

LE PROJET KINOC : MISE À JOUR 2021

THE KINOC PROJECT: UPDATE 2021

Robert ARNOULD

Résumé

Nous basant sur des événements et réalisations apparues depuis une vingtaine d'années, nous avons adapté la présentation du projet de liaison fluviale Kinshasa-Inga-Océan en extrapolant à une liaison Maluku-Banana, désormais moins utopique. En outre, des données locales récentes nous permettent de conforter l'intérêt économique de la liaison, justifiant ainsi une étude de faisabilité.

Mots-clés

génie fluvial, Congo, Inga, navigation fluviale, barrage, ascenseur

Abstract

Based on events and achievements that have appeared over the past twenty years, we adapted the presentation of the Kinshasa-Inga-Ocean river link project by extrapolating to a Maluku-Banana link, now less utopian. In addition, recent local data allow us to strengthen the economic interest of the link, thus justifying a feasibility study.

Keywords

river engineering, Congo, Inga, inland navigation, dam, ship lift

INTRODUCTION

Depuis notre article paru dans ce même bulletin en 2005, nous avons pu constater la mise en service d'ouvrages importants ainsi que la présentation de projets qui permettent de donner un éclairage optimisé au projet de liaison fluviale Kinshasa-Inga-Océan que nous avons baptisé « *Kinoc* ». De plus, des données concernant les coûts de transport dans la région concernée permettent de conclure favorablement à l'intérêt économique d'une liaison fluviale à grand gabarit Maluku/Maloukou-Banana. Outre l'intérêt local d'une telle liaison, on vise également le désenclavement de tout un réseau fluvial intérieur de près de 17 000 km, le plus grand du monde. Ce réseau concerne

non seulement la RDC, mais également tous les pays riverains, à savoir le Congo, la Centrafrique, le Gabon, le Cameroun et l'Angola, lesquels sont réunis au sein de la « *Commission Internationale du bassin Congo, Oubangui, Sangha* » (CICOS).

I. RÉALISATIONS ET PROJETS RÉCENTS DE RÉFÉRENCE

A. La COP21 (Paris)

La Conférence de Paris de 2015 sur les changements climatiques a vu 195 pays marquer leur accord pour limiter le réchauffement anthropique de la planète à moins de 2 °C d'ici 2100 (COP21). Cet accord historique a été le

point de départ de multiples décisions politiques visant à diminuer les émissions de gaz à effet de serre. Parmi les différents résultats tangibles, nous retiendrons la promotion de la filière hydrogène, le développement des énergies renouvelables, en ce compris l'hydroélectricité, et le report progressif des transports routiers vers les transports ferroviaires et fluviaux.

B. Le Canal Seine-Nord (France)

1. Description

Ce projet de canal est destiné à permettre une relation à grand gabarit entre le Bassin parisien et la Seine, d'une part, et le réseau européen gravitant autour des bassins de l'Escaut, de la Meuse et du Rhin, d'autre part. Ce projet est intéressant par les analogies qu'il présente avec notre première option du canal du Kongo (Arnould, 2005). On relèvera notamment sa longueur, le nombre d'écluses avec bassins d'épargne, la présence d'un bief de partage. Relevons les caractéristiques suivantes :

- longueur : 106 km ;
- gabarit européen Vb (180 m x 11,40 m) ;
- écluses à simple sas : 7 (195 m x 12,50 m x 5 m) avec bassins d'épargne séparés et stations de pompage additionnelles ;
- tonnage maximal : 4400 t, ce qui correspond à un convoi en flèche de deux barges Europa II à 3,25 m d'enfoncement ;
- trafic prévu : 14 Mt/an ;
- coût estimé : 5 GUSD ;
- début des travaux : 2021 ;
- mise en service prévue : 2028.

2. Commentaires

Ce projet illustre l'intérêt d'une liaison fluviale à grand gabarit, même sur un tracé drainé par des relations autoroutières et ferroviaires performantes (canal Seine Nord, 2006). Il s'insère parfaitement dans une politique d'aménagement du territoire tendant vers une diminution des émissions de CO₂ dues au transport.

C. Le nouveau canal de Panama (Panama)

1. Description

Le nouveau canal de Panama a été construit pour permettre le passage de navires-porte-conteneurs

de plus grande capacité, de façon à faire face au trafic croissant entre le bassin asiatique du Pacifique et le bassin euroaméricain de l'Atlantique.

Ce canal se caractérise par une série d'écluses donnant accès à un bief de partage constitué par le lac Gatun. Afin de faire face à la consommation d'eau accrue des nouveaux sas, ceux-ci ont été munis de bassins d'épargne. Ci-après quelques caractéristiques :

- gabarit des bateaux post-Panamax : porte-conteneurs de 12 000 EVP (386 x 49 x 15 m) ;
- dimension des sas des écluses : 420 x 55 x 18 m ;
- deux échelles de trois écluses munies chacune de trois bassins d'épargne ;
- total des terrassements : environ 20.10⁶ m³ ;
- capacité du canal : 600 Mt/an ;
- inauguration : 2016 ;
- coût total estimé : 8,65 GUSD.

2. Commentaires

Malgré les bassins d'épargne, le pompage est nécessaire pour assurer les sassements en année sèche. On rappellera aussi que le premier canal avait nécessité l'extraction de 76.10⁶ m³ pour réaliser la tranchée de Culebra en 1913 (coupe Gaillard/Culebra, 2020 ; expansion of the Panama Canal, 2006). Ce canal s'inscrit dans un contexte mondial d'accroissement de transport des marchandises par conteneurs.

D. La liaison ferroviaire Nairobi-Mombasa (Kenya)

1. Description

Cette liaison est la première liaison ferroviaire significative à écartement standard en Afrique subsaharienne. Elle remplace une ancienne ligne à écartement métrique qui ne permettait plus d'absorber le trafic croissant entre Nairobi et le port de Mombasa (ligne Mombasa Nairobi, 2017). Elle constitue un point de comparaison intéressant pour l'établissement du futur réseau national congolais en voie de gestation. Les principales caractéristiques sont :

- écartement standard : 1,435 m ;
- longueur : 480 km ;
- coût : 3,6.10⁹ USD ;
- durée des travaux : 4 ans ;

- mise en service : 2017 ;
- train type : 54 wagons (216 EVP) - longueur 880 m - 80 km/h ;
- durée du trajet : 8 h ;
- coût du transport :
 - conteneur 20 ft (EVP) : 725-750 USD (route : 650 USD) ;
 - conteneur 40 ft : 980 - 1010 USD (route : 835 USD) ;
- trafic espéré : 22 Mt/a.

2. Commentaires

Afin de garantir la rentabilité de la ligne, le gouvernement kenyan a imposé un quota en faveur du rail. Dès lors, une concurrence féroce entre la route et le rail conduit à des tarifs bradés.

Par comparaison, le coût actuel de transport d'un conteneur EVP entre Matadi et Kinshasa (350 km) est facturé 2000 USD ! Malgré cela, le prix à la tonne.km reste supérieur à celui d'un transport fluvial à grand gabarit.

E. La tranchée de Sideling Hill (Maryland - USA)

1. Description

Cette tranchée permet le passage de l'autoroute IS-68 au travers de la crête de Sideling Hill. Les caractéristiques significatives sont :

- hauteur de l'excavation : 103,6 m ;
- volume des déblais : $3,4 \cdot 10^6$ m³ ;
- durée du déroctage : 16 mois ;
- largeur en base : 61 m ;
- largeur en crête : 220 m ;
- coût du chantier (réalisation de 2 km de chaussée comprise) : 20,1 M\$;
- fin du chantier : 1985.

