. Le Consultant devra ensuite informer

localement avant de démarrer les activités de terrain : par courtoisie et sécurité, il rencontrera le responsable de site de la SNEL à Inga, signalera aux chefs coutumiers la présence de l'équipe sur le fleuve, etc. En cas de nécessité de pénétrer sur des terrains privés ou d'emprunter des pistes villageoises, il veillera au préalable à obtenir les consentements appropriés. Il en va de l'acceptation sociale des travaux.

#### **10.2.4. Gestion de l'information et rapports**

Tous les échanges officiels (notes, rapports) entre le Consultant et le Client se feront de préférence par écrit (email avec accusé de réception ou plateforme partagée). Le Consultant tiendra un journal de mission consignnant les dates clés, les faits marquants, les incidents, etc., qu'il pourra présenter au Client sur demande.

Enfin, le Consultant veillera à une communication transparente sur les risques et imprévus. Si un problème survient (accident, matériel perdu, délai non tenu), il devra en avvertir immédiatement le Client en proposant un plan d'action. Une attitude proactive en communication permettra d'éviter les malentendus et de trouver rapidement des solutions avec le support du Client si nécessaire.

Le Client de son côté désignera un Point Focal pour cette étude (probablement un ingénieur de l'ADPI-RDC), qui sera disponible pour répondre aux questions du Consultant, l'aider dans ses démarches administratives (lettres d'introduction, etc.) et coordonner les commentaires sur les livrables. Ce point focal facilitera aussi la liaison avec la Banque mondiale et les autres parties prenantes en interne.

### **10.3. Responsabilités**

#### **10.3.1. Responsabilités du Client (ADPI-RDC)**

- Fourniture des données existantes : le Client mettra à disposition du Consultant, dès le démarrage, toute la documentation et les données disponibles en sa possession pertinentes pour l'étude. Le Client fera de son mieux pour fournir des données fiables et complètes, cependant le Consultant devra les vérifier (certaines données pouvant être manquantes ou de qualité variable).
- Facilitation de l'accès et des autorisations : le Client se chargera de : (i) préparer les lettres d'introduction nécessaires auprès des autorités compétentes (Ministère des Transports, autorités provinciales du Kongo Central, etc.) pour faciliter l'obtention des autorisations de navigation et d'accès aux sites ; (ii) informer en amont les exploitants locaux (par exemple la SNEL à Inga) de l'arrivée de l'équipe du Consultant afin de lever les éventuels obstacles logistiques ou administratifs ; (iii) appuyer le Consultant dans les démarches douanières et d'importation temporaire du matériel scientifique (fourniture des documents d'exonération fiscale ou des carnets ATA si applicables, conformément aux accords avec l'IDA) ; (iv) assurer la sécurité institutionnelle du projet en mettant en relation le Consultant avec les personnes-ressources locales (forces de l'ordre, chefs coutumiers) pour prévenir tout incident.

- En outre, le Client mettra à disposition du Consultant un point focal technique (ingénieur de l'ADPI-RDC ou représentant mandaté) pour suivre l'étude, répondre aux sollicitations quotidiennes et faciliter la validation (acceptation formelle) des livrables. Le Client s'engage également à examiner et commenter les rapports soumis par le Consultant dans des délais raisonnables (généralement 2 à 3 semaines pour un rapport principal), afin de ne pas retarder le calendrier. Enfin, le Client honorera les obligations contractuelles financières (paiements selon les échéances convenues) sous réserve de la livraison satisfaisante des livrables correspondants.

### **10.3.2. Responsabilités du Consultant**

Le Consultant, de son côté, sera pleinement responsable de la bonne fin des prestations conformément aux présents TdR. Il assumera entre autres :

- (i) la planification détaillée et l'exécution de toutes les tâches décrites, avec l'autonomie logistique et financière nécessaire (mobilisation des experts et du matériel requis, y compris en redondance pour pallier d'éventuelles défaillances) ;
- (ii) la qualité technique des travaux et livrables – le Consultant est tenu à une obligation de résultat quant à l'atteinte des performances spécifiées (voir clauses particulières ci-après) ;
- (iii) la santé et sécurité de son personnel et des tiers pendant l'exécution des travaux : il devra se conformer strictement au Plan HSE validé, assurer une assurance accidents du travail pour son équipe, et prévenir tout risque (le Consultant sera civilement et pénalement responsable en cas d'incident dû à une négligence de sa part) ;
- (iv) le respect des délais : il organisera ses ressources de façon à tenir le calendrier contractuel et informera sans délai le Client en cas de dérive imprévue, en proposant des mesures correctives pour rattraper tout retard injustifié ;
- (v) la coordination effective avec le Client et les parties prenantes : participation aux réunions, échanges réguliers d'information, prise en compte des commentaires et feedbacks ;
- (vi) la gestion rigoureuse des données : le Consultant traitera toutes les données et informations obtenues dans le cadre de l'étude de manière confidentielle (voir ci-dessous) et s'engagera à remettre l'intégralité des données brutes et traitées au Client aux échéances prévues.

En cas de nécessité (maladie, indisponibilité) d'un expert clé, le Consultant devra proposer au Client un remplaçant possédant des qualifications au moins équivalentes, pour approbation, afin d'assurer la continuité de la mission. De même, s'il apparaît en cours de contrat que certaines expertises supplémentaires sont requises (par exemple spécialiste environnemental), le Consultant en informera le Client et pourra mobiliser un expert additionnel après accord (via un avenant si nécessaire).

En résumé, le Consultant s'engage à mobiliser tous les moyens humains, matériels, scientifiques et organisationnels pour mener à bien la mission conformément aux attentes du Client et aux standards de qualité requis par les bailleurs.

