

LA CANALISATION DU FLEUVE CONGO À L'AVAL DE KINSHASA : UN DÉFI POUR LE XXI^e SIÈCLE

Robert ARNOULD

Résumé

La construction d'un grand barrage sur le fleuve Congo à Inga permettrait de rendre le fleuve navigable pour des convois fluviaux d'au moins 6 000 tonnes entre l'Océan Atlantique et Kinshasa. En se basant sur une série d'études effectuées à l'Université de Liège depuis 1972, nous avons démontré la faisabilité d'un canal de navigation à grand gabarit dans le Bas Congo, ainsi que d'un barrage en pierres lancées entre Inga et Kinshasa, lequel devrait ajouter une puissance turbinable d'au moins 15 000 MW aux 39 000 MW possibles à Inga.

Mots-clés

Génie fluvial, Congo, Inga, navigation fluviale, barrage

Abstract

The erection of a large dam across the River Congo at Inga should allow navigation of 6 000 t convoys between Atlantic Ocean and Kinshasa. Thanks to many studies carried out at the University of Liege since 1972, we set up the feasibility of a navigation canal in the Lower Congo, as well as building a rubble dam between Inga and Kinshasa. That dam should add a 15 GW power to the announced 39 GW at Inga.

Keywords

River engineering, Congo, Inga, inland navigation, dam

INTRODUCTION

La demande énergétique mondiale ne cesse de croître dans un contexte marqué par la limitation de l'offre pétrolière et l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto. Dès lors l'exploitation maximale des ressources hydro-électriques encore disponibles devient de plus en plus indispensable. Dès 1971, nous avons pu, Nicolas-Maurice Dehousse et moi-même, à l'instar de Pierre Van Deuren (Van Deuren, 1928), non seulement apprécier le caractère très particulier du site d'Inga en RDC, mais également les potentialités qu'offrait son aménagement vis-à-vis d'une navigation fluviale dans tout le bassin du Congo.

En effet, suivant l'exemple des aménagements multifonctionnels de quelques grands cours d'eau tels que le Rhône, le Tennessee et le Yang-Tze-Kiang, l'aménagement du Bas-Congo doit être pensé, non seulement en fonction de la production d'énergie hydro-électrique, mais aussi en fonction d'une possible navigation fluviale à grand gabarit entre Kinshasa et l'Océan Atlantique.

C'est l'analyse des divers éléments techniques proposés, en tenant compte des circonstances particulières en

matière de topographie, hydrographie et conditions de transport fluvial, que nous présentons ci-après. Les paragraphes I à III font de larges emprunts à des écrits de Devroey et Lederer. Ils ont leur place dans ce document afin de permettre une compréhension aisée du contexte local aux lecteurs non avertis.

I. LE FLEUVE

A. Généralités

Le réseau navigable, que forment le fleuve Congo et ses affluents, constitue une composante vitale des transports du pays ; et son économie dépend largement de cette importante voie d'eau (fig. 1).

Le relief du bassin congolais est constitué d'une vaste cuvette plane et faiblement déprimée (altitude moyenne : 450 m). Cette cuvette est limitée :

- à l'Ouest, par les Monts de Cristal, altitude 700 m, parallèles à l'Océan Atlantique ;
- au Sud, par le plateau de Loanda et du Benguela, altitude ~ 1 000 m ;
- au Sud-Est, par les Monts et Plateaux du Katanga, alti-

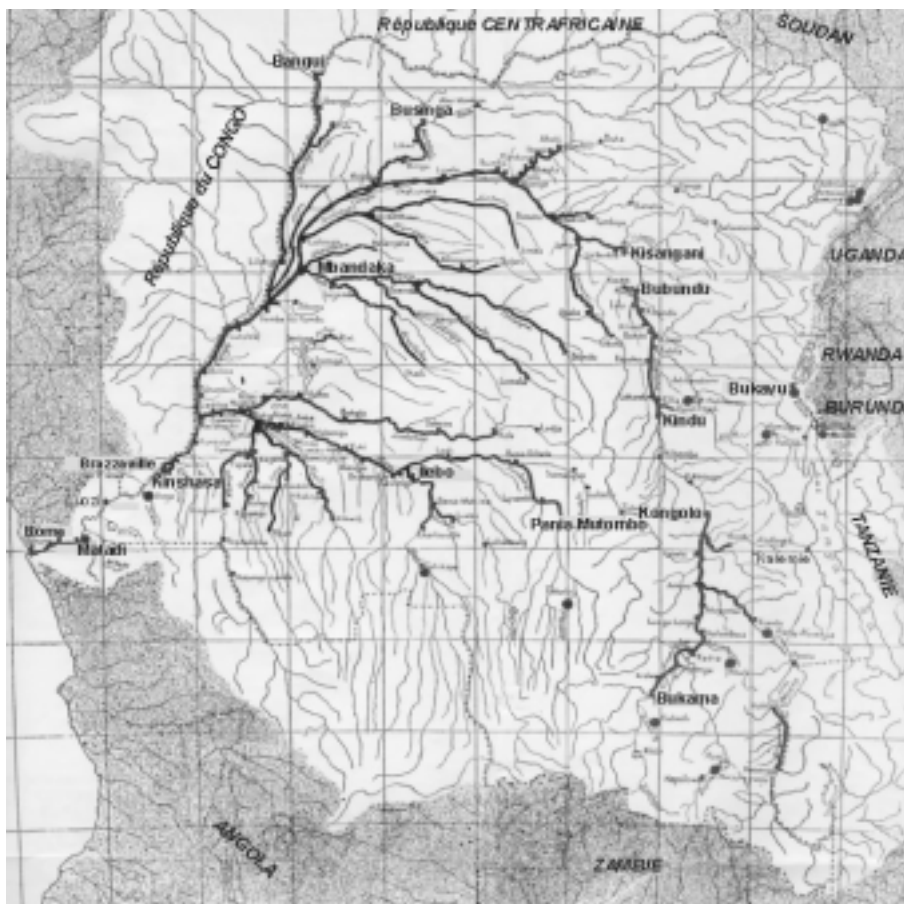


Figure 1. Grandes voies navigables du Congo (d'après Devroey)

tude ~ 1 600 m formant crête de partage entre les bassins du Congo et du Zambèze ;

- à l'Est, par la chaîne de l'Ugoma, les montagnes bleues (2 000 m à 2 500 m) et la chaîne volcanique des Virunga (3 000 à 4 500 m) ;

- au Nord-Est, par la crête de partage Congo-Nil ;

- au Nord, par la crête séparant les bassins du Congo et du Tchad.

Le bassin hydrographique s'étend sur près de 3 700 000 km², de part et d'autre de l'Équateur, ce qui lui assure, d'une part, un important débit moyen, le deuxième au monde en importance (tabl. 1) et, d'autre part, une constance de débit unique au monde (tabl. 2) (Lederer, 1959). Le phénomène de crue subite est pratiquement inconnu, aussi bien sur le fleuve que sur ses affluents principaux. On obtient ainsi des conditions de navigation favorables sur des cours d'eau à courant libre, donc sans aménagement particulier ou coûteux.

Examinons, maintenant de plus près, les caractéristiques du fleuve en le remontant à partir de l'embouchure, et en s'attardant plus spécialement sur la zone des cataractes entre Matadi et Kinshasa.

B. Le bief maritime

Les 148 km que parcourent les grands navires de mer dans le bief maritime du fleuve Congo, comprennent trois tronçons possédant leur physionomie particulière.

Le premier tronçon s'étend de Banana à la pointe Écossaise, il s'agit d'une zone de grand fond et de criques.

De la pointe Écossaise à l'île des Princes, on arrive dans une zone d'épanouissement, atteignant jusqu'à 19 km de largeur en aval de Fetish Rock.

La troisième section, s'étendant de l'île aux Princes à Matadi, constitue une zone resserrée. Les coudes brusques du lit occasionnent des remous et des tourbillons violents. Le principal obstacle se présente à l'endroit dit « Le Chaudron d'Enfer » ou « du Diable ». On enregistre dans ce passage mouvementé, situé à 3 km en aval de Matadi, des vitesses superficielles en basses eaux de 8 à 9 km/h ; aux hautes eaux de 1924, la vitesse aurait même atteint 18 km/h (5 m/s) (Devroey, 1941).

À partir de Matadi, grand port de mer du Congo, on en-

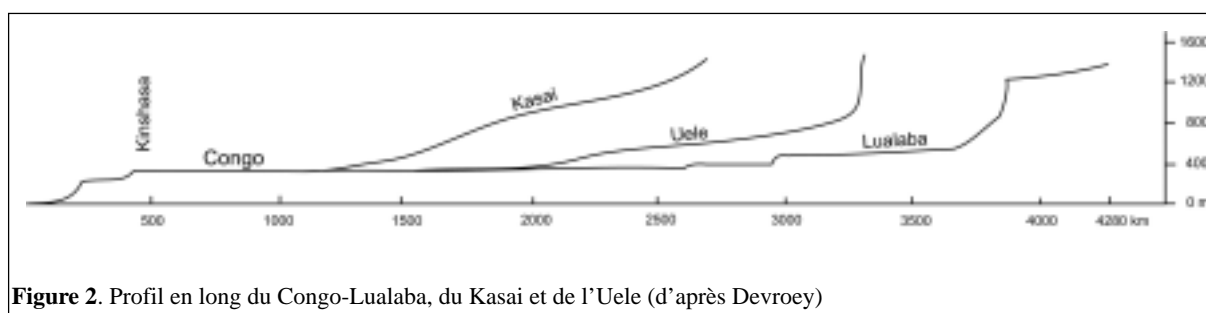


Figure 2. Profil en long du Congo-Lualaba, du Kasai et de l'Uele (d'après Devroey)

Tableau 1. Fleuves remarquables dans le monde

	Débit moyen m ³ /s	Longueur km
Amazone	100 000	6 280
Congo	42 000	4 200
Parana-Plata	25 000	4 700
Brahmapoutre	25 000	2 900
Yang Tse Kiang	22 000	5 100
Mississippi	19 000	6 400

Tableau 2. Rapports de débits crue-étiage

Fleuve	Localité	Débit minimal m ³ /s	Débit maximal m ³ /s	Rapport
Mississippi	Arkansas	2 400	65 000	27,0
Rhin	Düsseldorf	610	11 200	18,0
Rhône	Lyon	150	4 500	30,0
Meuse	Liège	25	3 000	120,0
Congo	Kinshasa	27 000	65 000	2,5

tre dans une zone de cataractes qui stoppent actuellement toute activité fluviale jusqu'à Kinshasa. Cette partie du fleuve, impropre pour l'instant à toute navigation, est court-circuitée par un chemin de fer à voie métrique de 365 km de longueur.