2. Commentaires

On relève une inclinaison moyenne des talus de 3/4 pour une hauteur atteignant les 100 m. Le tout avec un coût de déblais de l'ordre de 6 \$/m³ (Sideling Hill, 1985). Ce prix, relativement bas, s'explique par une bonne organisation du chantier et la quantité de matériaux à évacuer. Si on retient ce chiffre pour un chantier de 50 millions de m³ à déblayer, on arrive à un montant de 300 MUSD.

F. Le tunnel maritime de Stad (Norvège)

1. Description

Ce tunnel d'environ 1700 m de long est destiné à relier directement deux fjords et permettre à des navires côtiers d'éviter un tronçon souvent fort agité de la mer de Norvège. Les principales caractéristiques sont les suivantes :

- volume à excaver : $3 \cdot 10^6$ m³ ;
- coût estimé \approx 345 M€ ;
- hauteur totale : 50 m ;
- largeur totale : 36 m ;
- section du tunnel : 1660 m² ;
- mouillage : 12 m ;
- section mouillée : 432 m² ;
- capacité maximale des navires : 16 000 tonneaux (\approx 1000 tpl) ;
- enfoncement des bateaux : \approx 5 m ;
- largeur maximale des bateaux : \approx 24 m ;
- vitesse maximale : 14 km/h ;
- temps de passage : 10 min ;
- mise en service prévue : 2026.

2. Commentaires

On observe une très grande section pour un tunnel de navigation. Jusqu'à présent, seules des centrales hydroélectriques souterraines ont des hauteurs comparables, et les tunnels de navigation existants sont situés sur des biefs de partage réservés à des bateaux ne dépassant généralement pas les 300 tonnes de port en lourd. Le coût des déblais est estimé ici à 115 €/m³ (Stad Tunnel, 2021).

G. Le nouvel ascenseur de Niederfinow (Allemagne)

1. Description

Cet ouvrage se situe à l'extrémité est du canal Oder-Havel. À ce jour, il est toujours en construction. Il est destiné à remplacer un ascenseur quasi centenaire dont la capacité s'avère insuffisante. Les principales caractéristiques sont les suivantes :

- gabarit du canal : Europa V ;
- dimensions utiles du bac : 115 x 12,50 x 4 m ;
- chute : 38 m ;
- tonnage admissible : 2800 t / 104 EVP ;
- trafic prévu : 4,4 Mt/an ;
- budget : 300 M€ ;
- mise en service : 2021.

2. Commentaires

L'ascenseur a finalement été préféré à une écluse à bassin d'épargne pour sa rapidité de manœuvre et l'absence de consommation d'eau (Niederfinow shiplift, 2020). Désormais, les maîtres d'œuvre accompagnent les capacités de tonnage en vrac par des capacités de transport de conteneurs exprimées en unités EVP (« *Équivalent Vingt-Pieds* »).

H. L'ascenseur à bateaux de Strépy (Belgique)

1. Description

Cet ouvrage se situe sur le canal du Centre qui relie les bassins de la Meuse et de l'Escaut entre Charleroi et Mons. Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

- ascenseur de type funiculaire à deux bacs indépendants ;
- dénivellation : 73,15 m ;
- dimensions utiles des bacs : 112 m x 12 m x (3,35 - 4,15) m ;
- tonnage admissible : 2000 t ;
- durée de levage : 6 min ;
- durée du passage : 40 min ;
- mise en service : 2002 ;
- budget : 625 M€.

2. Commentaires

Cet ascenseur a détenu pendant une quinzaine d'années le record mondial de hauteur. L'architecture retenue ici permet de réaliser l'installation du deuxième bac et de sa machinerie dans une deuxième phase d'équipement, ce qui peut éventuellement présenter un intérêt économique dans l'optique d'un accroissement ultérieur de la capacité du canal (Faes, 2002).

I. L'ascenseur à bateaux des Trois Gorges (Chine)

1. Description

Cet ascenseur, accolé au barrage des Trois Gorges, permet à des bateaux de 3000 t de franchir une chute maximale de 113 m en moins de 50 min, alors qu'il faut plus de 3 h pour passer par l'échelle d'écluses voisine. On note des dispositifs particuliers pour assurer la sécurité des bateaux en cas de blocage

du mouvement, pouvant notamment survenir lors d'un tremblement de terre, phénomène fréquent en Chine. Les caractéristiques notables sont :

- dimensions utiles du bac : 120 x 18 x 3,50 m ;
- tirant d'air : 18 m ;
- élévation maximale : 112 m ;
- variation du niveau amont : 30 m ;
- variation du niveau aval : 11,80 m ;
- durée de levage : 8 min ;
- temps de passage : 40-50 min ;
- coût estimé : 830 MUSD (*d'après PIANC database*) ;
- mise en service : 2016.

2. Commentaires

Par suite des fluctuations du débit, et donc du niveau du fleuve Yangtze, il en résulte des variations importantes du niveau amont, ainsi que du niveau aval, nécessitant des dispositions inhabituelles aux portes des biefs.

Des ascenseurs de 100 m de chute avec des bacs de 18 m de largeur utile se situeraient entre ceux de Strépy et des Trois Gorges. De plus, on notera que la sismicité est nettement moindre dans le Kongo central qu'en Chine, ce qui laisse augurer un certain allègement des structures. (Akkerman, 2009 ; Three Gorges Dam, 2016).

II. LA CARTOGRAPHIE

A. Topographie

Dans ce papier, nous ferons usage des Modèles Numériques de Terrain fournis par la NASA, à savoir le « *30 m - SRTM* » (« *Shuttle Radar Topography Mission* »). Les données résultent d'observations effectuées en février 2000 et rendues publiques en 2015.

Les fichiers binaires au format HGT ne sont décodés et lus que par un petit nombre de logiciels spécialisés. Ils couvrent chacun une surface quadrangulaire de 1° en latitude comme en longitude, correspondant à 12 960 000 points équidistants d'une seconde d'arc, soit environ 30 m. À partir de là, on peut obtenir une projection UTM sur le fuseau considéré. Les nuages de points x, y, z permettent de tracer des courbes de niveau relativement précises. Vu l'écart des points en plan, nous nous sommes contentés d'une équidistance des courbes de niveau de 20 m.

Cette valeur constitue un progrès notable vis-à-vis des cartes « *Weber* » au 1/100 000, disponibles il y a 50 ans, dont l'équidistance des courbes de niveau était de 100 m.

Comme le logiciel permet de naviguer sur tous les points de la projection en indiquant ses coordonnées planes et l'altitude orthométrique au décimètre près, il nous a paru intéressant de vérifier dans quelle mesure ces indications corroboraient les levés géodésiques effectués par Tensen dans le Kongo central (Tensen, 2005). Les deux missions sont basées sur l'usage de l'ellipsoïde de référence WGS84 et du géoïde global EGM96.

Les coordonnées géographiques fournies par le SRTM sont affichées à 0,00001° près. En considérant la circonférence équatoriale de l'ellipsoïde WGS84, soit ~ 40 075 017 m, il y correspond une précision de positionnement d'environ 1 m en longitude. Le résultat est sensiblement le même en latitude. La zone étudiée est comprise dans les limites de latitude et longitude suivantes :

$$\begin{aligned} -6,1^\circ \text{ S} < \varphi < -4,0^\circ \text{ S} \\ 12,1^\circ \text{ E} < \lambda < 15,6^\circ \text{ E} \end{aligned}$$

On en déduit que la proximité de l'Équateur permet de négliger les déformations de distance de la projection conforme UTM et que la zone est entièrement située dans le fuseau 33 S.