Plan de contingence : en cas d'imprévu (panne majeure d'équipement, météo extrême, accès bloqué), un plan B sera activé : par exemple report dans la fenêtre suivante ou recours à un équipement de secours (nouveau sonar ou bateau de back-up).

#### **10.4. Gestion des données sensibles**

Les informations collectées dans le cadre de la présente étude – en particulier les données géospatiales détaillées du site d'Inga (bathymétrie haute résolution, modélisations hydrauliques, etc.) – revêtent un caractère stratégique. Il s'agit de données sensibles relatives à une infrastructure critique nationale. A ce titre, leur diffusion devra être strictement contrôlée et limitée aux usages autorisés par le Client.

Le Consultant et son personnel seront tenus à une obligation de confidentialité vis-à-vis de toutes les données, documents et résultats obtenus pendant la mission. Ils signeront éventuellement un accord de non-divulgence (NDA) avec le Client en début de contrat.

En résumé, le Consultant devra traiter les données d'Inga comme hautement sensibles : pas de diffusion publique, pas de stockage non sécurisé en ligne, et une remise ordonnée au Client. Cette exigence de confidentialité s'appliquera pendant la mission mais aussi après la fin du contrat (obligation de non-divulgence maintenue).

#### **11. Profils Requis et Critères de Sélection du Consultant**

Le présent marché s'adresse à un bureau d'études (ou un groupement de bureaux) hautement qualifié dans les domaines de l'hydrographie, de l'hydrologie, de la topographie et de la géomatique appliqués aux grands projets d'infrastructures hydrauliques. Le Candidat idéal pourra être une seule firme ou un consortium associant des expertises complémentaires (ingénierie hydraulique, bathymétrie, SIG, environnement, etc.). Il doit avoir de solides références et capacités techniques pour mener à bien les tâches décrites.

La sélection se fera sur la base d'une évaluation compétitive des offres techniques et financières des soumissionnaires présélectionnés. Les paragraphes suivants détaillent les profils exigés et les critères d'évaluation.

##### **11.1. Qualifications du Consultant (firme)**

Le Consultant (qu'il s'agisse d'une firme seule ou d'un groupement) devra démontrer qu'il possède les qualifications et capacités suivantes :

- Expérience générale avérée dans la conduite d'études hydrographiques et bathymétriques de grande envergure, idéalement dans le cadre de projets d'infrastructures hydrauliques ou hydroélectriques, au cours des 10 dernières années. Le Consultant devra justifier de projets comparables menés avec succès, de préférence liés à des barrages, grands fleuves ou autres ouvrages hydrauliques majeurs. Une

expérience sur des fleuves tropicaux à fort débit sera fortement valorisée compte tenu des conditions extrêmes à Inga (courants violents, crues tropicales, forte turbidité).

- Expérience spécifique pertinente en levés hydrographiques : réalisation réussie d'au moins trois (3) missions comparables à la présente étude, c'est-à-dire portant sur des levés bathymétriques et hydrologiques de grands fleuves (débit supérieur à 5 000 m<sup>3</sup>/s). Parmi ces références, au moins une devrait avoir été réalisée en Afrique subsaharienne ou en contexte tropical similaire.
- Maîtrise démontrée des techniques MBES/ADCP et modélisation : le Consultant devra avoir une expertise confirmée dans l'utilisation des échosondeurs multifaisceaux (MBES) et profileurs de courant (ADCP) pour acquérir des données hydrographiques, ainsi que dans l'établissement de modèles numériques de terrain intégrant les données terre/eau. Il fournira des références précises détaillant l'étendue des zones levées, les profondeurs sondées, les normes de levé suivies (exemple conformité aux standards de l'OHI) et les clients bénéficiaires des projets. Par ailleurs, il devra maîtriser l'établissement de courbes de tarage et l'analyse statistique des débits (évaluation des crues extrêmes, analyses de fréquence). Une expérience dans l'installation et la gestion de stations hydrométriques automatiques (limnimètres à enregistreur, capteurs télémétriques) serait un atout considérable, étant donné l'importance du renforcement du réseau de mesure local dans la présente mission. Enfin, des références de projets menés sur des sites complexes (rapides, grands barrages en projet ou en exploitation) seront également valorisées.
- Maîtrise des technologies de pointe : le Consultant devra prouver sa connaissance et sa capacité à mobiliser les technologies modernes de mesure et de traitement des données. Cela inclut l'utilisation d'échosondeurs multifaisceaux et monofaisceaux, de sonars à balayage latéral si nécessaire, de systèmes de positionnement GNSS différentiel (RTK) pour la géodésie, de profileurs Doppler (ADCP) pour les mesures de débits, ainsi que des logiciels spécialisés associés (logiciels hydrographiques, SIG, outils de modélisation 3D/BIM). Il devra être à l'aise dans l'intégration de données multiples (par exemple fusion de nuages de points LiDAR aérien et bathymétrie sonar) et maîtriser les standards internationaux de qualité des données (normes de l'Organisation Hydrographique Internationale – OHI, normes ISO pertinentes, etc.).
- Capacités en SIG/DAO et modélisation 3D : étant donné l'objectif de produire un jumeau numérique du site, le Consultant devra disposer de compétences confirmées en Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour structurer, analyser et représenter les données spatiales, ainsi qu'en modélisation 3D/BIM pour élaborer la maquette numérique intégrée. Des références de projets ayant intégré des outils BIM ou de modélisation 3D dans le domaine des infrastructures seront un plus significatif. La connaissance des formats d'échange BIM (tels que IFC, LandXML, etc.) et la pratique de plateformes comme ArcGIS, QGIS, Autodesk Civil 3D/Revit ou équivalent doivent être démontrées.