C. Région des cataractes

Les principales caractéristiques des rapides et chutes que l'on rencontre dans cette zone sont données ci-après.

1. Cataractes sud

Sur quelque 80 km, on dénombre une vingtaine de chutes et rapides parmi lesquels on peut citer : les rapides de Kasi, Yelala, Kanza, Inga, Shongo, Fwamalo, Sikila, Goma, dont les pentes atteignent jusqu'à 8,5 m/km, ainsi que la cataracte d'Isangila, dont la pente est de l'ordre de 10 m/km.

2. Bief central navigable

Sur ce tronçon s'étendant sur 131 km, la navigation est possible mais difficile, car on y dénombre encore une douzaine de rapides.

3. Cataractes Nord

Sur 130 km, on dénombre une trentaine de chutes et rapides, parmi lesquels : la chute de Tombo-Mataka ou de Gombi, les chutes de Belo, les chutes de Zinga, les rapides de Moua, les chutes de Seto ou de Zabi, les rapides d'Inkisi, les rapides de Lady-Alice, les chutes de Kalulu, les rapides de Kintamo.

D. Le Congo et ses affluents en amont de Kinshasa

En amont de Kinshasa, à partir du Pool Malebo, un immense réseau navigable sans aucun obstacle se présente (fig. 1 et 2).

Dans ce vaste bassin hydrographique, les rivières ont été classées en fonction de leur mouillage minimal (tabl. 3).

En ligne directe, le fleuve Congo est navigable jusqu'à Kisangani, soit sur plus de 1 740 km. En amont de Kisangani, le fleuve change de nom et devient le Lualaba. À cet endroit, la navigation fluviale est interrompue par des rapides entre Kisangani et Bubundu. Un chemin de fer y assure la liaison entre les deux biefs. Cette zone non navigable s'étend sur 150 km. Il faut noter cependant que ces rapides pourraient être rendus navigables sans travaux excessifs (Cuyper, 1991). Ceci aurait l'avantage de prolonger le trajet en ligne di-

Tableau 3. Caractéristiques des voies navigables

Catégorie de la voie	Mouillage minimal m		Accessibilité
	H.E.	B.E.	
I	2,0	1,3	Barges ≥ 800 t
II	1,5	1,0	Barges de 150 et 350 t*
III	1,2	0,8	Délivrances et barges de 40 t
IV	-	0,6	Baleinières

* : 500 t si grandes courbes

Tableau 4. Longueurs des voies navigables en RDC (d'après Devroey)

Réseau local	Longueur (km)
Fleuve Congo de Kinshasa à Kisangani	1 740
Rivière Kasai de l'embouchure à Ilebo	605
Affluents Congo, région Nord	1 750
Affluents Congo, région centrale	4 800
Affluents Kasai, région centrale	1 950
Affluents Kasai, région Sud	2 100
Total	12 945

recte de 475 km, et cela sans aucune interruption jusqu'à Kindu, le bief de Budundu à Kindu étant navigable sur une longueur de 325 km (fig. 1).

À partir de Kindu, le fleuve est actuellement impraticable jusqu'à sa source, située à une altitude de 1 420 m près de Mufosi au Katanga.

Le principal affluent du fleuve est le Kasai, voie d'eau de 1^{re} catégorie, navigable en ligne directe depuis Kinshasa jusqu'à Ilebo via Kwamouth.

Au total, le réseau navigable dépasse les 12 000 km (tabl. 4).

II. LA NAVIGATION

A. Les trafics

La navigation fluviale se caractérise par une sous-utilisation manifeste des capacités du réseau, ainsi que par une variation des mouillages en fonction des débits du fleuve et de ses principaux affluents. Les ruptures de charge imposées par l'impossibilité de naviguer à l'aval de Kinshasa grèvent les coûts et rendent le transport moins attractif. C'est ainsi que, durant les 40 dernières années, le tonnage annuel total relatif au port de Kinshasa n'a jamais dépassé les 120 000 tonnes.

En ce qui concerne les ports maritimes, on relèvera des valeurs proches de 1 000 000 t/an au port de Matadi, 50 000 t/an à Boma et 40 000 t/an à Banana.

Quant au chemin de fer, le tonnage total du réseau national peut varier, selon les circonstances, de 300 000 à 1 300 000 t/an.

B. Le matériel

Le réseau fluvial congolais a été le premier au monde à connaître la navigation en poussée.

La capacité des barges n'a cessé d'augmenter. D'abord limitée à 25 ou 40 t, elle passe très rapidement à 250 puis 300 t pour arriver ensuite à 800 t, et actuellement à 1 050, voire 1 200 tonnes.

Les convois en poussée peuvent atteindre 6 000 tonnes à la descente et 4 000 tonnes à la montée sur le fleuve et respectivement 4 000 et 2 000 tonnes sur le Kasai.

Le fleuve Congo est une voie fluviale à courant libre. Le matériel est donc adapté en fonction des tirants d'eau disponibles. En ligne directe, le tirant d'eau admis est de 1,20 m en basses eaux, mais sur les affluents secondaires, celui-ci peut descendre jusqu'à 0,50 m.

Sur ces lignes, le remorquage en poussée a remplacé la traction en flèche. Ce type de remorquage a reçu une amélioration sensible par l'adoption du système « Integrated-Tow-boat » (ITB) en 1953. Un automoteur portant des passagers pousse plusieurs barges conçues pour être complètement juxtaposables. Les barges intermédiaires et antérieures contiennent les marchandises. Chaque barge est d'un type standard, sans équipement, ni grément ; elle ne doit pas, par conséquent, être gouvernée indépendamment et ne nécessite donc aucune main-d'oeuvre. Ce système permet d'abandonner très rapidement les barges chargées de marchandises et de repartir avec les vides laissées par un pousseur précédent.

Les lignes directes sont aussi desservies toute l'année par de grands convois poussés, composés de barges d'une capacité de 350 à 1 200 tonnes.

Les grandes caractéristiques de ce matériel fluvial sont sa solidité et sa légèreté. De plus, vu les sujétions de tirant d'eau, les barges sont relativement larges. En ce qui concerne le courant, la vitesse moyenne est de 3 à 4 km/h, mais pouvant atteindre, voire dépasser, en certains endroits, 10 km/h. Les grandes distances à parcourir sans moyens d'entretien ou de réparation constituent une des difficultés de l'exploitation de la voie d'eau.

En général, on peut dire que les affluents sont desservis par une flotte de courriers, de pousseurs, de remorqueurs, et de barges, dont les dimensions sont adaptées aux caractéristiques des rivières (tabl. 5).

III. LE SITE D'INGA

A. Description du site

Le site d'Inga se trouve dans le Bas-Congo, en aval de Kinshasa et en amont du port de Matadi (fig. 3), deux points distants de 350 km environ et présentant une dé-

Tableau 5. Dimensions de convois poussés

Type de matériel actuel et possible	Nombre de barges	Longueur du convoi m	Largeur m	Enfoncement m	Capacité
ITB - Fleuve	4	241	15	1,50	3 100
ITB - Kasai	4	273	15	1,25 2,50	2 600 3 400
Barges P1000	6	195*	23	1,85	6 000
Barges V	5	228*	23	2,00	6 000
Lash	16	150*	19	2,60	6 080
Seabee	10	149*	21,3	2,50	6 500