B. Vérification de l'exactitude

Les principales zones du MNT comprennent les bornes géodésiques situées à Matadi, Luozi et Kinshasa, lesquelles ont comme intérêt particulier d'être situées à proximité du fleuve.

1. Borne 0004 (Matadi)

$$\begin{aligned} \varphi &= 5^\circ 49' 47,21290'' \text{ S} = 5,82978^\circ \text{ S} \\ \lambda &= 13^\circ 26' 07,31447'' \text{ E} = 13,43537^\circ \text{ E} \\ h &= 71,706 \text{ m} \end{aligned}$$

Hauteur orthométrique correspondante : $H = 65,899 \text{ m}$.
La hauteur mesurée sur la carte a fourni : $H \approx 66,6 \text{ m}$.

2. Borne 0007 (Luozi)

$$\begin{aligned} \varphi &= 4^\circ 56' 58,47155'' \text{ S} = 4,94958^\circ \text{ S} \\ \lambda &= 14^\circ 07' 48,69480'' \text{ E} = 14,13019^\circ \text{ E} \\ h &= 205,161 \text{ m} \end{aligned}$$

Hauteur orthométrique correspondante : $H = 202,325 \text{ m}$.

La hauteur mesurée sur la carte a fourni : $H \approx 203,7 \text{ m}$.

3. Borne 0001 (Kinshasa)

$$\begin{aligned} \varphi &= 4^\circ 19' 53,67997'' \text{ S} = 4,33158^\circ \text{ S} \\ \lambda &= 15^\circ 15' 02,99132'' \text{ E} = 15,25083^\circ \text{ E} \\ h &= 295,685 \text{ m} \end{aligned}$$

Hauteur orthométrique correspondante : $H = 295,695 \text{ m}$.

La hauteur mesurée sur la carte a fourni : $H \approx 296,2 \text{ m}$.

Les écarts entre les valeurs mesurées et les valeurs calculées étant chaque fois inférieurs au mètre, nous pouvons considérer que la précision issue des mesures sur les cartes déduites du MNT est suffisante pour notre propos.

C. Hydrographie

Grâce à l'utilisation de plusieurs satellites de télédétection, le site « *hydroweb* » (hydroweb, 2021) fournit gratuitement un ensemble de données limnimétriques relevées sur plusieurs cours d'eau et lacs de la planète. Nous avons pu ainsi examiner les données de quelques stations situées sur le Congo entre Banana et Maluku. Les niveaux maximaux et minimaux correspondant aux séquences temporelles disponibles sont repris ci-après (Tableau 1). Les hauteurs mentionnées sont des altitudes orthométriques référencées par rapport au géoïde global EGM2008. Pour assurer la correspondance avec les levés topographiques mentionnés ci-devant, nous avons reporté les hauteurs géoïdales correspondant aux géoïdes 2008 et 1996 (geoid calculator, 2020).

III. LE CANAL DU KONGO

A. Choix du gabarit

Dans une première version (Arnould, 2005), nous avons décrit la solution d'un canal à bief de partage à la cote 300 avec utilisation de huit écluses de 50 m de chute, à bassins d'épargne incorporés aux bajoyers. On observe que de telles écluses portées à 100 m de chute accroissent les temps de sasement (Dehousse, 1989).

Station	km	Lat.	Long.	début	fin	Hmin	Hmax	Hmoy	N-2008	N-96
Banana	1	-6,0700	12,4660	2002-11	2009-11	0,0	1,9	0,5	9,24	9,46
Boma	91	-5,8836	13,1519	2016-04	2020-06	2,1	6,2	4,0	5,67	6,55
Matadi	116	-5,9064	13,3616	2016-04	2020-06	3,3	7,1	5,0	5,01	6,31
Luozi1	327	-4,9540	14,1490	2003-05	2009-10	169,5	183,8	174,2	3,08	2,83
Luozi2	328	-4,9480	14,1550	2002-11	2009-12	165,3	185,8	174,1	3,08	2,80
Pioka	376	-4,8625	14,5264	2019-03	2021-02	179,7	190,8	184,2	2,70	2,29
Pool RG	522	-4,3010	15,4490	2002-07	2010-09	269,8	273,9	271,5	0,03	-0,56
Pool RD	548	-4,1450	15,4140	2002-07	2010-09	271,2	274,8	272,7	0,10	-0,35
Maluku	561	-4,0494	15,5449	2016-04	2021-02	271,5	275,1	273,0	-0,01	-0,63

Tableau 1. Relevés limnimétriques du Bas-Congo

En outre, un gros handicap de ce système est la création d'ondes dans les biefs intermédiaires assez courts lors des vidanges. Il est possible d'y remédier en ajoutant des bassins supplémentaires qui permettent à l'écluse de fonctionner en circuit fermé. Malheureusement, cette disposition entraîne des frais de pompage récurrents et une augmentation significative du temps de sasement qui pourraient dépasser les 40 minutes pour des écluses de 50 m de chute (Belzner, 2019). La conséquence en est une limitation drastique du trafic possible et des frais de fonctionnement importants.

C'est pourquoi, en nous inspirant des ascenseurs du barrage des Trois Gorges, nous avons choisi d'examiner plus en détail une solution comportant quatre ascenseurs quasi identiques de 100 m de hauteur. Par rapport à l'ascenseur chinois, ceux-ci auraient les caractéristiques suivantes :

- hauteur moindre et quasi égale (100 m) ;
- sollicitations sismiques négligeables ;
- variation du niveau des biefs négligeable ;
- variation du plan d'eau amont (Inga) : ≈ 5 m ;
- variation du plan d'eau aval (bief maritime) : ≈ 4 m ;
- tirant d'air identique (18 m) ;
- largeurs de bac identiques (18 m) ;
- mouillage légèrement augmenté (4 m) ;
- longueur presque double (200 m).

De tels ascenseurs devraient permettre le passage de convois composés de deux barges en flèche faisant 76,50 m de long, 17 m de large avec un enfoncement de 3 m, autorisant un port en lourd de 6000 t ou 672 conteneurs EVP établis sur quatre niveaux. Le passage serait aussi possible

pour des bateaux-conteneurs (classe V) de 140 m chargés de 470 conteneurs EVP (ITB-info, 2021).

B. Capacité du canal

La taille des ascenseurs conditionne la capacité du canal. En effet, si on admet un pourcentage de convois vides de 80 %, une durée de levage de 8 minutes et un temps de passage de 50 minutes, on peut envisager 11 manœuvres sur une journée de 20 h. Il en résulte un trafic journalier de : $0,8 \times 11 \times 6000$ tonnes, ou 52 800 t/j. En admettant un fonctionnement effectif de 300 jours par an, on obtient un trafic annuel proche de 16 Mt. Pour les deux sens de circulation, cela donne 32 Mt/a.

À titre de comparaison, on relèvera que le trafic fluvial du Port de Paris, deuxième d'Europe, s'est élevé à 25 Mt en 2019 (Port de Paris, 2019), et celui du Port de Kinshasa ne dépasse guère actuellement 2 Mt/a. Par ailleurs, en supposant le passage de trois bateaux porte-conteneurs par jour, cela permettrait un trafic annuel de 420 000 EVP/a, c'est-à-dire une capacité proche de celle projetée par le consortium « *Matadi Gateway Terminal* » (MGT, 2016).