- Connaissance du contexte local : une expérience préalable de travail en RDC ou en Afrique centrale serait fortement appréciée compte tenu du contexte spécifique (logistique en milieu isolé, contraintes tropicales). A défaut, le Consultant devra démontrer sa capacité à s'adapter rapidement au contexte congolais (logistique terrain, langue, climat, cadre réglementaire), par des moyens tels que l'association de partenaires locaux ou l'intégration d'experts nationaux au sein de l'équipe. Une bonne compréhension des enjeux environnementaux et sociaux locaux, ainsi que des us et coutumes, est également nécessaire pour mener les opérations de terrain dans le respect des communautés riveraines. Enfin, la maîtrise du français (langue de travail) est indispensable au moins pour le chef de projet et les principaux experts de l'équipe, afin de faciliter les échanges avec le Client et la rédaction des livrables. La capacité à communiquer en anglais serait un plus. Une présence ou un partenariat local (sous-traitant ou consultant local associé) sera vu positivement pour faciliter la logistique et le suivi post-étude.
- Capacité organisationnelle et financière : le Consultant devra disposer des ressources techniques (personnel qualifié, équipements appropriés disponibles ou mobilisables) et d'une assise financière suffisante pour mener la mission à bien sans heurts. Il fournira, par exemple, dans son offre des preuves de disponibilité du matériel principal (fiches techniques des équipements MBES/ADCP proposés) et une attestation de solidité financière (chiffre d'affaires des dernières années, etc.) démontrant sa stabilité.
- Gestion de la qualité : le Consultant devra être engagé dans une démarche de management de la qualité. Idéalement, il serait certifié ISO 9001 (ou équivalent). A défaut, il devra décrire son dispositif interne de contrôle de la qualité et présenter son plan d'assurance qualité prévu pour cette mission (procédures de vérification des données, revue interne des livrables, etc.).

Les offres devront inclure une présentation du Consultant (et de chaque membre en cas de consortium), mettant en avant ces éléments (expérience pertinente, références similaires, organisation et ressources). Le non-respect des exigences minimales (par exemple, aucune référence de projet similaire) pourra entraîner la disqualification de l'offre.

### **11.2. Equipe du Consultant (experts clés)**

Le Consultant devra mobiliser une équipe pluridisciplinaire et expérimentée, couvrant l'ensemble des compétences requises (hydrographie, hydrologie, topographie, SIG, environnement, etc.). Chaque expert clé devra justifier d'au moins 10 ans d'expérience pertinente et d'une participation à des projets similaires en milieu fluvial. L'équipe du Consultant devrait être équilibrée et inclure au minimum les experts clés suivants, dont le CV sera évalué lors de la sélection.

Certains postes peuvent être cumulés par une même personne s'il possède le profil adéquat et les compétences requises, mais l'ensemble des compétences listées devra être couvert :

- Chef de Projet / Expert Hydrographe principal – Ingénieur senior (Bac+5 ou équivalent en hydrographie, génie civil, génie côtier ou génie hydraulique (hydrologue ou hydraulicien) justifiant d’au moins 20 ans d’expérience professionnelle, dont une part significative dans la gestion de projets d’études hydrauliques ou hydrologiques similaires. Il sera responsable de la coordination générale de la mission, de la supervision technique de toutes les tâches et du respect des délais et de la qualité des livrables. Il assurera la supervision globale de l’étude, la coordination de l’équipe, les interactions avec le Client et sera garant de la qualité technique des méthodes et résultats de l’étude. Une solide expérience en gestion d’équipes pluridisciplinaires, d’excellentes capacités de communication en français, ainsi qu’une connaissance des procédures des bailleurs de fonds (Banque mondiale, etc.) sont requises pour ce poste. Il devra avoir dirigé des missions similaires (études hydrométriques et bathymétriques complexes, levés bathymétriques de grande étendue, cartographies de rivières ou zones côtières complexes) et démontrer sa capacité à gérer un projet pluridisciplinaire. Des compétences avérées en hydrographie (certification Catégorie A ou équivalent de l’IHO, par exemple) seraient idéales. Il devra aussi posséder d’excellentes aptitudes en gestion d’équipe, coordination multi-acteurs, et communication avec le Client. La maîtrise du français est impérative pour ce poste.
- Expert Bathymétrie/Hydrographie (spécialiste MBES) – Spécialiste technique ayant au moins 15 ans d’expérience, dont au moins 10 ans consacrés aux levés hydrographiques multifaisceaux dans des environnements difficiles (fleuves à forts courants, estuaires, zones rocheuses). Diplômé en hydrographie (niveau Catégorie A de l’OHI ou équivalent) ou en géomatique/océanographie physique, il maîtrise l’utilisation des systèmes MBES (et éventuellement des drones hydrographiques USV), ainsi que le post-traitement avancé des nuages de points bathymétriques et l’intégration de données LiDAR. Une expérience spécifique sur des fleuves tropicaux ou en Afrique serait un atout supplémentaire. Il sera responsable de la planification et de l’exécution technique de la campagne bathymétrique, du bon étalonnage des instruments, du traitement des données sonar et du respect des normes de levé (conformité aux normes OHI). Il sera responsable de la qualité finale des données bathymétriques produites et de la calibration des instruments.
- Expert Hydrologue – Ingénieur hydrologue ou hydrotechnicien (Bac+5) avec au moins 15 ans d’expérience en hydrométrie fluviale et analyse hydrologique. Il doit être spécialiste des mesures de débit et de l’analyse hydrologique en rivière (jaugeages par ADCP, analyses statistiques de débits notamment). Il aura en charge la conception des campagnes de jaugeage (choix des stations, méthodes), l’analyse et de l’interprétation des données de crue et d’étiage recueillies et l’établissement des courbes de tarage sur les stations. Il doit avoir idéalement réalisé des études de régime hydrologique de grands fleuves, incluant des analyses de fréquences de crues. Les compétences requises incluent notamment la gestion de réseaux de stations hydrométriques, l’élaboration de courbes de tarage, la modélisation hydrologique de bassins versants, la maîtrise des référentiels de l’OMM pour les services hydrologiques, etc. Une expérience

sur les fleuves d'Afrique centrale ou dans un contexte tropical semblable serait fortement appréciée.