* : sans pousseur

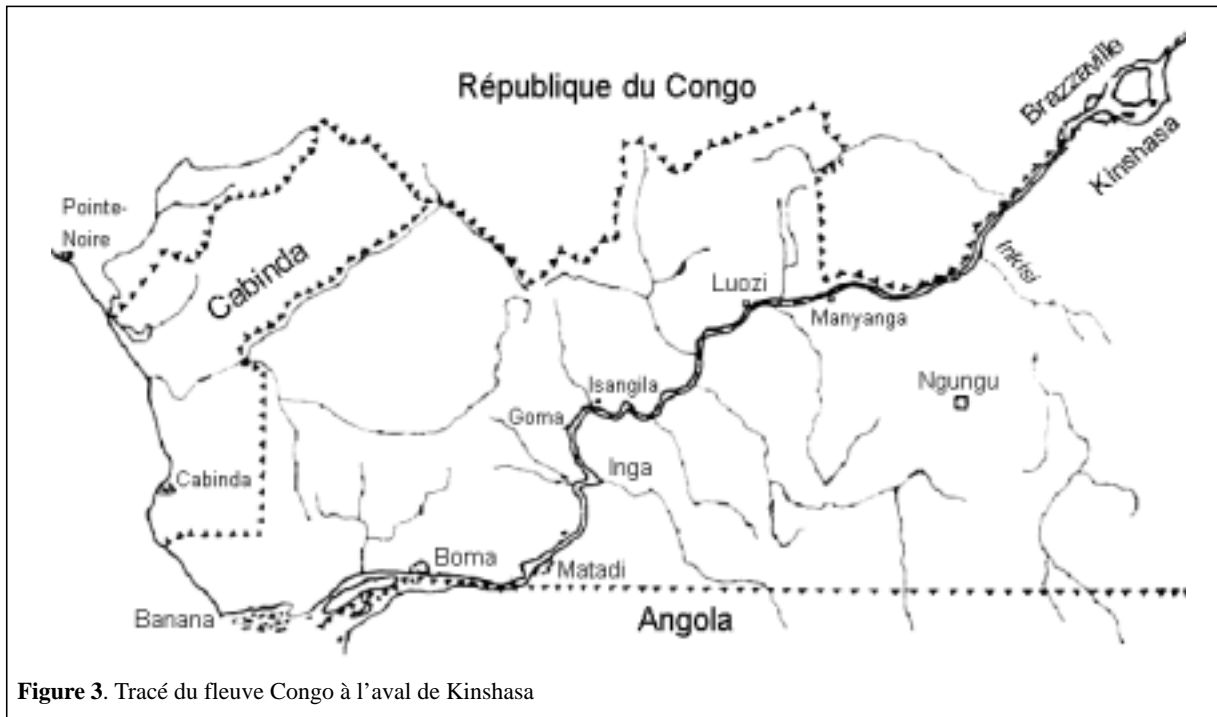


Figure 3. Tracé du fleuve Congo à l'aval de Kinshasa

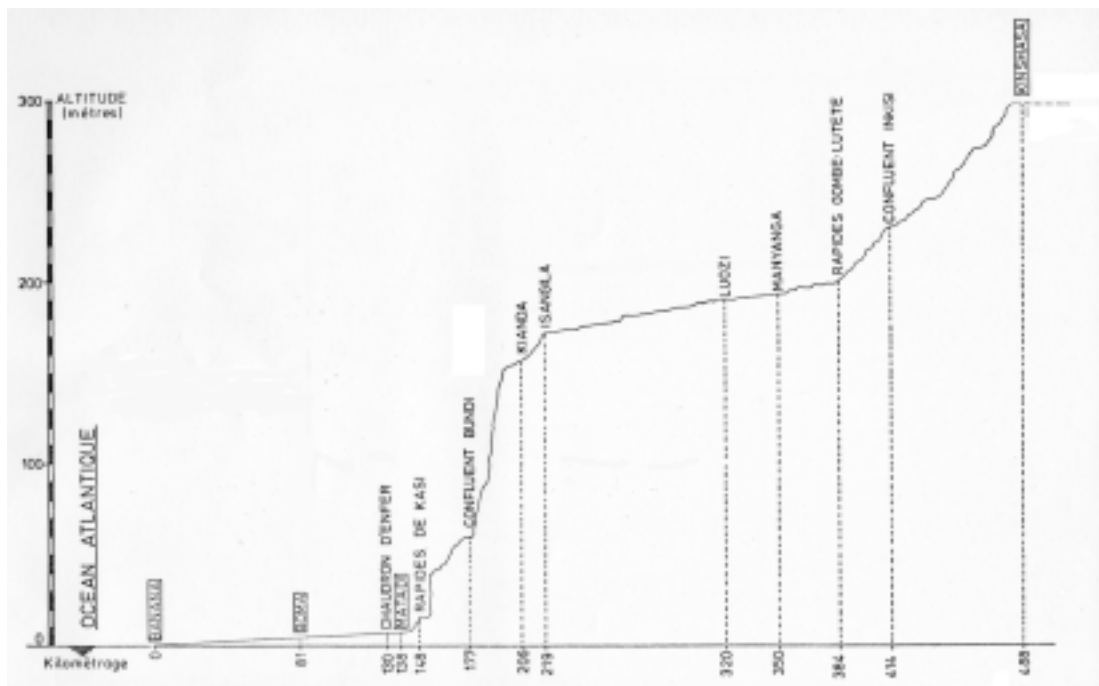


Figure 4. Profil en long du tronçon Kinshasa- Océan

nivelée totale de 270 mètres (fig. 4). Inga se situe dans la zone Isangila-Matadi, comprenant les rapides les plus importants du bief. Cette zone a une dénivellée de 170 m environ pour une longueur de 85 km. Sur ce parcours, le fleuve décrit sensiblement l'hypoténuse (environ 20 km) puis le petit côté (10 km) d'un triangle rectangle. Dès la sortie des rapides de Goma, il s'infléchit pour prendre une direction Nord-Nord-Ouest à Sud-Sud-Est, qu'il suit presque en ligne

droite jusqu'à l'embouchure de la Lufu située sur la rive gauche.

Le fleuve s'infléchit après un trajet sinueux à l'embouchure de la rivière Bundi sur la rive droite.

La dénivellation entre l'amont et l'aval des rapides, soit sur 26 km de distance, varie peu selon l'état du fleuve :
- de 100 m aux très basses eaux ;

- de 96 m aux très hautes eaux.

Le bassin versant à Inga est d'environ 3 800 000 km², à peu près également réparti de part et d'autre de l'Équateur. Il en résulte un régime fluvial particulièrement uniforme et régulier.

La partie amont de ce cours comprend deux parties distinctes :

- une zone amont où les eaux sont concentrées en un seul lit, celui-ci se resserrant lors de la traversée des gorges de Sikila (environ 300 m de largeur). La pente est sensiblement constante à cet endroit et vaut presque 0,5 m/km en eaux basses et moyennes (fig. 5) ;

- une zone aval encombrée d'îles et de rapides, où le fleuve atteint une largeur moyenne de plus ou moins 2 km. Le chenal principal y colle pratiquement à la rive gauche. Dans cette zone, la dénivellée est de 50 mètres, soit plus de 3 m/km.

Dans la partie aval Est-Ouest, le fleuve traverse les rapides de Shongo, dominés de part et d'autre par des falaises de 150 à 200 m de hauteur. Dans le prolongement de ce rapide, viennent successivement les rapides d'Inga et de Kanza.

Parallèlement à la grande branche rectiligne du fleuve, nous trouvons deux systèmes de vallées :

- à l'amont, la grande vallée et la vallée de Sikila, dont la dernière débite en hautes eaux ;
- à l'aval, la vallée N'Kokolo, s'étendant de Fwamalo à Shongo.

C'est dans cette vallée que les travaux des phases Inga-1 et Inga-2 ont été réalisés (fig. 5).

Vient ensuite, dans l'axe Sikila-Embouchure de la Bundi, la vallée d'un tributaire de la Bundi, la Makongo, et enfin avant l'embouchure de la Bundi, sur 1 km environ, une partie resserrée entre le dernier escarpement Ouest du plateau d'Inga et la ligne des hauteurs séparant la Bundi de la Rivière M'Vunzi.

B. L'intérêt du site d'Inga

Toute une série de caractéristiques ont mis Inga à l'avant-plan des sites à possibilités énergétiques gigantesques, tels les Trois Gorges en Chine et Itaipu en Amérique du Sud.

Les principaux points d'intérêt d'Inga sont les suivants.

1. Sur le plan géographique

a. La proximité de l'Océan : Inga n'est qu'à 150 km de l'embouchure du Congo dans l'océan Atlantique et à moins de 50 km de Matadi actuellement port principal de la RDC (cf fig. 3).

b. La proximité de Kinshasa : Inga se trouve à quelque 300 km de Kinshasa, la capitale, qui avec ses 2 millions d'habitants constitue un intéressant réservoir de main-d'oeuvre, indispensable à tout projet d'industrialisation.

c. Les rives du Congo, de Matadi à l'Océan Atlantique, se prêtent à l'installation d'industries « bord à quai ».

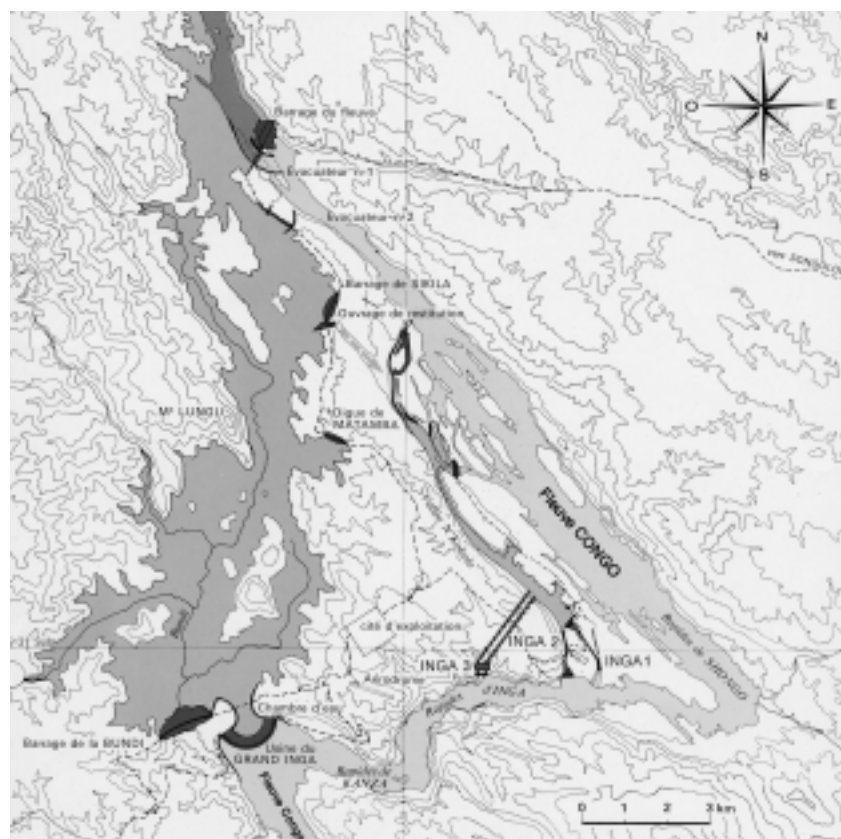


Figure 5. Site d'Inga et aménagements projetés (Francou, 1977)

Cet avantage rend économique le transport de minerais, de matières premières et même de produits finis, tant à l'importation qu'à l'exportation.

2. Sur le plan de l'équipement hydro-électrique

a. L'énergie y est abondante : 39 GW pouvant livrer 300 TWh/an, cela dès l'achèvement du « Grand Inga » nécessitant la construction d'un barrage coupant le fleuve en amont de Sikila (fig. 5).

b. Elle est disponible d'une manière quasi-constante : le débit du fleuve varie très peu, de quelque 25 000 à 75 000 m³/s.

c. L'équipement du site, ainsi que les investissements, peuvent se faire progressivement.

d. Les ouvrages de génie civil y sont relativement modestes : en effet pour retirer une production annuelle de 1 million de kWh on ne devrait mobiliser que 52 m³ de béton (ou équivalent) alors que sur les meilleurs sites mondiaux on atteint 250 à 1 000 m³.

e. Il en résulte un coût d'investissement très bas, de 340 à 700 USD/kW selon le stade d'équipement (tableau 6).

f. Le prix de revient de l'électricité produite serait inférieur à 0,015 USD/kWh (tableau 7).

Tableau 6. Coût d'investissement des centrales électriques (Hütz-Adams, 2004)

Type de centrale	Coût d'investissement USD/kw
Hydro-électrique	> 500
Gaz	> 500
Charbon	> 750
Grand Inga	< 340-670 >

Tableau 7. Coût de production des centrales électriques (Hütz-Adams, 2004)

Mode de production d'électricité	Puissance Installée MW	Coûts de production cUSD/kWh
Fioul	50-600	5-6
Charbon	50-600	3-5
Groupe électrogène Diesel	0,1-45	7-12
Gaz	50-600	3,8-4,7
Énergie éolienne	0,1-5	4-10
Réacteur à eau légère	600-1400	2-5
Mini-centrale hydraulique	0,001-0,1	3-10
Petite centrale hydraulique	0,1-10	1,5-7
Centrale au fil de l'eau	0,1-1000	1-10
Grande centrale hydraulique	0,1-18 000	1-10
Grand Inga	40 000	1,08-1,44

IV. LE CANAL DU BAS-CONGO

A. Préliminaires

Le paragraphe précédent a mis en évidence l'importance de l'aménagement hydro-électrique du site d'Inga.