C. Tracé du canal - option 1

L'extrémité amont du canal se trouve en bordure du canal d'amenée des eaux aux centrales hydroélectriques de la Bundi, à un niveau variant entre les cotes 203 et 208. Le canal suit d'abord une direction est-ouest avant de bifurquer vers le sud en direction du fleuve entre Matadi et Boma. Le bief de partage est à la cote 305 et le niveau aval fluctue autour du niveau 4. La longueur est

de 60 km. Le tracé a privilégié le passage dans des talwegs, conduisant ainsi à un volume moindre de déblais ainsi qu'à des hauteurs contenues des talus (Figure 1). Les coordonnées sont des coordonnées locales résultant des valeurs de la projection UTM, qui ont été réduites par changement d'origine pour ne pas alourdir les calculs de cubature.

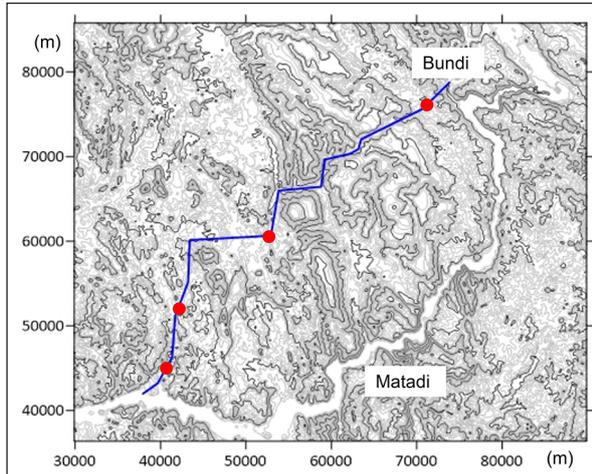


Figure 1. Plan du canal et position des ascenseurs

Le profil en long fait apparaître une hauteur de talus, généralement inférieure à 50 m, hormis un tronçon de 900 m de long où on peut envisager un passage en tunnel (Figures 2 et 7).

Le profil en travers prévoit un mouillage de 5 m et livre un rapport section mouillée/maître-couple du convoi type égal à 6,4 (Figure 3). Un tel profil permet une navigation aisée (Pommier et Selmi, 1981) et des croisements sûrs.

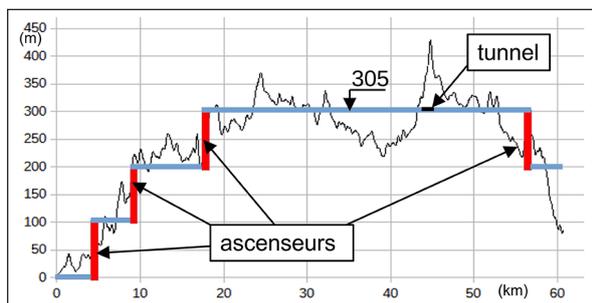


Figure 2. Profil en long - canal à bief de partage

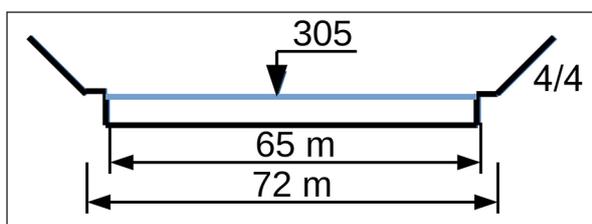


Figure 3. Profil en travers - canal en tranchée

Le détail des berges est donné ci-après (Figure 4).

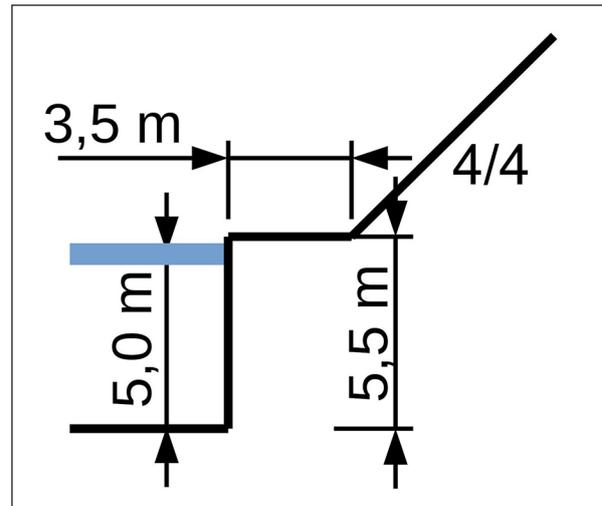


Figure 4. Détail de berge - talus 4/4

Le calcul des cubatures conduit à un volume global de déblais variant de 28.10^6 m^3 à 54.10^6 m^3 selon l'hypothèse faite sur la pente des talus. Il importe donc de bien connaître la nature des terrains rencontrés avant de pousser plus avant les études de tracés. On observe aussi que le choix de la cote 305 permet une économie d'environ 15.10^6 m^3 par rapport à la cote 300. À ce stade, vu la précision limitée offerte par le Modèle de Terrain qui espace les points levés d'une trentaine de mètres, les chiffres fournis doivent être considérés comme des valeurs indicatives, mais on retiendra que ces valeurs restent largement inférieures à celles obtenues au Canal de Panama en 1913.

D. Tracé du canal - option 2

Dans cette option, nous avons choisi de ne pas créer de bief de crête et de conserver le niveau du réservoir d'Inga. D'après l'étude de faisabilité du Grand Inga (Rousselin, 2014), le niveau varierait entre les cotes 203 et 208. Afin de limiter le volume des terrassements qui deviendrait prohibitif dans un tracé en tranchée, nous avons opté pour un tracé plus court prévoyant deux tunnels (Figure 5).

Le profil en long (Figure 6) montre que l'on fait l'économie de deux ascenseurs et que la longueur totale du canal devient inférieure à 45 km, diminuant ainsi sérieusement l'impact sur l'environnement. Le tracé permet la construction de deux tunnels distincts, respectivement de 11 et 16 km environ. Afin de maintenir le bief du canal à un niveau constant, et ainsi limiter le volume