- Expert SIG / Modélisation 3D – Spécialiste des systèmes d'information géographique et/ou de la modélisation 3D (BIM), justifiant d'au moins 8 ans d'expérience sur des projets d'infrastructures. Il sera chargé de structurer et gérer la base de données géospatiale du projet, de produire les cartographies (fonds de plans, cartes thématiques) ainsi que la maquette 3D du modèle numérique intégré du site (jumeau numérique). Il devra assurer l'interopérabilité des données sur les plateformes SIG/BIM du Client. Une maîtrise confirmée des logiciels SIG (ArcGIS, QGIS) et des logiciels de conception 3D (Autodesk Civil 3D, Revit, Bentley MicroStation, ou équivalents) est requise. Des références en projets BIM pour des ouvrages hydrauliques ou des jumeaux numériques dans le domaine des infrastructures seront fortement valorisées.
- Ingénieur topographe / géodésien – expert en levés topographiques et géodésie (précision altimétrique, maîtrise des levés GNSS RTK/PPK, nivellement de précision), chargé du rattachement géographique des données (système de projection unifié commun) et des levés complémentaires sur les berges ou points de contrôle altimétrique avec une excellente capacité à établir des réseaux de repères et à gérer des levés LiDAR.
- Spécialiste en stations hydrométriques et instrumentation – technicien ou ingénieur spécialisé dans la conception, l'installation et la maintenance de stations hydrométriques. Il devra avoir une expérience dans le déploiement d'échelles limnimétriques, de capteurs de niveau d'eau (pression, radar) et de systèmes de télémétrie et télétransmission (GSM, satellite). Cet expert veillera à la bonne installation des 2 nouvelles stations et à la remise en service des stations existantes, en assurant la configuration correcte des enregistreurs et le test des dispositifs de transmission de données. Il formera si besoin le personnel local à l'entretien courant des équipements. Ce rôle pourrait être assumé par l'hydrologue ou un autre expert si celui-ci possède les compétences spécifiques en instrumentation requises.
- Spécialiste Environnemental (E&S) – expert en gestion environnementale et sociale, familier avec les normes environnementales et sociales de la Banque mondiale et les pratiques HSE. Intégré à l'équipe (éventuellement à temps partiel), il veillera au respect des exigences E&S tout au long de la mission : conformité du Plan HSE, mise en œuvre du Plan HSE pendant les travaux de terrain, mesures de protection de l'environnement local (prévention de la pollution, gestion des déchets, perturbations minimales de la faune/flore), et prise en compte des communautés locales (information des riverains, respect des us et coutumes des communautés riveraines, etc.). Il s'assurera que les activités de terrain n'engendrent pas d'impacts sociaux ou environnementaux non maîtrisés. Une expérience de terrain en RDC ou en Afrique subsaharienne, ainsi qu'une connaissance pratique des Plans de gestion environnementale et sociale (PGES), seraient appréciées.

- Expert HSE & Social (secondaire) – responsable Hygiène-Sécurité-Environnement, chargé d’élaborer et de faire appliquer le Plan HSE sur le terrain, de former les équipes aux consignes de sécurité et de superviser la sûreté des opérations (navigation sûre, premiers secours, procédures d’urgence). Bien que non obligatoirement un « expert clé » dédié, le Consultant devra montrer qu’il dispose de ressources compétentes pour la gestion de la santé-sécurité et des aspects environnementaux/sociaux pendant l’étude. Cela pourrait être un coordinateur HSE interne ayant des références sur des missions terrain comparables. Ses qualifications seront examinées (formation HSE, expérience en prévention des risques dans des projets similaires). Ce rôle pourra être cumulé par un des experts ci-dessus qualifié s’il possède les compétences requises ou assuré par un expert HSE dédié.
- Techniciens locaux : au moins cinq techniciens (fournis par la RVF ou recrutés localement) seront intégrés à l’équipe pour assurer l’assistance sur le terrain, apprendre les techniques de mesure et assurer la durabilité du réseau. Ils bénéficieront d’un programme de renforcement de capacités.

Il convient de noter que le Chef de Projet et les experts Bathymétrie, Hydrologue et SIG sont considérés comme experts clés. Leur présence effective et continue pendant les phases critiques de la mission devra être garantie. Le Consultant est encouragé à inclure également des experts nationaux junior dans l’équipe afin de favoriser le transfert de compétences. Le Consultant devra s’assurer de la disponibilité effective de ces experts et de la stabilité de son équipe clé tout au long du projet -- une lettre d’engagement de chaque expert clé devra être fournie dans l’offre (les remplacements ne seront acceptés qu’avec l’accord du Client, et pour des candidats aux qualifications équivalentes ou supérieures).