Tout projet de canalisation du Congo dans les cataractes doit donc impérativement tenir compte de l'infrastructure

à créer à cet endroit.

Les premiers travaux ont débuté en suivant un projet datant de 1960. Actuellement, les deux premières phases sont achevées. Les prochaines étapes devraient être réalisées suivant une proposition EDF qui date de 1971 (Francou, 1977). C'est ce schéma d'équipement (pas tellement différent de celui présenté par Van Deuren en 1928) que nous adoptons comme hypothèse de départ en supposant que la voie fluviale sera construite en simultanéité avec le dernier stade de la construction relatif au barrage de la Bundi (fig. 5).

Ceci conduit aux hypothèses suivantes :

a. La cote de retenue du bief d'Inga est 205,00 m. Nous considérons que cette retenue restera fixe, car il est licite d'admettre que les évacuateurs de crue ainsi que les vannes de réglage dont sera équipé le barrage sur le fleuve permettront de maintenir le niveau pratiquement constant quel que soit le débit.

b. La majeure partie des données relatives à Inga étant fournie par les documents du bureau d'études Sydelco, on travaille sur base des chiffres émis par celui-ci. On notera au passage les différences d'altitude du zéro conventionnel à l'échelle limnographique de Bundi entre le nivellement Sydelco (55 m) et le nivellement IGC effectué en 1958 dans le Bas-Congo (38,71 m).

B. Choix du type d'aménagement

L'aménagement de ce tronçon du fleuve doit permettre l'accès à la navigation de la cote 2 à Boma à la cote 205 à Inga.

La solution la plus simple, à première vue, consiste à aménager le fleuve lui-même (Penta, 1978) :

- par exemple, l'établissement de plusieurs écluses rachetant une chute de plus de 150 m à proximité des barrages de la Bundi est techniquement réalisable (Dejaegere, 1973) ;

- cependant il reste à franchir la zone de Bundi-Matadi, où le fleuve présente de nombreuses sections resserrées avec des coudes brusques entre deux parois rocheuses pratiquement verticales ainsi que les rapides de Yelala et Kasi.

Étant donné qu'il faut tenir compte d'un débit maximal de 100 000 m³/s et de vitesses atteignant 3 à 5 m/s, il semble techniquement et économiquement difficile d'établir un barrage immédiatement en amont de Matadi destiné à noyer les rapides et provoquant un remous s'étendant jusqu'au pied des barrages de la Bundi (fig. 3 et 4).

En outre, il faut compter sur les difficultés supplémentaires causées par la nécessité qu'il y aurait d'élargir le défilé de Yelala en amont des rapides actuels, de rectifier le coude du « Chaudron d'Enfer » et d'entamer des discussions politiques avec l'Angola pour la rectification éventuelle des courbes comprises entre Ango-Ango et Boma.

Devant ces difficultés, nous nous sommes tournés vers

la solution d'un canal de dérivation entre Boma et Inga au travers du massif rocheux de la rive droite.

C. Examen des tracés du canal de dérivation

Trois tracés ont été envisagés :

1. Inga-Matadi ;
2. Inga-Boma centre ;
3. Inga-Boma amont.

Le tableau 8 reprend les caractéristiques principales des dérivations étudiées.

Le schéma des trois tracés est identique : on part de la cote 205 à proximité des futurs barrages sur la Bundi. À l'aide de deux ouvrages de haute chute on s'élève à la cote 300 fixée pour le bief de partage afin, d'une part, de limiter le nombre d'ouvrages et, d'autre part, de diminuer le volume des terrassements. Les cols sont franchis au moyen de tranchées profondes (type canal de Panama ou canal de Corinthe). Ensuite on rejoint le fleuve à l'aval par paliers successifs réalisés dans les affluents du Congo.

On a d'abord envisagé un tracé entre Inga et Matadi (tableau 8), car il est le plus court, il exige moins de terrassements et de travaux annexes. Malheureusement, il aboutit en face de Matadi perpendiculairement au fleuve dans une section relativement étroite où les vitesses sont très élevées : il serait impossible à des convois poussés si puissants fussent-ils, de s'engager dans le canal à cet endroit. De plus il serait nécessaire de rectifier sensiblement le coude du « Chaudron d'Enfer » pour y permettre le passage de la navigation intérieure.

Tous ces arguments nous font conclure au rejet de ce tracé.

Ensuite, on a envisagé un tracé qui, partant d'Inga, re-

joint le fleuve plus en aval à Boma. Ce tracé, plus long, ne nécessite cependant pas plus d'ouvrages de rachat de chute et permet d'éviter la zone du fleuve à courants violents depuis Inga jusqu'à Boma où l'accès au fleuve se fait aisément.

Enfin, une variante de ce tracé permet le raccordement au Congo un peu en amont de Boma en face de l'île des Princes (fig. 6).

Ce troisième tracé présente les avantages suivants sur le deuxième :

1. le trajet est plus court ;
2. la superficie du bassin versant du bief supérieur est plus grande, ce qui est important pour l'alimentation de ce bief ;
3. le volume global des terrassements est du même ordre de grandeur (fig. 7) ;
4. il exige moins d'ouvrages tels que barrages ou digues ;
5. il évite la traversée de Boma et les expropriations qui en résulteraient ;
6. l'accès au fleuve se fait dans une zone bien dégagée permettant un aménagement portuaire de transbordement dans les meilleures conditions.

Enfin, on notera que le tracé est compris intégralement dans le territoire de la RDC et permet aux convois d'intérieur de desservir les ports de Boma et de Banana, aussi bien que tout nouveau port en eau profonde à construire en rive droite.

D. Commentaires sur le canal de dérivation proposé

1. Nous avons retenu des ouvrages de rachat de 50 m de hauteur environ. En effet, il importe de concevoir

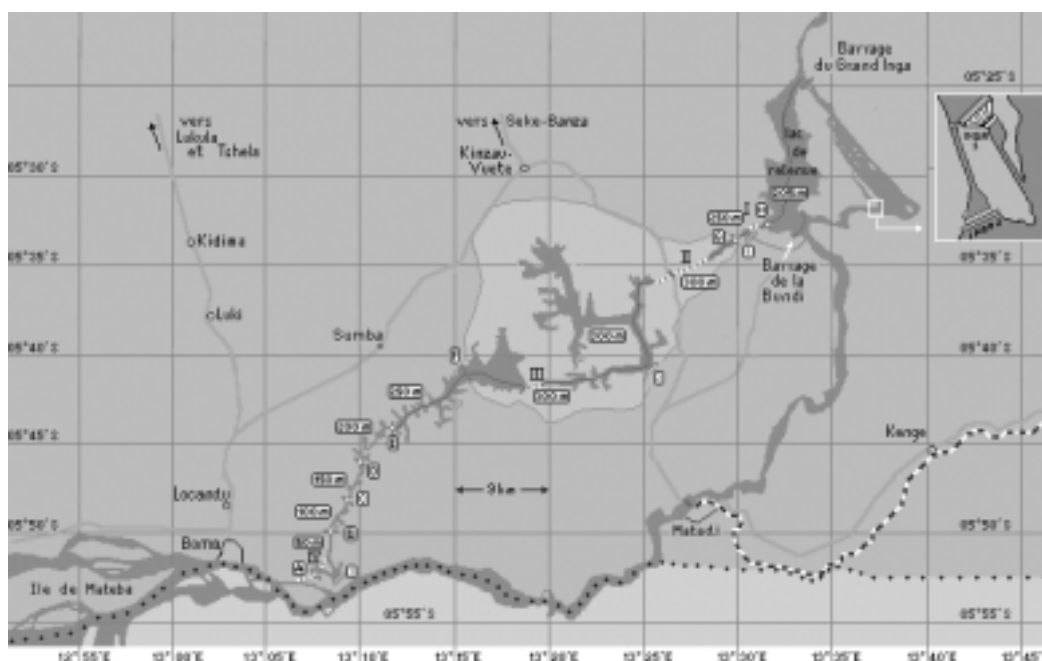


Figure 6. Tracé proposé pour le canal du Bas Congo

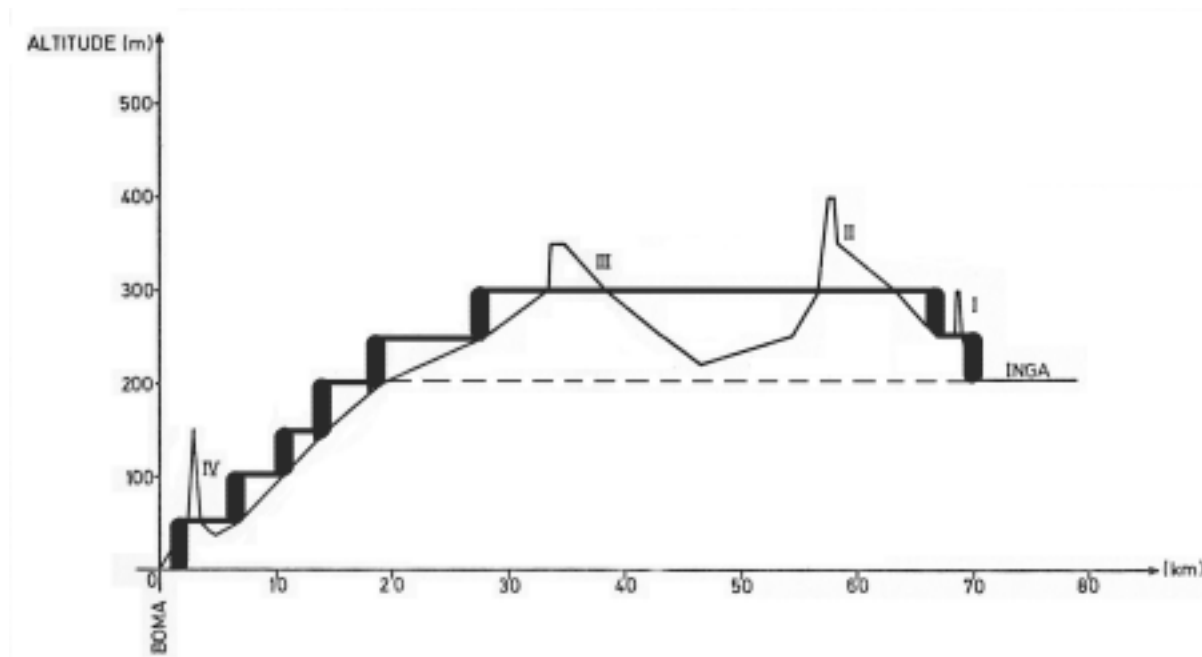


Figure 7. Profil en long du canal proposé

Tableau 8. Variantes du canal du Bas Congo

Mode de production d'électricité	Puissance Installée MW	Coûts de production cUSD/kWh
Fioul	50-600	5-6
Charbon	50-600	3-5
Groupe électrogène Diesel	0,1-45	7-12
Gaz	50-600	3,8-4,7
Énergie éolienne	0,1-5	4-10
Réacteur à eau légère	600-1400	2-5
Mini-centrale hydraulique	0,001-0,1	3-10
Petite centrale hydraulique	0,1-10	1,5-7
Centrale au fil de l'eau	0,1-1000	1-10
Grande centrale hydraulique	0,1-18 000	1-10
Grand Inga	40 000	1,08-1,44

une voie de navigation moderne où les temps morts sont réduits au minimum, ce que l'on obtient avec des ouvrages de haute chute. En outre, tenant compte de l'expérience acquise dans ce domaine, de la nature rocheuse du terrain et des travaux scientifiques entrepris à l'Université de Liège, il paraît raisonnable de concevoir des ouvrages d'une telle hauteur.