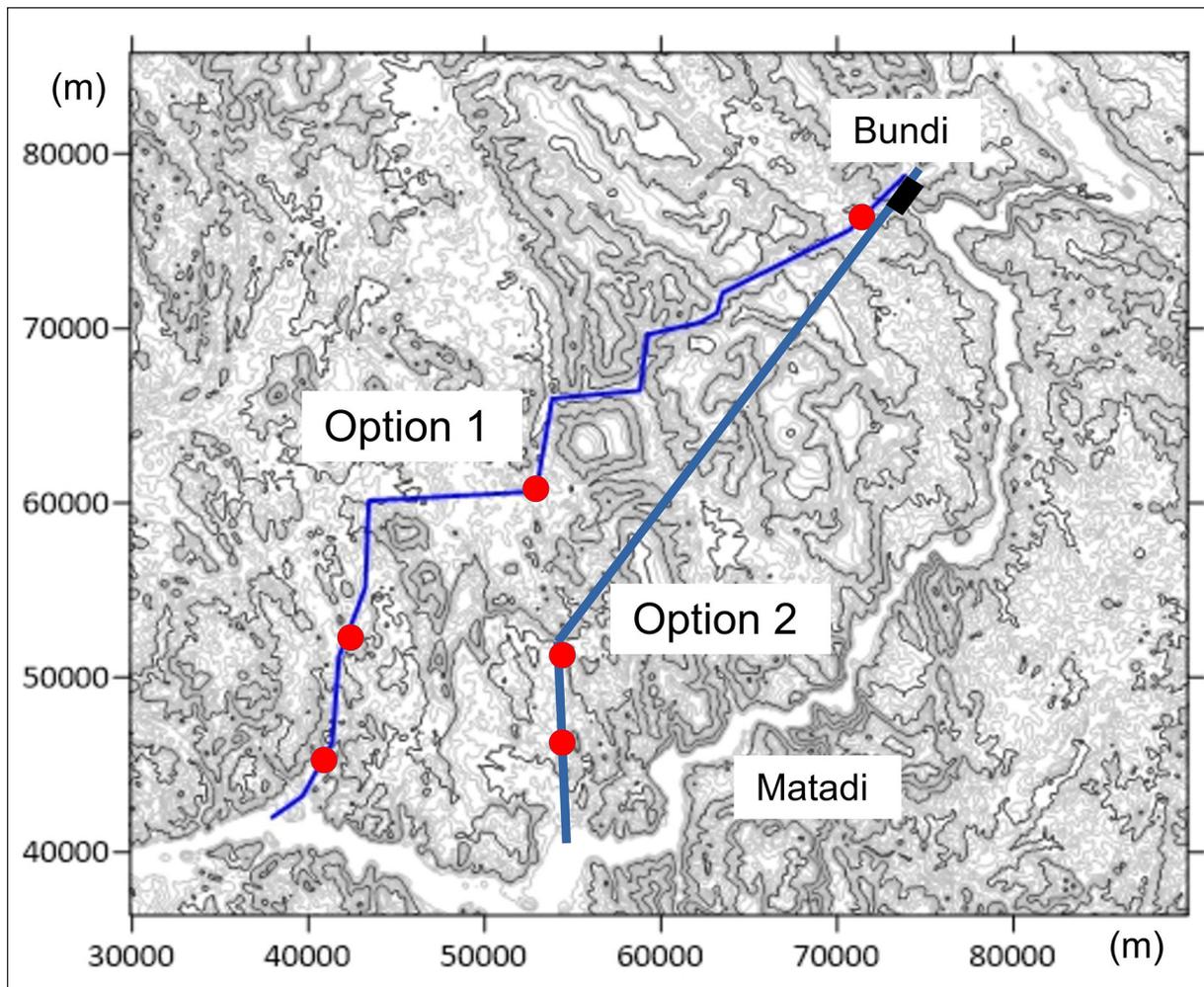


Figure 5. Plan schématique du canal - option 2

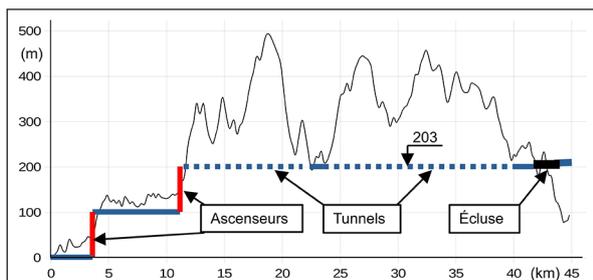


Figure 6. Profil en long -canal-option 2

des déblais, nous suggérons la construction d'une écluse simple à l'entrée amont du canal. Cette écluse, aux dimensions de sas 200 x 18,50 x 9 m et une chute maximale de 5 m aura un temps de passage ne dépassant pas celui des ascenseurs situés à l'autre extrémité du canal, de manière à conserver la capacité de celui-ci. En outre, cette écluse peut faire office de porte de garde en cas de baisse accidentelle du plan d'eau au barrage d'Inga.

La coupe en travers du tunnel (Figure 7) montre le gabarit d'un convoi porte-conteneur sur quatre

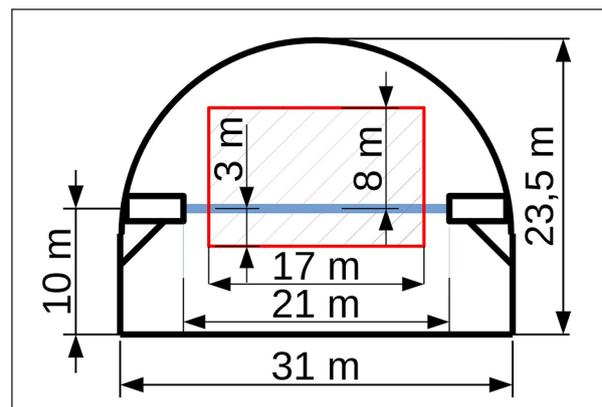


Figure 7. Coupe en travers type des tunnels

niveaux. La section totale du tunnel est de 625 m^2 et le rapport section mouillée/maître-couple du convoi est de 6,08. Le volume total de déblais des tunnels est d'environ 17.10^6 m^3 .

Vu la longueur du tunnel amont, il faudrait 96 min à un convoi navigant à 10 km/h pour le parcourir. Si on alterne les passages, la capacité du tunnel est

de 7 convois par sens et par jour. Dans un premier temps, la capacité du canal sera donc de 10 Mt/a. Au cas où on admettrait, comme au tunnel de Stad, une vitesse de 14 km/h, les chiffres deviennent 10 passages par jour et 14 Mt/a par sens. Une étude en bassin de carène s'avère alors indispensable pour valider cette solution.

On pourrait aussi aménager deux zones de croisement dans le tunnel amont et une zone dans le tunnel aval (Figure 8). Les gabarits tiennent compte d'une aisance totale de 3 m et d'un tirant d'air de 9 m pour les convois porte-conteneurs sur quatre niveaux. À ces endroits, les chemins de halage suivraient un tunnel de plus petite dimension parallèle au tunnel principal. Dans cette hypothèse, un des deux convois est à l'arrêt contre la lisse de protection pendant que l'autre convoi poursuit sa route (comme dans les chemins de fer à voie unique).

Cette disposition, qui devrait être validée par une étude de stabilité sérieuse conduit à la réalisation de sections de tunnel de près de 1200 m² et un accroissement du volume de terrassement de 1.10⁶ m³. Elle doit donc être considérée avec circonspection.

Enfin, une autre possibilité, nettement moins coûteuse, est de faire naviguer les convois en groupes de deux. Le temps de passage est à peine augmenté, mais la quantité transportée est

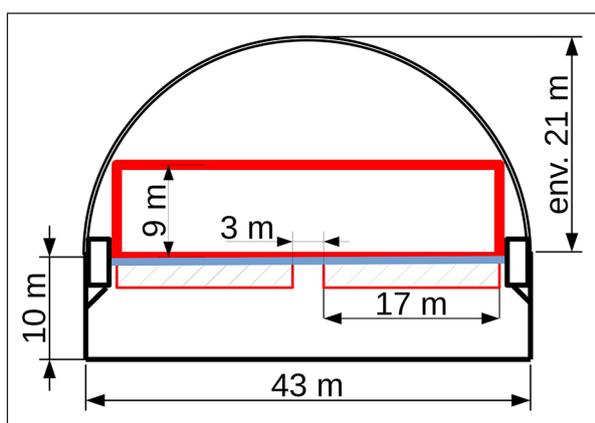


Figure 8. Coupe d'une zone de croisement en tunnel

doublée à chaque passage. Moyennant quelques aménagements mineurs (zones de garage) aux extrémités des tunnels et des ascenseurs, ce mode de fonctionnement permettrait de conserver la capacité initiale du canal. Dans ce cas, le seul inconvénient est un léger allongement du temps de parcours pour certains convois. Par ailleurs, une mesure à prendre est d'imposer l'utilisation de bateaux « *zéro émission* » afin de limiter au maximum, si besoin est, la ventilation des tunnels.