Tous les experts clés devront faire preuve d’une haute intégrité éthique. Il sera exigé qu’ils signent un Code de Conduite couvrant la lutte contre la corruption, le respect des populations locales, l’absence de harcèlement, de discrimination ou d’exploitation durant la mission. Il est vivement encouragé d’intégrer des ressources locales pour compléter l’équipe, par exemple des techniciens ou assistants congolais (bateliers, aides-hydrologues, topographes adjoints, etc.) qui participeront aux travaux de terrain et faciliteront les interactions locales (langue, connaissance du terrain). Cette inclusion contribuera également au transfert de compétences vers les acteurs nationaux.

Il convient de noter que le Consultant sera libre de proposer des experts additionnels s’il le juge nécessaire (par exemple un spécialiste en hydrodynamique pour la modélisation 2D/3D, un expert en télécommunications pour la partie transmission de données des stations, etc.). Cependant, seuls les profils listés ci-dessus seront considérés comme clés dans l’évaluation (les profils supplémentaires pourront être évalués sous la rubrique méthodologie ou organisation).

## **12. Critères d’évaluation des offres techniques**

Les propositions reçues seront évaluées selon la méthode Sélection Basée sur la Qualité et le Coût (SBQC) conformément aux Règles de Passation des Marchés de la Banque

mondiale. Il s'agit d'une consultation internationale ouverte où la qualité technique de la proposition sera primordiale, tout en tenant compte du coût. Dans le cadre de cette consultation internationale ouverte, la qualité technique de l'offre sera prépondérante, le poids relatif de l'offre financière étant secondaire (les pondérations précises seront indiquées dans la Demande de Propositions – typiquement environ 80 % technique, 20 % prix).

Les offres techniques reçues seront évaluées selon les critères et pondérations ci-après (100 points au total). Seules les offres ayant une note technique supérieure ou égale au seuil fixé (généralement 70 points) seront considérées pour l'évaluation financière.

- Compréhension de la mission et méthodologie proposée – environ 25 points. Évalue la clarté, la pertinence et le réalisme de l'approche du candidat soumissionnaire pour atteindre les objectifs des TdR. Ce critère appréciera la compréhension par le soumissionnaire des objectifs et enjeux de l'étude, la pertinence de la méthodologie détaillée qu'il propose (approche technique pour chaque tâche, innovations technologiques envisagées, mesures d'assurance qualité, prise en compte des normes), ainsi que le planning d'exécution et l'organisation logistique. On examinera notamment la compréhension démontrée des enjeux spécifiques du site (conditions extrêmes du fleuve, sécurité, contraintes E&S) et la qualité de la méthodologie de levé bathymétrique/hydrologique proposée (adéquation du plan de travail, dispositifs de gestion des risques et imprévus, plan de QA/QC interne, innovations pertinentes, etc.). La qualité du plan HSE et du dispositif de gestion des risques, de même que les dispositions pour le transfert de compétences aux cadres locaux, seront examinées dans ce cadre.
- Expérience du Consultant (firme) – 15 points. Cela inclut l'expérience générale et spécifique dans des missions comparables, la présence de références récentes pertinentes vérifiables du Consultant sur des missions comparables : complexité et taille similaires, milieux fluviaux exigeants, livrables fournis de bonne qualité, etc., et la capacité démontrée à opérer dans le contexte du projet. Inclut les certifications éventuelles, l'expérience en RDC ou en Afrique, et la solidité de l'organisation de la firme (ressources humaines et matérielles, stabilité financière).
- Qualifications et compétences de l'équipe proposée – 40 points. C'est le critère principal. On évaluera chaque expert clé (selon les postes définis plus haut) en fonction de ses qualifications académiques, de son expérience pertinente (années et qualité des références similaires vis-à-vis des tâches de la mission), de sa connaissance de la région/langue, et de sa disponibilité garantie sur la période du projet, de la complémentarité de l'équipe, de la clarté des rôles de chacun. Le Client valorisera notamment les réussites antérieures des experts dans des projets analogues (livrables acceptés sans réserve, etc.), la possession de certifications professionnelles (par exemple hydrographe certifié, etc.), et l'implication proposée d'experts nationaux juniors pour apprentissage. Une notation indicative pourra être : Chef de Projet (10 points), Expert Bathymétrie (5 points), Expert Hydrologue (5 points), Expert SIG/BIM (5 points).

L'adéquation de l'équipe dans son ensemble, en termes de complémentarité des compétences, sera également considérée.

- Plan de travail et calendrier – environ 10 points (selon grille RFP). Évalue la cohérence du planning proposé avec les objectifs et contraintes : identification des jalons critiques, phasage intelligent, prise en compte des contraintes saisonnières, marges prévues pour aléas, etc. Un calendrier trop optimiste ou ne tenant pas compte de certaines étapes essentielles sera pénalisé.
- Approche de renforcement des capacités locales – 10 points. Vu l'importance accordée à la durabilité des acquis, un critère spécifique évaluera les dispositions prises par le candidat soumissionnaire pour le transfert de connaissances. Cela inclura le plan de formation proposé aux homologues congolais (ateliers prévus, thématiques des formations techniques durant la mission), l'implication de personnel local dans les opérations de terrain (ingénieurs ou techniciens du Client embarqués pendant les levés), et plus globalement les efforts pour assurer un léger héritage au-delà du projet (par exemple fourniture de manuels en français, mise en place d'outils opérationnels tels qu'une plateforme SIG accessible au Client, etc.). Une proposition démontrant une volonté forte de renforcer les capacités nationales sera notée favorablement.

Le barème exact et la pondération pourront être confirmés dans la Demande de Propositions (DP). Dans sa soumission, le Consultant devra structurer son offre pour répondre clairement à ces critères (un chapitre sur les références, un sur la méthodologie, un sur l'équipe et les CV, etc.).