2. Le volume des terrassements indiqués au tableau 8 a été établi en se basant sur la carte Weber au 1/100 000 de la région Boma-Matadi-Inga. La largeur des tranchées a été supposée partout constante et égale à 100 mètres. Cela conduit à des chiffres de terrassement évalués confortablement, étant donné que vu la nature rocheuse du terrain traversé il sera certainement possible de réduire cette largeur en de nombreux tronçons. Seule une investigation géologique et géotechnique permettra de préciser les besoins en la matière.

E. Type d'ouvrage adopté

On se trouve ici devant le problème posé par :

1. le franchissement de très grandes chutes ;
2. la présence d'un bief de partage ;
3. la création de biefs très courts.

De nombreuses réalisations en Europe nous permettent d'envisager plusieurs possibilités pour résoudre ce problème (de Kosinsky, 1979). On notera ainsi les systèmes à sas mobiles tels que les ascenseurs et les plans inclinés. Cependant, nous avons retenu en premier choix la solution du sas fixe, creusé à même la roche.

La plus haute écluse à sas simple actuellement connue, est celle de Ust-Kamenogorsk sur la rivière Irtysh, en URSS, dont la hauteur de chute est de 42 m. D'autre part, on a déjà réalisé aux USA, en Europe, et en Chine plusieurs écluses de plus de 30 m de chute pour convois poussés. La conception de ce type d'ouvrage n'est donc pas utopique.

F. Dimensions des écluses

Les dimensions des bateaux susceptibles de passer par les écluses sont reprises au tableau 5.

Nous adopterons comme dimensions maximales :

- longueur : 241,0 m ;
- largeur : 23,0 m ;
- enfoncement : 2,6 m.

Il y a lieu de tenir compte, aussi, des aisances permettant le mouvement aisé des bateaux, ce qui donne comme dimensions pour les écluses :

- longueur : $241 + 2 \times 2,5 = 246$ m -> valeur que nous arrondissons à 250 m ;

- largeur : $23 + 2 \times 1 = 25$ m ;
- profondeur : $2,0 + (0,5 \text{ à } 1 \text{ m})$ -> nous adoptons une profondeur de 3,5 m.

Cette profondeur devrait permettre le passage, en tout temps, de barges de plus grande capacité sur le trajet Océan-Kinshasa.

G. Forme des écluses

La forme des écluses proposée est une boutonnière à mur aval tendu (Cools, 1972).

Nous donnons ci-après une vue en plan et une coupe dans une écluse de 50 m (fig. 8). Ces vues sont très schématiques et n'ont d'autre but que d'illustrer le sujet.

Les portes amont devront reprendre des variations de plan d'eau de quelques mètres, ce qui ne pose pas de gros problème. Les portes aval de ces écluses de 50 m devront faire l'objet d'une étude détaillée. Il s'agira de toute manière de portes levantes, seuls dispositifs susceptibles de donner satisfaction.

H. Le sassement dans les écluses de 50 m

Ce problème devra certainement être analysé très en détail. Il y a plusieurs solutions possibles.

Le remplissage classique par vannes de sassement est difficilement applicable, car la hauteur de chute de 50 m pose de sérieux problèmes de cavitation (Bagula, 1987). Nous devons donc trouver un dispositif de remplissage éliminant les inconvénients résultant d'une réduction de pression à l'aval de la vanne. Il est nécessaire, aussi, de se prémunir vis-à-vis des coups de bélier et des vibrations.

Le système pourrait être inspiré de celui adopté pour

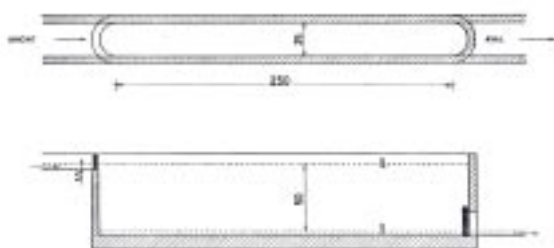


Figure 8. Schéma d'une écluse de 50 m de chute

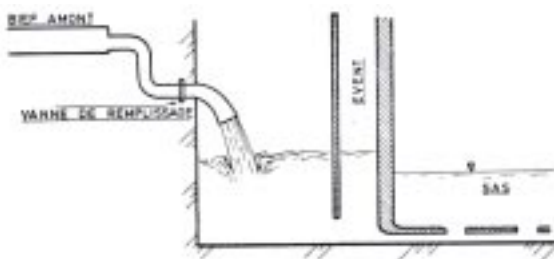


Figure 9. Sassement avec puits d'alimentation

l'écluse d'Ust-Kamenogorsk (Balanin, 1971). Le dispositif est en fait composé de deux parcours à chute moyenne reliés au moyen d'un dispositif du type cheminée avec une chute libre de l'eau. Pour éviter l'entraînement d'air dans le sas, il est prévu un événement (fig. 9).

Un système analogue pour le remplissage des écluses

d'Inga peut être retenu, *a priori*, en disposant des chambres de remplissage de part et d'autre de l'écluse.

La vanne de remplissage serait placée à 25 m en dessous du niveau du bief amont. Les problèmes de cavitation ne devraient pas se poser. La chute libre des eaux serait ainsi de 40 m. Le jet étant brisé par un système de descente des eaux en escalier (fig. 10).

Cependant, il est souhaitable d'envisager des écluses avec bassins d'épargne inclus dans les bajoyers (fig. 11 et 12). Outre que la consommation d'eau, dans ce cas, est fortement réduite, le volume des maçonneries n'est, en première approximation, pas supérieur à celui des écluses de très haute chute. De plus, une écluse de 50 m équipée de 8 bassins d'épargne incorporés aux murs-bajoyers par exemple, ne voit se poser aucun problème particulier de sassement et de cavitation, ce qui permet notamment de réaliser des temps de sassement très courts (moins de 25 minutes pour 50 m de chute). D'autre part, on limite aussi sérieusement les ondes créées dans les biefs lors des remplissages et vidanges (Cools, 1972).

Enfin, comme les huit écluses auront pratiquement toutes les mêmes dimensions, le coût des études et des réalisations en sera fortement diminué.

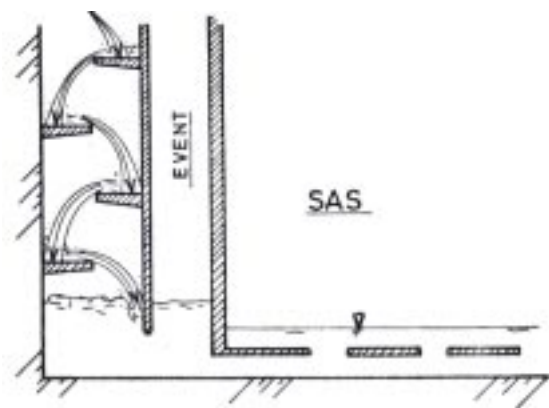


Figure 10. Dispositif brise-jet

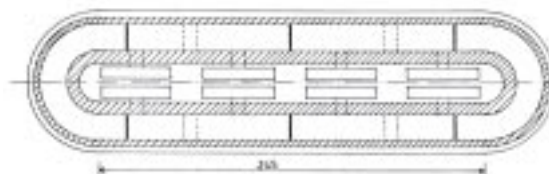


Figure 11. Écluse avec bassin d'épargne - Vue en plan

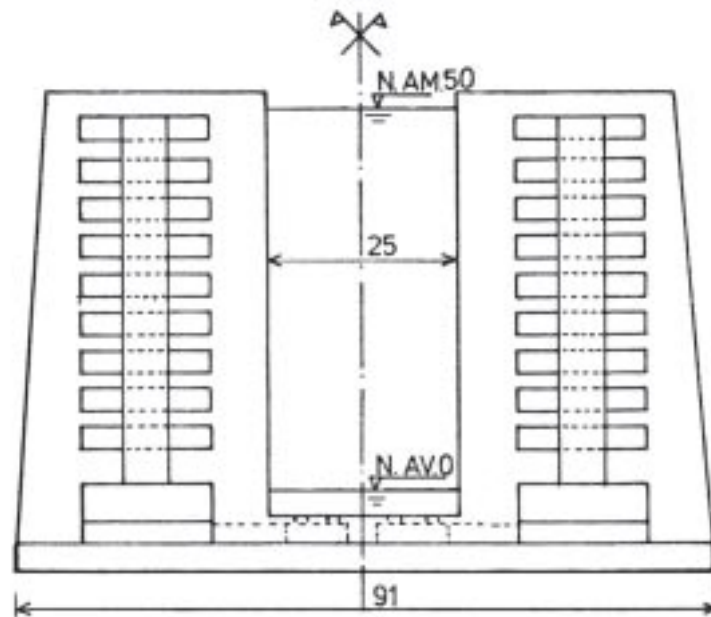


Figure 12. Écluse avec bassin d'épargne – Vue en élévation

I. Problèmes constructifs des écluses proposées

Les données géologiques actuelles ne sont pas suffisantes pour nous permettre d'envisager la possibilité de se servir du rocher en place comme bajoyer, sans travaux de consolidation des parois.