IV. L'ACCÈS À MALUKU

Nos précédentes études se basaient sur des cartes anciennes indiquant une altitude voisine de 300 pour le fleuve à hauteur de Kinshasa. Or les relevés radar publiés par la NASA indiquent un niveau en basses eaux voisin de 266 à hauteur du « Beach Ngobila » et de 269 à hauteur de Maluku (30-Meter SRTM Tile Downloader, 2016). Par ailleurs, les relevés « *Hydroweb* » convertis en hauteur orthométriques rapportés au géoïde EGM96 donnent les valeurs suivantes (Tableau 2).

On en conclut que si le plan d'eau du Pool Malebo est maintenu par un barrage situé en aval des cataractes à un niveau « *hautes eaux* » de l'ordre de 275, le remous à Maluku garantirait une cote d'au moins cette valeur, soit un niveau largement suffisant pour garantir l'accès à des convois de 6 000 tonnes dont le tirant d'eau serait de 3 m.

Par ailleurs, une analyse rapide de quelques profils en travers situés dans la zone des cataractes en aval de Ngaliema fait apparaître que la vitesse limite de 3,50 m/s n'y est pas dépassée. Les conditions de navigation resteraient donc dans les normes admises.

V. LE BARRAGE DE PIOKA

Nous référant à notre précédente publication (Arnould, 2005), nous retiendrons que le remous produit par le barrage du Grand Inga à hauteur de Pioka est de l'ordre de 2 m en basses eaux et de 5 m en hautes eaux. Si on se base sur des niveaux

Station	km	Lat.	Long.	début	fin	Hmin	Hmax
Pool RG	522	-4,3010	15,4490	2002-07	2010-09	270,4	274,5
Maluku	561	-4,0494	15,5449	2016-04	2021-02	272,1	275,7

Tableau 2. Limmimétrie au Pool Malebo

variant de 203 à 208 à Inga, on aurait donc un niveau à Pioka variant de 205 à 213.

D'autre part, une retenue érigée à Pioka produirait un remous au Pool Malebo variant de 4 m en basses eaux à 8 m en hautes eaux. Si on souhaite établir un niveau du Pool Malebo qui se situe autour de la cote 275, le niveau amont du barrage de Pioka devrait être réglé entre 267 et 271. La chute nette serait ainsi de (271 - 205) m soit 66 m pour un débit de 25 000 m³/s. Ces chiffres conduisent à une puissance turbinable de 12 000 MW et une production de 97 TWh/a. Ces valeurs sont fort différentes de celles présentées par le bureau d'études SICAI (Grand-inga.org, 1979), lequel semble s'être basé sur des données altimétriques erronées et, en outre, ne pas avoir tenu compte des pertes de charge résultant de l'écoulement des eaux dans les biefs.

À ce stade, il apparaît prioritaire d'effectuer des levés « Lidar » du lit majeur du fleuve entre Inga et Maluku, associés à des levés bathymétriques correspondants. Ces levés, dont la précision devrait être le décimètre peuvent alors alimenter un modèle mathématique qui livrera les niveaux du fleuve après érection des barrages projetés, ainsi que les courants tourbillonnaires éventuels susceptibles de perturber la navigation (Wolf, 2021).

VI. INTÉRÊT ÉCONOMIQUE DE LA LIAISON PROJETÉE

Nous examinerons l'intérêt du projet « Kinoc » en considérant le trajet Banana/Moanda-Maluku, entre d'une part le futur port en eau profonde de Banana qui permettra l'accostage de plus grands vraquiers et transporteurs de conteneurs, et d'autre part le site de Maluku destiné à être un point de jonction entre le futur pont reliant Kinshasa à Brazzaville (APD du pont Kinshasa-Brazzaville, 2016) et les lignes ferroviaires Kinshasa-Matadi, Brazzaville-Pointe-Noire, ainsi que Kinshasa-Ilebo (faisabilité du chemin de fer Kinshasa-Ilebo, 2016), c'est-à-dire les

conditions idéales pour un port de transbordement multimodal. On remarquera que dans l'état actuel de l'infrastructure, la distance Maluku-Banana/Moanda par la route est d'environ 650 km, tandis que la voie fluviale est estimée à 560 km.

A. Données Cour des Comptes européenne

Dans son rapport, publié en 2015, intitulé « *Le transport fluvial en Europe : aucune amélioration significative de la part modale et des conditions de navigabilité depuis 2001* », la Cour mentionne que les coûts externes dus aux gaz à effet de serre, les polluants atmosphériques, le bruit et les accidents sont respectivement :

- 0,27 c€/t.km pour le transport fluvial ;
- 0,80 c€/t.km pour le transport ferroviaire ;
- 2,01 c€/t.km pour le transport routier.

Sur l'axe Maluku-Banana, on aurait donc un coût de 1,51 €/t pour le transport fluvial et 13,06 €/t pour le transport routier. Il y correspond une économie de 11,55 €/t au profit de la voie d'eau. Pour un trafic de 16 Mt/a, cela conduit à un gain de 184 M€/a, soit près de 9 milliards de dollars en 50 ans. Dans le même rapport, on relève les valeurs suivantes (Tableau 3).

En interpolant pour l'axe Maluku-Banana, on trouve respectivement :

- 1164 M€/a pour la route ;
- 315 M€/a pour la voie fluviale (en comptant 50 km de transport routier pour accès au terminal de Maluku).

Le gain est donc d'environ 848 M€/a (prix 2007) soit, au taux actuel, plus de 1,1 milliard de dollars par an, et 55 milliards en 50 ans. Cette conclusion est valable pour des transports effectués en Europe où les réseaux fluviaux, ferroviaires et routiers sont très performants et présentent une grande concurrence entre eux. C'est pourquoi il nous a paru opportun de considérer des données locales reflétant mieux la réalité africaine.

Mode transport des marchandises	200 km	1000 km
Route	14,3	8,8
Chemin de fer	16,04	7,4
Voies navigables intérieures	2,73	1,95

Tableau 3. Coût des transports sur 200 et 1000 km (c€/t.km)

B. Données Banque Mondiale

Dans le rapport publié par le groupe transport de la Banque Mondiale (Mugangu, 2014), on peut lire qu'un convoi poussé composé de 4 barges de 250 tonnes ayant une rotation de 4 trajets/an a un prix de revient à pleine charge de 0,037 USD/t.km, ce qui se compare à un prix par route de 0,15-0,20 USD/t.km.

Le prix par route n'est certainement pas excessif. En effet, en 2020, le transport d'un conteneur 20 pieds pesant de 20 à 30 t, entre Matadi et Kinshasa (352 km) est facturé 2000 USD, ce qui pour un poids utile de 25 t revient à 0,22 USD/t.km. En considérant un gain de 0,12 USD/t.km, on déduit pour un trafic de 16 Mt/a sur la relation Maluku-Banana : 1 milliard de dollars par an soit 50 milliards sur 50 ans.

C. Données de l'ONG ÉLAN (UK Aid)

Dans un rapport publié par l'ONG ÉLAN (Bashi, 2017), il est fait mention d'un coût de transport de 1300 à 1500 USD pour des conteneurs 20' Dry et de 2300 à 2600 pour des conteneurs 40' Dry. Si on considère une charge utile moyenne de 25 t pour un EVP, cela revient à admettre un coût moyen de 0,16 USD/t.km. Dans un autre rapport du même groupe (Kisudi, 2018), on trouve un tableau donnant la structure de prix de quelques denrées alimentaires faisant le trajet Bumba-Kinshasa. Les produits sont contenus dans des sacs de poids variant de 100 à 130 kg. Le prix du transport varie de 0,050 à 0,077 USD/kg. Si on considère une longueur de trajet de 1150 km, il y correspond un prix indicatif variant de 0,043 à 0,067 USD/t.km.