Les offres financières ne seront ouvertes qu'après évaluation des offres techniques. La méthode de sélection de base retenue est la Sélection Basée sur la Qualité et le Coût (SBQC). Typiquement, l'évaluation se fera avec un poids de 80% pour la note technique et 20% pour le prix (sauf indication contraire dans la DP). Le soumissionnaire obtenant le meilleur score combiné sera invité à négocier le contrat.

## **Annexes**

### **Annexe 1 : Cartes de référence du site d'Inga (Usage restreint)**

Il convient de noter que les cartes suivantes, issues de travaux antérieurs, sont fournies à titre informatif pour la préparation de l'étude. Elles contiennent des données sensibles et leur diffusion est restreinte uniquement au cadre du projet.

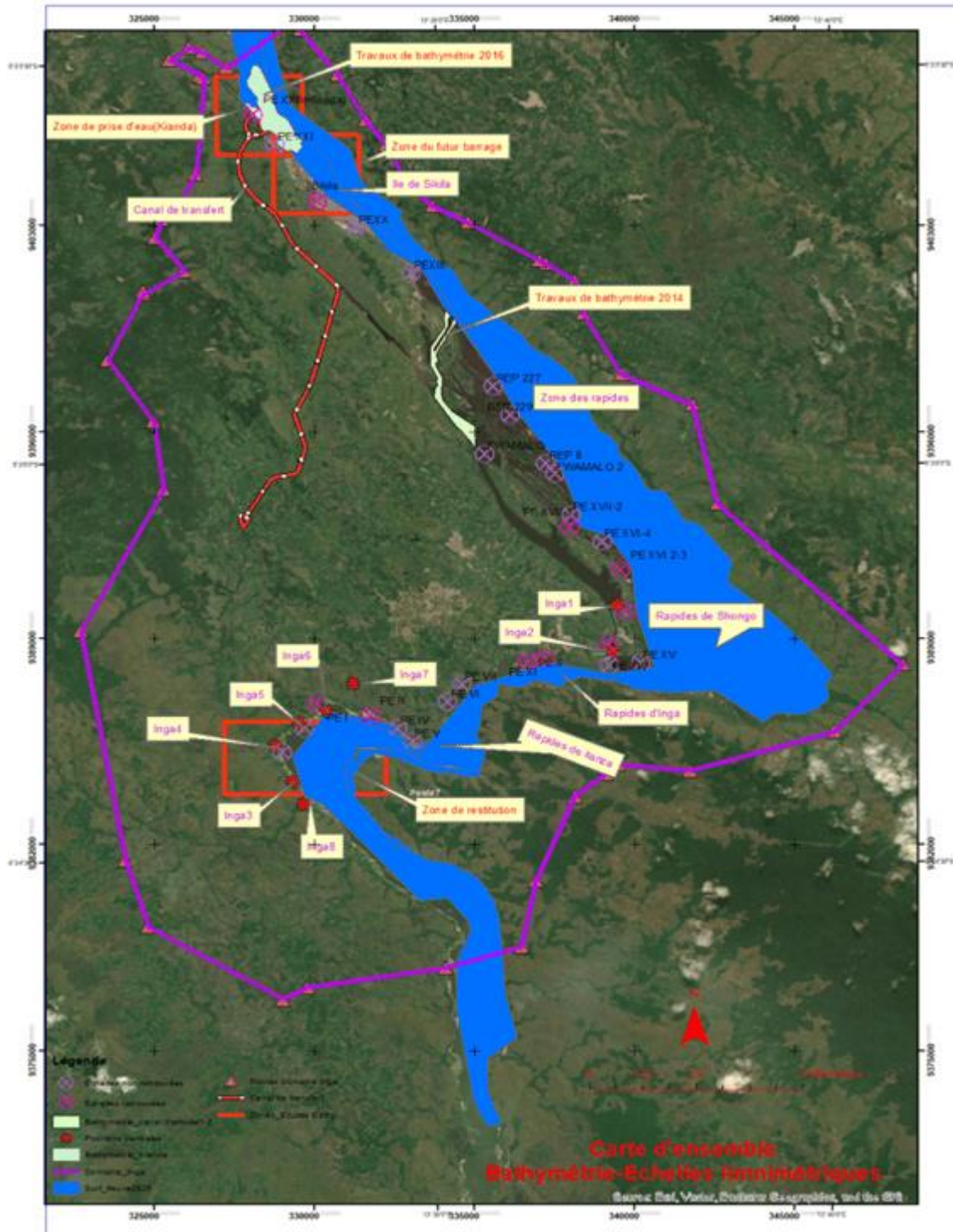


Figure 1 : Carte d'ensemble du site d'Inga présentant les principaux points d'intérêt. Cette carte localise les installations existantes (Inga-1 et Inga-2) et les zones prévues pour le projet Inga-3, y compris la zone des investigations bathymétriques envisagées. Elle indique également l'emplacement des stations hydrométriques historiques sur le fleuve. L'intégration de ces éléments offre une vue globale du contexte géographique du projet.



Figure 2: Extrait d'une carte bathymétrique partielle (levés antérieurs de 2014). Ce document illustre le caractère incomplet des levés réalisés avant la présente étude : seules certaines sections du fleuve à Inga avaient été sondées, laissant des zones stratégiques non couvertes (notamment vers Kianda en amont et Bundi en aval). La couverture bathymétrique limitée visible sur cette carte justifie la nécessité de réaliser un levé exhaustif dans le cadre de la mission actuelle.