On devra, cependant, prêter attention aux facteurs suivants :

- la couche supérieure altérée devra être enlevée lors de l'exécution des ouvrages principaux ;
- les fractures et fissures, peu nombreuses, semble-t-il, dans le massif des rhyolites sont entièrement colmatées par des débris angulaires de rhyolites. Nous suggérons, si cela s'avère nécessaire, d'enlever ces roches brisées et d'effectuer la cimentation de ces fissures par injection ;
- la perméabilité est très forte aux endroits des fissures; il y aura donc lieu de prévoir l'établissement de drains le long des surfaces de contact des ouvrages, afin de réduire la pression hydrostatique ;
- la stabilité des bajoyers devra être assurée à l'aide de tirants.

De toute évidence, il faudra effectuer une campagne de sondages intensive avant l'adoption du projet définitif.

J. Commentaires sur la consommation d'eau

Le bassin hydrographique du bief supérieur projeté a une superficie de 360 km². Or la région garantit une hauteur de précipitation de pluies annuelle de 1 000 mm environ. Dès lors, on peut tabler sur un apport d'eau de pluie annuel de 360 millions de m³ dont on ne retiendra que la moitié pour tenir compte des infiltrations et de

l'évaporation.

Le bief supérieur jouant le rôle de réservoir annuel, son niveau subira une fluctuation maximale de 6 mètres environ, ce qui ne pose pas de gros problèmes pour les écluses. On peut d'ailleurs aisément limiter cette fluctuation à 2 m en réalisant deux barrages de retenue complémentaires sur des affluents.

D'autre part, les sassées ayant un volume de 312 500 m³ le nombre de vidanges autorisé à chacune des écluses du bief de partage est de $180.10^6 / (312500 \times 2)$ soit 288 par an, ou une vidange par jour ouvrable.

En considérant que le tonnage moyen des convois transitant par les écluses sera de 6 000 t, le trafic total annuel de la voie (remonte + descente) pourra s'élever à $2 \times 288 \times 6 000$ t soit 3 400 000 tonnes/an. Ce tonnage est déjà 3 fois supérieur au maximum ayant transité par Matadi. Cependant, d'une part, il n'est pas suffisant pour justifier une voie d'eau artificielle et d'autre part, il est prévisible que l'industrialisation du Bas-Congo induira un trafic beaucoup plus important. Il faut donc prévoir diverses dispositions pour assurer l'alimentation permanente du bief supérieur.

Nous retenons comme possibilités :

1. L'adjonction de bassins d'épargne à chaque écluse. Par exemple, la construction de 8 bassins d'épargne à chacune d'elles (fig. 11 et 12) permet de réduire de 80 % la consommation d'eau et partant de multiplier par 5 le tonnage transitant sur la voie (≈ 17 millions tonnes/an), ce qui la situerait déjà au-delà d'importantes voies d'eau européennes (Meuse, Moselle, Rhône, par exemple).
2. L'augmentation de la réserve annuelle par création de réservoirs dans les hautes vallées annexes (Bundi par exemple) alimentées par les eaux de ruissellement du

plateau.

3. Le pompage depuis Inga dans le bief supérieur. Ce pompage peut être envisagé pour plusieurs raisons :

- a. la distance séparant l'aménagement d'Inga au bief supérieur est très courte (≈ 6 km) ;
- b. la puissance disponible est considérable et économique ;
- c. le pompage se fait exclusivement de nuit et peut utiliser l'investissement prévu pour la consommation domestique. Il s'agit en quelque sorte d'une électricité gratuite ;
- d. la part de débit turbinée est faible et autorise d'envisager des trafics 3 à 4 fois plus importants que ceux cités ci avant.

K. Utilisation d'ascenseurs funiculaires

Au cas où il apparaîtrait que la solution par écluses s'avère trop dispendieuse en consommation d'eau, on peut envisager d'utiliser des ascenseurs funiculaires dont les avantages sont les suivants :

1. la possibilité de rachat plus important ;
2. la consommation d'eau nulle ;
3. la préfabrication possible.



Figure 13. Ascenseur funiculaire de Strépy (Belgique)

Nous inspirant des ascenseurs de Strépy sur le canal du Centre en Belgique (fig.13), nous proposons un ensemble à deux bacs indépendants ; la hauteur pourrait être portée de 73 à 100 m et les dimensions des bacs de 100 m à 200 m x 13 m, permettant ainsi le passage de deux barges de 3000 t en flèche dans chaque bac.

En considérant une durée de levée de 9 min et une durée de cycle de 120 min, les deux bacs auraient la possibilité de traiter 72 000 t/d, ce qui pour 250 jours effectifs par an conduit à une capacité de 18 Mt/an, proche de celle des écluses de 50 m. Il y aurait de quoi assurer la rentabilité des ouvrages et les besoins pendant quelques décennies.

On pourrait ainsi se contenter de 4 ascenseurs à la place

de 8 écluses ou, le cas échéant, de fixer le bief de partage à une altitude plus élevée, ce qui limiterait le volume des déblais rocheux.

En ce qui concerne la fiabilité de ce type d'ouvrage, on rappellera que les anciens ascenseurs de La Louvière en Belgique (classés au patrimoine mondial de l'UNESCO), comme beaucoup d'autres, fonctionnent encore parfaitement après plus de cent années d'existence.

V. LIMITE DE NAVIGABILITÉ EN AMONT D'INGA

A. Généralités

Les travaux d'Inga, ayant pour résultat de fixer la cote 205 au droit du site, il convient d'établir ce que deviendra le fleuve en amont et de déterminer en particulier jusqu'où la navigation peut rester confortable.

B. Débit du fleuve

Nous avons adopté comme valeurs conventionnelles dans le cadre des calculs :

- le débit minimal à l'étiage : 25 000 m³/s ;
- le débit maximal des hautes eaux ordinaires : 65 000 m³/s (ce débit n'est susceptible d'être dépassé que quelques jours par an) ;
- le débit maximal du projet pour la navigation : 70 000 m³/s ;
- le débit maximal extrême : 100 000 m³/s (débit exceptionnel devant être envisagé dans tous les travaux par mesure de sécurité).

C. Vitesse des eaux

La vitesse de 3,50 m/s ne doit pas être dépassée si l'on veut assurer une navigation normale en tout temps.

Cette vitesse critique peut être considérée comme la vitesse moyenne des eaux dans une section du fleuve. Les vitesses maximales au talweg pouvant, cependant, atteindre 1,5 fois cette vitesse critique, tandis que le long de la rive, la vitesse est nettement inférieure à 3,5 m/s, ce qui permet de limiter sérieusement la puissance des pousseurs.

D. Profondeur minimale des eaux

L'examen des documents cartographiques disponibles montre que la largeur du fleuve varie, en général, entre 500 et 1 500 m dans la région des cataractes. On admet pour hypothèse une largeur moyenne de 1 000 m.

Avec ces valeurs, on peut en déduire les valeurs moyennes de la profondeur compatibles avec les vitesses de navigation.

$$v = \frac{Q}{h.l} \quad [\text{m/s}]$$

avec :

h = profondeur moyenne des eaux

ℓ = largeur du fleuve

Q = débit

v = vitesse critique des eaux = 3,5 m/s

Entre l'étiage et les hautes eaux, on obtient ainsi une différence de niveau allant de 8,60 m pour une largeur de 1 500 m à 25,7 m si celle-ci descend à 500 m.

E. Pentes moyennes

Les pentes moyennes des divers tronçons sont les suivantes :

Kianda – Isangila : 1,20 m/km;

Isangila – Manyanga : 0,15 m/km;

Manyanga – Rapides de Gombe Lutete : 0,19 m/km;

Rapides de Gombe Lutete – Confluent Inkisi : 1,00 m/km.

F. Calcul de la profondeur moyenne du fleuve libre en fonction des pentes moyennes (avant tout aménagement)

En supposant le mouvement uniforme, on déduit la profondeur moyenne du fleuve en fonction des diverses largeurs observées et du débit. La formule de Chézy s'écrit :

$$u = C\sqrt{Ri} = \frac{Q}{\Omega} = \text{vitesse moyenne}$$

C = constante dépendant de la nature des parois, de la répartition des vitesses et, en général, de la forme du lit. Dans le cas des fleuves en pays accidentés, on adopte : $C = 35$.

R = rayon hydraulique

i = pente du fleuve

Q = débit du fleuve

$\Omega = h.\ell$ = section mouillée

h = hauteur moyenne du mouvement uniforme

ℓ = largeur moyenne du fleuve

χ = périmètre mouillé

$$R = \frac{\Omega}{\chi} = \frac{h.\ell}{l + 2.h} \quad h$$

d'où on déduit : $h = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{C^2.i.\ell^2}}$

À partir de cette formule, on déduit la profondeur moyenne du fleuve en tenant compte des pentes moyennes (Arnould, 1979).

G. Courbe des remous

Le barrage d'Inga va relever les eaux à la cote 205. Il est primordial de se faire une idée de la courbe des remous

qui en résulte, afin de connaître la limite du bief navigable en amont d'Inga.

Étant donné le peu de renseignements sur la topographie et la bathymétrie du fleuve, il suffit de calculer la courbe des remous d'une manière approchée.

Nous utilisons donc la formule suivante :

$$i' = i \cdot \frac{h^3}{h'^3} \quad (\text{Koechlin, 1924})$$

avec :

i = pente superficielle primitive

i' = pente superficielle après construction du barrage

h' = profondeur moyenne après construction du barrage

h = profondeur moyenne primitive

Cette formule suppose une rivière assez large, ce qui est le cas ici.

Le principe du calcul est le suivant :

- on suppose que le fleuve à l'amont du barrage est partagé en une série de tronçons par des profils en travers. Les distances entre profils ont été choisies égales à 10 km environ ;

- on détermine, ensuite, les altitudes primitives des niveaux d'eau. Ces valeurs sont approximatives et déterminées à partir des altitudes rapportées à la surface de référence ;

- on connaît les profondeurs moyennes primitives des tronçons ;

- on connaît les pentes primitives exprimées en m/km ;

- on calcule ensuite, à partir de la formule ci-avant, de profil en profil, les nouvelles pentes i' , en partant du plan d'eau surélevé au barrage. On admet une altitude du plan d'eau surélevé égale à 205 m au niveau du barrage.

Le calcul se fait par approximations successives : on admet d'abord au jugé, pour le profil en travers à l'amont du tronçon du fleuve considéré, un niveau d'eau et on calcule avec ce niveau les valeurs correspondantes. On reprend les calculs jusqu'à ce que le niveau d'eau obtenu par le calcul concorde avec celui admis au départ.