Sur base de ces rapports récents basés sur des données locales, on peut tabler sur un différentiel moyen de 0,10 USD/t.km, ce qui conduit à un gain de l'ordre de 1 milliard USD/a, en faveur d'une liaison « *Kinoc* ».

D. Conclusions

De toutes ces approches, on peut conclure que l'économie de la voie d'eau par rapport à la route est de l'ordre d'un milliard de dollars par an. On notera que les calculs se basent sur des barges de 250 tonnes, voire moins et des convois de l'ordre

de 1000 tonnes. Un trajet canalisé, présentant moins d'entraves diverses à la navigation et autorisant des convois de 6000 tonnes offre un bénéfice encore meilleur : on parle alors de tarifs allant de 1 à 2 c€/t.km (l'Antenne, 2021).

Dès lors, le coût d'un canal dont la construction aurait coûté 10 GUSD pourrait être amorti en moins de douze ans, alors que les ouvrages hydrauliques bien entretenus ont prouvé qu'ils étaient encore opérationnels après cent années de fonctionnement (cf. ascenseurs d'Anderton, du canal du Centre, voire de Niederfinow). Cette approche n'a pas la prétention de valoir une étude économique menée par des spécialistes reconnus, mais elle conforte, à tout le moins, la pertinence d'une étude de faisabilité.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Grâce à l'exploitation de données disponibles depuis les dernières années, nous avons pu présenter quelques idées nouvelles, inimaginables à l'époque où nous avons conçu (en 1972 !) un premier projet de canalisation du fleuve entre Kinshasa et Boma.

En se référant à la Figure 9, on peut, à présent, proposer les ouvrages suivants :

- un barrage à la sortie des cataractes, un peu en amont de Pioka (en zone mitoyenne avec la République Populaire du Congo). Cet ouvrage devrait assurer un niveau constant au Pool Malebo jusque Maluku ;
- une échelle d'écluses permettant le franchissement de la chute de Pioka ;
- une écluse de garde à Inga à l'entrée du canal du Kongo ;
- un canal de niveau constant traversant le massif du Mayumbe au moyen de deux tunnels successifs de 11 et 16 km de long ;
- une suite de deux ascenseurs de 100 m de chute permettant de descendre au niveau du bief maritime un peu à l'aval de Matadi.

Si on estime le coût des deux ascenseurs à 3 GUSD et le creusement des tunnels à 3 GUSD, soit les postes les plus importants, l'ensemble des travaux liés à la canalisation ne devrait pas dépasser, outre mesure, les 10 milliards de dollars. Ce montant paraît raisonnable pour permettre un trafic potentiel de 32 Mt/a.

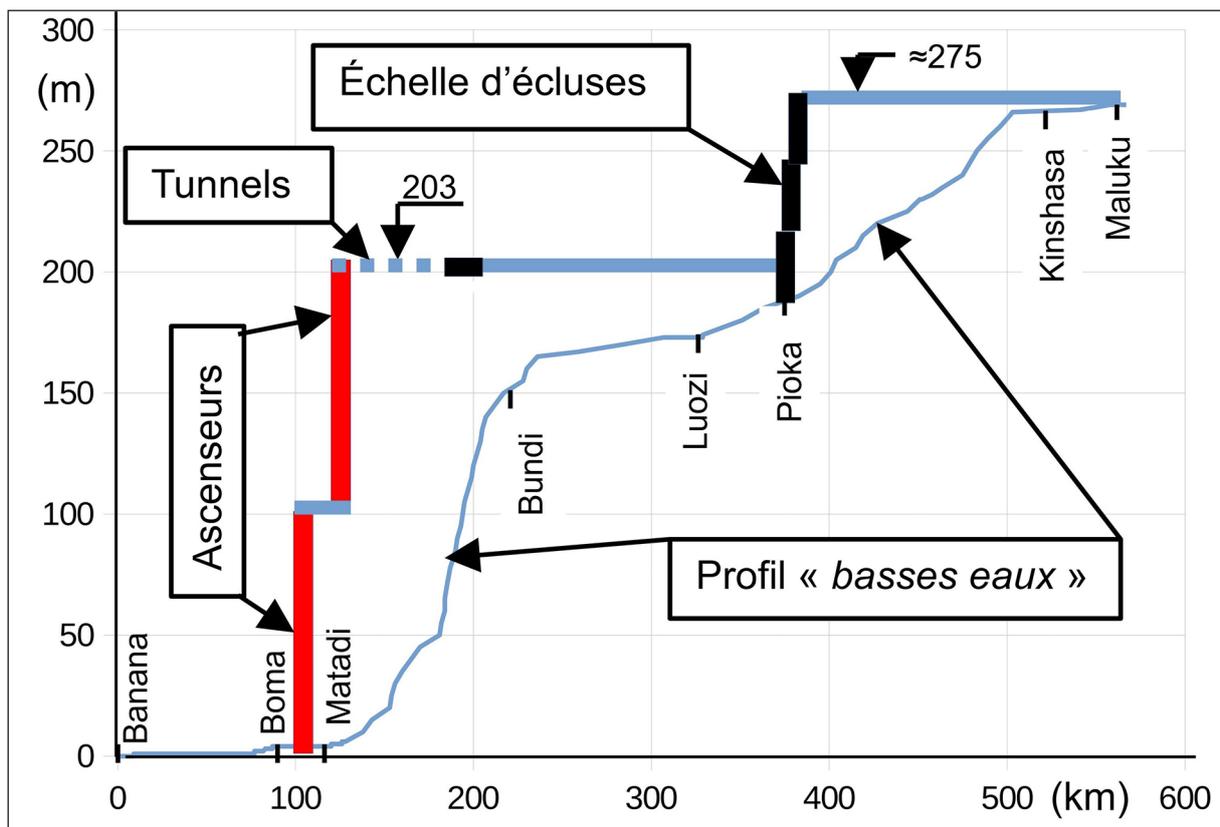


Figure 9. Schéma de l'aménagement du fleuve

Cela dit, les études indispensables à l'établissement d'un avant-projet, à savoir les levés topographiques, bathymétriques et géotechniques, ainsi que les essais d'optimisation en bassin de carènes, devraient prendre une dizaine d'années. Quant à la durée du chantier, elle pourrait s'étaler sur une quinzaine d'années. Les défis sont, certes, importants, mais à la mesure de notre époque. L'enjeu, lui, est colossal. Grâce à l'usage des conteneurs, la notion de rupture de charge peut être remplacée par celle de transbordement, beaucoup moins coûteuse et plus sûre, d'où le succès des ports multimodaux.

Les pôles de Maluku (rive gauche en RDC) et Maloukou (rive droite en République populaire du Congo) deviendront ainsi les points de correspondance de liaisons ferroviaires vers Pointe-Noire, Matadi et Ilebo et de liaisons fluviales vers Banana, Matadi, Bangui, Kisangani et Ilebo (Figure 10). Quant à la liaison « Kinoc », elle permet d'envisager des transports fluviaux directs depuis la côte Atlantique jusqu'à Maluku, puis Kisangani, Ilebo et Bangui, principaux terminus actuels de la navigation dite de première catégorie. De quoi satisfaire, avec le minimum d'impact environnemental, les besoins d'une

population qui compte désormais plus de cent millions d'habitants.