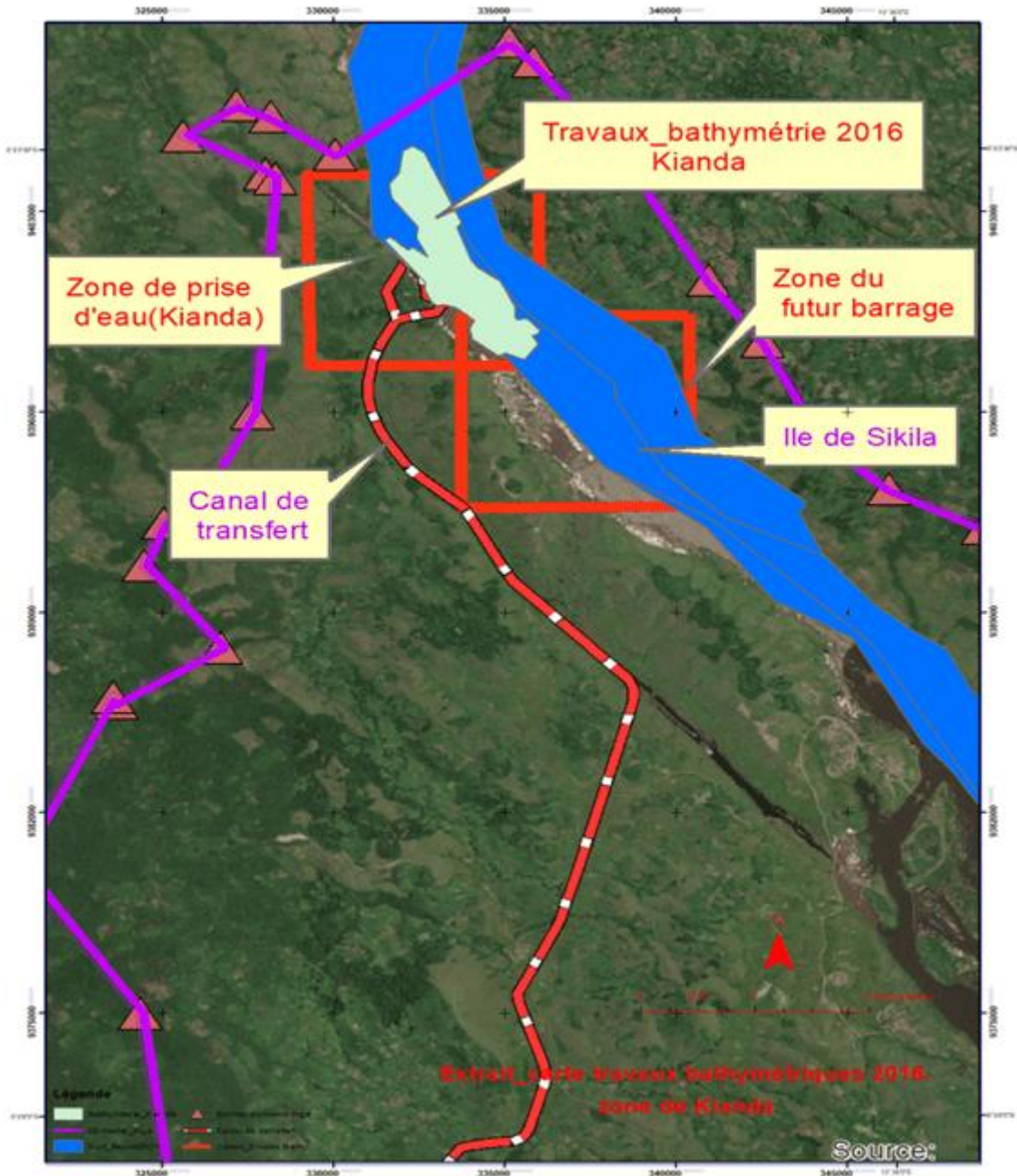


Figure 3 : Extrait de la cartographie bathymétrique obtenue lors de l'étude Bathys 2015–2016. Les zones du fleuve couvertes par cette campagne supplémentaire apparaissent avec un niveau de détail accru, en particulier sur certains chenaux. Cependant, même cette étude complémentaire n'a pas couvert l'intégralité des zones critiques (par exemple, l'ensemble de la vallée de la Bundi) et n'a pas intégré entièrement les données bathymétriques avec la topographie terrestre. Ces lacunes résiduelles soulignent l'importance de produire un modèle continu terre-eau complet lors de la nouvelle étude.



## Annexe 2 : Budget indicatif (bordereau des prix unitaires)

L'annexe ci-après présente un bordereau de quantités estimatif pour l'exécution de l'étude, à titre indicatif. Les deux dernières colonnes (Prix Unitaire et Montant) seront à remplir par les soumissionnaires dans leurs offres financières.

**Tableau 1 – Bordereau indicatif des quantités et prix unitaires (coûts forfaitaires principaux)**

#	Désignation	Quantité	Unité	PU (\$)	Montant (\$)
1.	<b>Mobilisation – Démobilisation</b>				
1.1.	Déplacement du personnel et du matériel	1	Forfait		
1.2.	Installations de base sur site	1	Forfait		
2.	<b>Investigations Bathymétriques</b>				
2.1.	Levés bathymétriques multifaisceaux	13.300.000	m <sup>2</sup>		
2.2.	Levés topographiques terrestres (complément)	500.000	m <sup>2</sup>		
2.3.	Levés LiDAR topobathymétriques (aéroportés)	7.500.000	m <sup>2</sup>		
2.4.	Traitement initial des données bathymétriques au bureau	1	Forfait		
3.	<b>Réseau de repères géodésiques</b>				
3.1.	Implantation réseau géodésique primaire	5	point		
3.2.	Implantation réseau géodésique secondaire	10	point		
4.	<b>Stations hydrométriques</b>				
4.1.	Installation de stations hydrométriques permanentes	2	unité		
4.2.	Réhabilitation de stations existantes (Inga–Matadi)	14	unité		
5.	<b>Jaugeages de débit</b>				