H. Résultat et longueur du bief en amont d'Inga

Les résultats obtenus sont les suivants :

1. pour le débit de 25 000 m³/s, la courbe des remous remonte jusqu'au kilomètre 405, soit à près de 200 km du barrage sur le fleuve prévu à Kianda. Le niveau du fleuve s'étant élevé de plus de 12,5 m, par rapport au niveau d'eau surélevé admis à Kianda (retenue égale à 205 m) ;

2. pour le débit de 70 000 m³/s, la courbe des remous s'étend sur une distance d'environ 202 km. Elle relève le niveau du fleuve d'environ 17 m entre Kianda et le kilomètre 408 ;

3. on peut à présent déterminer la distance sur laquelle les convois pourront naviguer convenablement, la vitesse admise étant de 3,5 m/s.

On connaît les profondeurs minimales des eaux correspondant à cette vitesse critique.

1. pour un débit de 25 000 m³/s et une largeur moyenne de 1 000 m, la profondeur minimale des eaux est de 7,2 m; le fleuve restera donc navigable sur toute la longueur calculée de la courbe des remous. ;

2. pour celui de 70 000 m³/s, la profondeur minimale des eaux pour une largeur moyenne de 1 000 m est de 20 m. Le fleuve cessera d'être navigable aux environs des rapides de Gombe Lutete.

Cependant on observe qu'à hauteur du lieu dit Kalankala existe un passage rétréci de 300 m de largeur situé approximativement au kilomètre 375. Si l'on remarque qu'à cet endroit la hauteur d'eau sera d'environ 40 m au débit de 70 000 m³/s, on en déduit une vitesse de courant égale à 5,8 m/s. Il s'agit donc de prévoir un ouvrage destiné à relever le niveau du fleuve à Kalankala (fig. 14).

VI. LE SITE INTERMÉDIAIRE

A. Hypothèses

On vient de voir que la navigation est possible dans le bief Inga-Kalankala (≈ 200 km) après les travaux d'Inga. Il reste, à présent, à prolonger la voie navigable vers Kinshasa. Ce tronçon ne compte pas moins d'une trentaine de rapides et chutes sur une centaine de kilomètres.

On connaît en outre les valeurs de la courbe de remous due au grand barrage d'Inga à Kianda. À Kalankala, les nouvelles altitudes des niveaux d'eau sont les suivantes :

- pour Q = 25 000 m³/s : 207,3 m ;
- pour Q = 70 000 m³/s : 210,3 m.

B. Données relatives à ce tronçon

On s'est appuyé sur les cartes Weber au 1/100 000 donnant des courbes de niveau tous les 50 m. D'autre part, des cartes géologiques au 1/200 000 donnent un aperçu des terrains traversés.

C. Profondeurs minimales des eaux

L'examen des cartes montre qu'ici la largeur moyenne oscille autour de 400 m. Il existe cependant des passes rétrécies de 300 m alternant avec des zones élargies de 1 500 m environ.

Entre l'étiage et les hautes eaux, on obtient ainsi une différence de niveau allant de 8,6 m pour une largeur de 1 500 m à 42,9 m si celle-ci descend à 300 m.

D. Pentés moyennes

Les pentes moyennes des divers tronçons sont les suivantes :

- Kalankala - Inkisi : 0,82 m/km ;
- Inkisi - Foulakari : 0,60 m/km ;
- Foulakari - Lutezu : 1,03 m/km ;
- Lutezu - Kinshasa : 1,10 m/km ;

E. Courbe des remous

En adoptant la même méthodologie que précédemment, on observe des valeurs montrant qu'il est nécessaire de

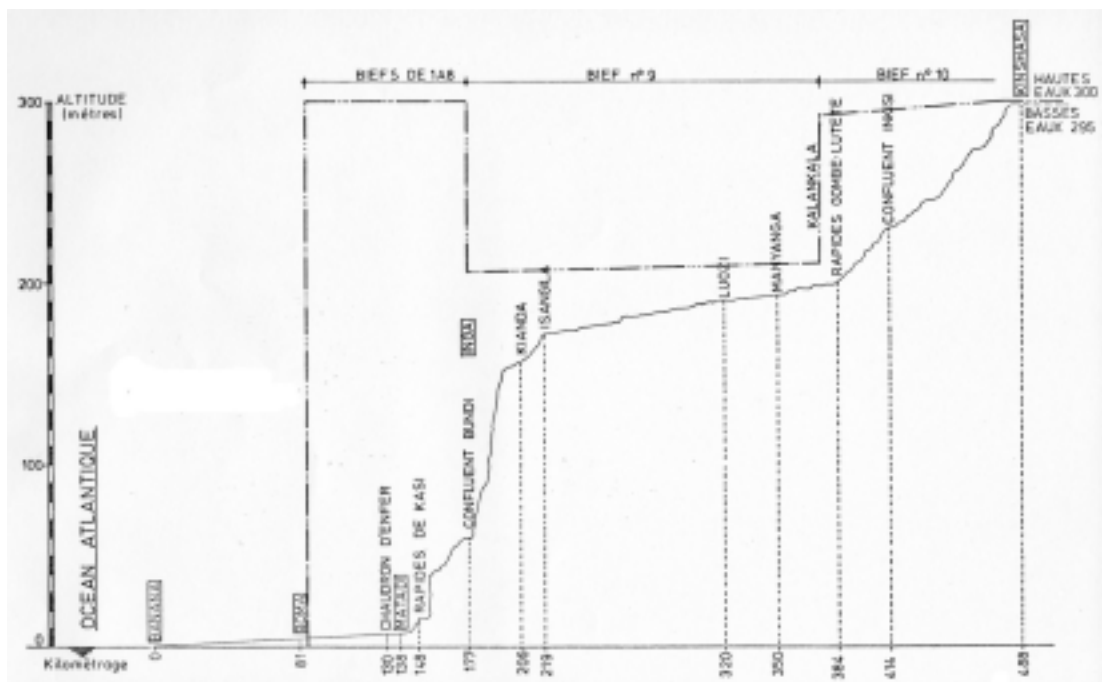


Figure 14. Lignes d'eau après canalisation du Bas Congo

Tableau 9. Niveaux à l'amont de Kalankala

Site	Distance km	Altitude m
Kalankala	375	198
Confluent Inkisi	414	230
Confluent Foulakari	439	245
Lutezu	468	275
Kinshasa	488	297

relever le niveau du fleuve dans tout le bief allant de Kalankala à Kinshasa pour le rendre navigable. Ce relèvement peut s'opérer au moyen d'un seul ouvrage ou de plusieurs. Nous avons opté pour la première solution, qui est plus économique et qui limite les difficultés de réalisation.

Il s'agit donc de déterminer la hauteur dont il faut relever le plan d'eau à Kalankala pour rendre le bief navigable jusqu'au Pool Malebo.

On a admis une largeur moyenne de 400 m entre Kalankala et Lutezu et 800 m entre Lutezu et Kinshasa. Les calculs montrent qu'un relèvement de 95 m assure la navigabilité du fleuve jusqu'au Pool Malebo à tous les débits (fig. 14).

G. Réalisation du barrage de Kalankala

Le relèvement du plan d'eau à Kalankala ne peut se faire que par la construction d'un barrage à établir dans le lit du fleuve comme le grand barrage d'Inga à Kianda.

Nous proposons de le réaliser en déposant des blocs artificiels directement dans le courant. Bien que la chose doive évidemment faire l'objet d'une étude approfondie sur modèle réduit à grande échelle, il apparaît que des blocs artificiels du type *Dollos* et pesant entre 30 et 60 tonnes puissent être raisonnablement envisagés (Hardy, 1977). En effet, ces blocs, de par leur poids et leur forme, sont dotés d'une stabilité suffisante pour

permettre l'érection de barrages dans les plus forts courants.

Dans le premier stade de construction, la structure présente un coefficient de porosité supérieur à 0,5, ce qui pour une dénivellation de 70 m, permet déjà l'écoulement d'un débit de 70 000 m³/s au travers d'un barrage de 700 m de long (fig. 15).

L'importance du débit passant au travers du barrage varie selon la saison (10 mois par an, ce débit est inférieur à 60 000 m³/s) et peut être diminué par la dérivation des eaux dans une galerie qui par la suite servira à alimenter la centrale hydro-électrique.

Dès que le massif émerge de l'eau, il devient possible de construire en superstructure un barrage mobile permettant par la suite de régler le niveau amont du fleuve quel que soit le débit.

Dès que les divers ouvrages annexes tels que galerie de dérivation, canal d'amenée, écluses et barrages mobiles sont achevés, on réalise l'étanchéité du barrage par déversement d'enrochements de calibres judicieusement choisis, de façon à obtenir le relèvement du plan d'eau souhaité.

H. Description de l'aménagement

Le barrage pourra être construit à hauteur de Kalankala dans la partie amont de la zone élargie du fleuve à 2 km en aval du défilé. La largeur du fleuve à cet endroit est d'environ 700 m (fig. 16). S'il apparaît que la construction du barrage requiert une diminution du débit linéaire passant sur sa crête, on peut alors le réaliser un peu plus en aval où la largeur dépasse 1 000 m.

Le rachat de la surélévation pour la navigation peut se faire par une écluse double de 2 x 42 m de chute que l'on réaliserait à flanc de coteau sur la rive gauche. La rive droite quant à elle, pourrait recevoir une centrale hydro-électrique capable de fournir, pour une chute nette

**Figure 15.** Modèle réduit du barrage en pierres lancées (ULg)

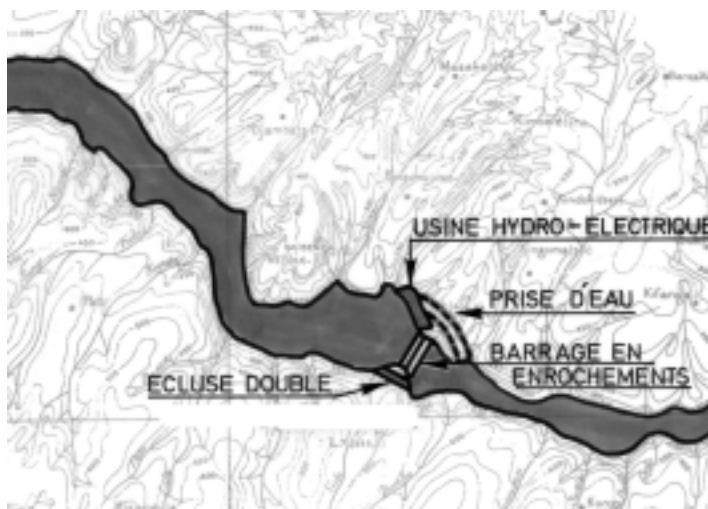


Figure 16. Aménagements proposés à Kalankala

d'environ 80 m, un débit de 25 000 m³/s et un rendement global de 0,75, une puissance de 15 000 MWé, ce qui correspond à une production probable de 120 TWh/an.