BIBLIOGRAPHIE

- Akkerman, J., Runte, T. & Krebs, D. (2009). Ship lift at Three Gorges Dam, China - Design of Steel Structures. June 2009. *Steel Construction*, 2(2), 61-71. DOI : [10.1002/stco.200910009](https://doi.org/10.1002/stco.200910009)
- L'Antenne (2021). Consulté le 2021-04-29 sur : https://www.lantenne.com/Les-navires-fluvio-maritimes_a14407.html
- Arnould, R. (2005). La canalisation du fleuve Congo à l'aval de Kinshasa : un défi pour le xxie siècle. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 46(2), 99-117. Consulté le 2021-04-07 sur : <https://popups.uliege.be/0770-7576/index.php?id=2014>
- Bashi, J. (2017). *Étude sur le transport routier sur l'axe Kinshasa-Matadi- Rapport final*. Elan RDC, Kinshasa, 35 p. Consulté le 2021-04-06 sur : <https://static1.squarespace.com/static/5bc4882465019f632b2f8653/t/5c0a9340c2241b2e1f4f8ad2/1544196946877/Rapport+Final+-+%C3%89tude+%C3%89LAN+sur+le+Transport+Routier+Kinshasa+-+Matadi.pdf>
- Belzner, F., Schulze, L. & Thorenz, C. (2019). *Untersuchungen zum hydraulischen Konzept der geplanten Schleuse in Lüneburg am Elbe-Seitenkanal*. Dresdner Wasserbauliche



Figure 10. Zone d'influence de Maluku

- Mitteilungen 62. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 121-130. Consulté le 2021-02-14 sur : <https://henry.baw.de/handle/20.500.11970/106303>
- CICOS. Consulté le 2021-06-10 sur : <https://www.cicos.int/navigation-interieure/voies-navigables/>
- Construction Information about the Sideling Hill Road Cut (1985). Consulté le 2021-01-20 sur : http://www.mgs.md.gov/reports/FS_17.pdf
- Construction of the new Niederfinow ship's hoist, electrical engineering (2020). Consulté le 2021-04-07 sur : <https://www.drivecon.de/en/references/niederfinow>
- COP21. Consulté le 2021-06-10 sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Conf%C3%A9rence_de_Paris_de_2015_sur_les_changements_climatiques
- Coupe Gaillard (Culebra). Consulté le 2020-12-025 sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Coupe_Gaillard
- Dehousse, N.M., Arnould, R., Sahloul, M., Rigo, Ph., Dakdouki, E. & Lambrecht, J. (1989). Very high Rise Navigation Locks - Feasibility Study of a 113 m Rise Lock for the three Gorges Site on the Yangtze River (China). *A.I.P.C.N. Bulletin*, 67, 41-44.
- Étude d'avant-projet détaillé du pont-route-rail entre les villes de Kinshasa et Brazzaville - Rapport de synthèse, Egis international *et al.*, 2016, 76 p. Consulté le 2021-04-06 sur : https://aid.nepad.org/m_assets/uploads/document/1505657722218465784.pdf
- Étude de faisabilité du prolongement du chemin de fer Kinshasa Ilebo (2016). Groupement Louis Berger, SNCF International, CIRA., 69 p. Consulté le 2020-11-16 sur : https://aid.nepad.org/m_assets/uploads/document/1505672148812482375.pdf
- Faes B., Laurent, J. & Mampaey, G. (2002). *L'ascenseur à bateaux de Strépy-Thieu*. Service Public de Wallonie, Namur. 264 p.
- Grand-Inga.org. Consulté le 2021-04-15 sur : http://grand-inga.org/site%20fr.htm#x1_SITES:32HIDRAULICOS
- Hydroweb. Consulté le 2021-03-31 sur <http://hydroweb.theia-land.fr/>
- ITB-info. Consulté le 2021-04-15 sur : https://www.itb-info.be/fr/gp_types-de-bateaux-en-navigation-interieure_18.aspx
- Kisudi, F., Mwabala, T. & Sbeih, S. (2018). *Présentation du secteur du transport fluvial aux institutions financières*. Adam Smith International, Kinshasa, 30 p. Consulté le 2021-04-05 sur : <https://static1.squarespace.com/static/5bc4882465019f632b2f8653/t5c0a9254f950b76d9df34d08/1544196748826/ntation+du+secteur+du+transport+fluvial+aux+IFs+Avril+2018.pdf>

- Liaison fluviale européenne Seine-Escaut (2006). Canal Seine-Nord Europe : Présentation du projet soumis à l'enquête publique. Voies Navigables de France, Béthune, décembre 2006, 156 p. Consulté le 2020-10-15 sur : <https://www.canal-seine-nord-europe.fr/Media/Documents/Dossier-enquete-publique-2007-pour-la-declaration-d-utilite-publique-du-canal-Seine-Nord-Europe>
- Ligne à voie normale de Mombasa à Nairobi (2017). Consulté le 2020-12-15 sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Ligne_%C3%A0_voie_normale_de_Mombasa_%C3%A0_Nairobi.
- 30-Meter SRTM Tile Downloader. Consulté le 2021-01-26 sur : <https://dwtkns.com/srtm30m/>
- Matadi Gateway Terminal, 2016. Consulté le 2021-04-10 sur : <https://www.mgt.cd/>
- Mugangu Bisimwa, D. & Crochet, J.C. (2014). *Étude sur l'amélioration des performances du transport fluvial et lacustre en RDC*. Banque Mondiale, bureau régional Afrique, Groupe transport. Kinshasa, 81 p. Consulté le 2021-03-14 sur : <https://docplayer.fr/42380377-Etude-sur-l-amelioration-des-performances-du-transport-fluvial-et-lacustre-en-rdc.html>
- Online geoid calculator. Consulté le 2021-03-30 sur : <https://geographiclib.sourceforge.io/cgi-bin/1?input=4d20%26%238242%3B59%26%238243%3BS+15d15%26%238242%3B40%26%238243%3BE&option=Submit>.
- Pommier, M. & Selmi, M. (1981). Optimisation de la section d'un canal de navigation. Études par modèles mathématiques et physiques. *La houille blanche*, 2-3, 129-134.
- Port de Paris - rapport d'activité (2019). Consulté le 2021-04-07 sur : <https://www.haropaports.com/fr/publications/rapport-dactivite-2019>
- Proposal for the Expansion of the Panama Canal - Third Set of Locks Project. Panama Canal Authority, April 24, 2006, 70 p. Consulté le 2021-04-07 sur : <https://ufdc.ufl.edu/AA00010750/00001>
- Rousselin, A. (2014). *Grand Inga (aménagement hydroélectrique en RDC) - Optimisation du projet d'ensemble de 42 000 MW par la mise en œuvre de solutions innovantes et d'un phasage adapté (EDF-CIH)*. Comité français des barrages et réservoirs. Symposium 2014. Grenoble.
- Stad ship Tunnel. Consulté le 2021-06-05 sur : <https://www.kystverket.no/en/About-Kystverket/Stad-Ship-Tunnel-project/>
- Tensen, S. (2005). *Révision du tiers méridional du réseau géodésique de la RDC*, Bureau GM sprl. Kinshasa, 165 p. + 35 fiches techniques.
- Three Gorges Dam (2016). Consulté le 2021-02-15 sur : https://en.wikipedia.org/wiki/Three_Gorges_Dam#Ship_lift
- Wolf (2021). Consulté le 2021-04-15 sur : https://www.uee.uliege.be/cms/c_3706252/fr/uee-wolf

Coordonnées de l'auteur :

Robert ARNOULD
 ULiège - Faculté des Sciences
 Relations académiques et scientifiques
r.arnould@uliege.be