#	Désignation	Quantité	Unité	PU (\$)	Montant (\$)
5.1.	Campagnes de mesure de débit (ADCP)	3	campagne		
5.2.	Analyse hydrologique et courbes de tarage	1	Forfait		
6.	<b>Travaux au bureau</b>				
6.1.	Traitement et analyse des données (bathy, hydro)	1	Forfait		
6.2.	Production des livrables (rapport, atlas, base de données)	1	Forfait		

**Tableau 2 – Planification détaillée des levés par zone d'étude**

Zone d'étude	Coordonnées approx. (DMS)	Bathymétrie MBES (m <sup>2</sup> )	Topographie terrestre (m <sup>2</sup> )	LiDAR topo bathymétrique (m <sup>2</sup> )	Rive(s)	Contraintes logistiques et risques spécifiques
Zone 1 : Prise d'eau de Kianda	Point central (approx.) : 05°29'00" S ; 13°37'00" E (WGS84) Rectangle de levé : Coin nord-ouest : 05°28'30" S ; 13°36'30" E Coin nord-est : 05°28'30" S ; 13°37'30" E Coin sud-est : 05°29'30" S ; 13°37'30" E Coin sud-ouest : 05°29'30" S ; 13°36'30" E	1 000 000	100 000	1 000 000	Rive gauche	Bras de Kianda étroit et peu profond ; courant modéré (peut devenir fort en crue) ; faible accessibilité terrestre ; obstacles submergés possibles
Zone 2 : Traversée du barrage Inga-3	Point central (approx.) : 05°32'00" S ; 13°35'00" E (WGS84)	12 000 000	200 000	1 500 000	Rive gauche et rive droite	Courants extrêmement forts (environ 42 000 m <sup>3</sup> /s en moyenne, autour de

<b>Zone d'étude</b>	<b>Coordonnées approx. (DMS)</b>	<b>Bathymétrie MBES (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Topographie terrestre (m<sup>2</sup>)</b>	<b>LiDAR topo bathymétrique (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Rive(s)</b>	<b>Contraintes logistiques et risques spécifiques</b>
	Rectangle de levé : Coin nord-ouest : 05°31'30" S ; 13°34'30" E Coin nord-est : 05°31'30" S ; 13°35'30" E Coin sud-est : 05°31'30" S ; 13°35'30" E Coin sud-ouest : 05°32'30" S ; 13°34'30" E					70 000 m <sup>3</sup> /s en crue) ; remous et turbulences rendant la navigation périlleuse ; nombreux rochers affleurants ; eaux très turbides (limite le LiDAR)
Zone 3 : Restitution des eaux vers la Bundi	Point central (approx.) : 05°32'40" S ; 13°33'08" E (WGS84) Rectangle de levé : Coin nord-ouest : 05°32'10" S ; 13°32'40" E Coin nord-est : 05°32'10" S ; 13°33'40" E Coin sud-est : 05°33'10" S ; 13°33'40" E Coin sud-ouest : 05°33'10" S ; 13°32'40" E	300 000	200 000	5 000 000	Rive gauche	Vallée enclavée (pas d'accès routier) ; lit de la Bundi très peu profond (navigation impossible par endroits) ; couverture végétale dense (entrave les relevés terrestres et LiDAR) ; crues saisonnières soudaines (risque d'inondation)

Il convient de noter que les surfaces de levés proposées ci-dessus sont purement indicatives. Elles illustrent une répartition cohérente : le levé bathymétrique couvre l'aire du lit immergé du cours d'eau, le levé terrestre concerne les digues et éléments terrestres linéaires nécessitant un relevé fin, et le levé LiDAR s'étend sur les zones interfaciales et le lit majeur, assurant la continuité entre terre et eau. Cette planification par zone garantit une couverture complète et optimisée de chaque secteur d'étude, en exploitant au mieux les atouts de chaque technologie de mesure.

Ces éléments serviront de base à l'évaluation comparative objective des offres, mais pourront être ajustés en fonction des propositions techniques et financières des soumissionnaires. Le Consultant sera responsable d'affiner et de justifier les positions exactes et les dimensions définitives de chacune de ces zones de levés dans son offre technique, après la visite de terrain, afin de s'adapter aux conditions réelles du site. Il est recommandé de les vérifier et les ajuster à l'aide de levés GPS et d'images satellitaires haute résolution lors des études de terrain afin d'obtenir des emplacements précis pour les ouvrages prévus. Les soumissionnaires devront détailler et justifier chaque surface retenue dans leur offre technique.

**Tableau 3 – Estimation des frais remboursables (à titre indicatif)**

#	Poste de dépense	Quantité estimée	Unité	Estimation (\$)
1.	Voyages internationaux (A/R) du personnel clé	4	vol (A/R)	
2.	Transport local (véhicule + chauffeur sur site)	4	mois	
3.	Hébergement & per diem (missions terrain)	60	jour-personne	
4.	Divers (communications, imprévus)	1	forfait	

Les montants en dollars US indiqués sont purement estimatifs. Ils serviront de base à l'évaluation comparative des offres, mais pourront être ajustés en fonction des propositions techniques des soumissionnaires. Les soumissionnaires doivent détailler et justifier chaque poste de coût dans leur offre financière.