Il apparaît qu'au prix où se négocient actuellement les matières énergétiques¹, ce facteur justifie à lui seul l'investissement qui, bien que très élevé, peut s'amortir en moins de 5 ans.

Le site est favorable à l'implantation d'une telle centrale : en effet l'élargissement du fleuve à cet endroit forme un bassin d'amortissement naturel, de telle sorte que la navigation concentrée sur l'autre rive ne soit pas perturbée.

I. Avantages comparés de l'aménagement de Kalankala

On pourrait objecter qu'il serait plus économique de réaliser deux chutes d'environ 40-45 m plutôt qu'une seule à Kalankala.

L'examen de la carte montre que, compte tenu de la condition de garder 66 m de profondeur en hautes eaux dans les passes de 300 m de largeur d'une part, et de ne pas dépasser le niveau atteint actuellement par le fleuve dans le Pool Malebo d'autre part, on ne pourrait prévoir un deuxième barrage qu'au droit de l'île située peu en amont du confluent de l'Inkisi. Ce barrage devrait avoir une hauteur de 97 m pour assurer le plan d'eau au niveau du Pool Malebo. Par ailleurs, le barrage de Kalankala devrait encore avoir une hauteur de 85 m pour assurer une hauteur d'eau convenable dans les passes rétrécies et limiter les vitesses du courant entre Kalankala et l'Inkisi. Si on admet que les volumes des barrages sont proportionnels au carré de leur hauteur et que l'on compte le volume de deux barrages de 97 m et 85 m hauteur au volume d'un seul barrage de 125 m, on constate que le barrage unique nécessite moins de volume. De plus, en ne construisant qu'un seul ouvrage, on limite sérieuse-

ment les aléas de la construction.

En outre, la chute totale turbinable reste sensiblement la même pour les deux solutions soit 83 m (ou 53 m + 30 m). Il est certain que, dans ce cas, une centrale unique est plus économique sur le double plan de la construction et de l'exploitation.

Enfin, le rachat de cette chute pour la navigation peut se concevoir par la construction en rive gauche d'une écluse double inspirée à la fois des écluses réalisées sur le Danube aux Portes de Fer, des écluses décrites précédemment pour le tronçon Inga-Boma, de l'échelle d'écluses réalisée à Bouktharma sur la Volga, ainsi que des Trois Gorges sur le Yang-Tze.

J. Les études nécessaires

L'aménagement de la voie navigable entre Kinshasa et Inga ne semble poser aucun problème insoluble. Il ne nous est, cependant, pas possible de pousser plus en avant le travail sans études préalables du terrain. L'esquisse et les descriptions succinctes que nous avons données des ouvrages à construire dans la région Nord des cataractes sont limitées par le manque de renseignements précis.

Des observations topographiques et hydrographiques précises sont nécessaires sur tout le parcours du Bas Congo. Des échelles limnimétriques devront être installées et leur cote absolue connue. À partir des résultats correspondant à une période d'observations déterminée, il sera alors possible d'établir des relations entre les niveaux aux échelles placées le long du fleuve et, par exemple, ceux des échelles du Port Public de Kinshasa.

Une connaissance précise des zones prévues pour les ouvrages est indispensable. Des levés aéroportés par laser (Lidar) combinés à des photographies aériennes métriques pourraient aboutir à des restitutions permettant de dresser un modèle numérique de terrain de 20 cm de précision (Leroy, 2005). Des données relatives

au relief du lit du fleuve sont nécessaires pour déterminer les emplacements des barrages et calculer les axes hydrauliques. La façon classique pour déterminer les profondeurs d'un fleuve consiste à utiliser les ultra-sons. Le fleuve étant très tourmenté, il n'est pas possible d'utiliser partout les moyens classiques. Il s'agirait alors d'utiliser un système analogue à celui adopté pour le site d'Inga où la campagne bathymétrique a été effectuée à l'aide d'un hélicoptère.

Du point de vue géologique, on ne dispose que d'une carte géologique de surface à très petite échelle. Il sera nécessaire, en première phase, de connaître localement l'aspect géologique de surface avec un peu plus de détails, et, en seconde phase, d'effectuer une campagne de sondages aux endroits choisis pour les ouvrages.

CONCLUSIONS

Dans le droit fil des visions historiques de Stanley et de Van Deuren, les études menées depuis plus de quarante ans à l'Université de Liège conduisent à admettre la faisabilité d'un canal de navigation à grand gabarit entre Kinshasa et l'Océan. Ce canal part du postulat que le barrage du Grand Inga est réalisé. D'autre part, nous avons démontré que la réalisation d'un barrage en éléments artificiels placés en travers du fleuve entre Manyanga et Gombe Lutete est également possible et crée, en outre, une chute permettant l'exploitation de 15 000 MW minimum.

Il reste à répondre à la question récurrente : que faire de cette énorme quantité d'électricité ?

Les voies les plus prometteuses sont multiples :

- l'exploitation sur place avec installation d'industries grandes consommatrices comme l'électrometallurgie de l'aluminium et du magnésium par exemple ;
- la production d'hydrogène à exporter sous forme de gaz comprimé, de liquide à très basse température, ou encore de composé de synthèse hydrocarboné ;
- l'exportation d'électricité vers les pays d'Afrique, voire d'Europe, avec réalisation de lignes d'interconnexion à

courant continu (Hutz-Adams, 2004).

Chaque possibilité a ses avantages et inconvénients qu'il n'est pas possible d'analyser dans le cadre de ce document. À titre d'espoir nous mentionnerons simplement le plan d'investissement prévu par la Société congolaise d'électricité (SNEL) pour les trente prochaines années (tabl. 10).

Enfin, on relèvera que les investissements totaux des aménagements entre Kinshasa et l'Océan peuvent être estimés à quelque 50 milliards d'euros, ce qui est l'ordre de grandeur des montants consentis à Itaipu sur le Parana en Amérique du Sud et aux Trois Gorges sur le Yang-Tze en Chine. Quant à la part du canal et des écluses (ou ascenseurs) nécessaires à la navigation, elle ne devrait pas dépasser les 3 milliards d'euros.

NOTE

¹ 60 USD le baril de pétrole en juin 2005.

REMERCIEMENTS

Cet article n'aurait pas été possible sans l'immense contribution du professeur émérite N.M. Dehousse (ULg) qui a initié et promu diverses recherches en matière d'écluses de navigation de très haute chute et dont le nom peut être associé au type d'écluse décrit ci-avant.

BIBLIOGRAPHIE

- ARNOULD R., 1974. *La voie navigable Kinshasa-Océan*. Note interne LHCH-Université de Liège. 128 p.
- ARNOULD R. & DEHOUSSE N.M., 1979. *La voie navigable Kinshasa-Océan. Concours Fondation Roi Baudouin*. 125 p., 3 plans.
- ARNOULD R., 1984. *L'hydraulique en Outre-Mer. Liège-Université*. 3, pp. 4 & 9.
- BAGULA B., 1981. *Contribution à l'étude des conditions d'exécution d'un barrage perméable selon la*

Tableau 10. Plan d'investissement prévu à Inga

Désignation	Étapes				Total
	2010	2017	2023	2030	
Centrale Grand Inga					
Puissance installée (MW)	6 000	12 750	19 500	24 750	
Puissance garantie (MW)	4 000	8 000	12 800	16 000	
Coûts investissement (MUSD)	4 024	1 471	1 471	1 471	8 113
Prix de revient (cUSD/kW)	1,11	1,17	1,09	1,08	
Lignes d'interconnexion (MUSD)					
Axe Nord (5300 km)	5 753	4 851	4 649	4 923	20 183
Axe Sud	1 052				1 052
Axe Ouest	600				600
Total (MUSD)	11 429	6 329	6 120	6 070	29 948

Source : SNEL, 1999.

- technique des pierres lancées. Étude théorique et expérimentale de la perméabilité. Étude expérimentale d'une coupure par avancement.* Université de Liège – Maîtrise en sciences appliquées. 122 p.
- BAGULA B., 1987. *Le comportement des matériaux usuels soumis à la cavitation dans les structures hydrauliques.* Université de Liège – Doctorat en sciences appliquées. 203 p.
- BALANIN V.V., s.d. Ouvrages de franchissement pour chutes de grandes hauteurs. *XXI^e Congrès International de Navigation*, section 1, Sujet 2, Rapport général, pp. 12-19.
- BALANIN V.V., 1971. L'écluse d'Ust-Kamenogorskiy sur la rivière Irtish. *Bulletin de l'AIPCN*, Vol. II, 55-65.
- CAMPUS F., 1958. Inga. *Bull. Scientif. AIM*, n° 5, Liège.
- CAMPUS F., s.d. L'aménagement hydro-électrique du fleuve Congo à Inga. *Académie Royale des Sciences Coloniales, Classe des Sciences Techniques*, Mémoire in - 8°, Nouvelle Série, Tome VI, Fasc. 6. Bruxelles.
- CHARLIER J., 1970. Infrastructure des transports fluviaux en République Démocratique du Congo. *ARSOM, Bulletin des Séances*, 2, pp. 366-380.
- CHARLIER J. & M'PENE Z., 2004. L'axe ferroviaire Matadi-Kinshasa, clé de voûte du système des transports de la République Démocratique du Congo. D'un quasi monopole modal à un contexte fortement concurrentiel et à un futur incertain. *Colloque international sur le rôle du chemin de fer en Afrique*. Privatisation des chemins de fer, aide au développement et sauvegarde de l'environnement. Paris, 23-24 sept.
- COOLS M., 1972. *Étude de la stabilité du sas d'une écluse de grande chute.* Université de Liège, projet final.
- CUYPERS M., 1991. *Construction de barrages mobiles et d'écluses sur le fleuve Zaïre – Tronçon non navigable de Kisangani à Ubundu.* Université de Liège, projet final. 61 p., 5 plans.
- DAVID R., 1971. Les bargettes Lash et Seabee dans le bassin rhénan. *Revue navigation fluviale européenne*. Tome 1, pp. 4-9.
- DEJAEGERE J., 1973. *Avant-projet de voie navigable à grand gabarit établie parallèlement au fleuve Zaïre entre Matadi et Kinshasa.* Université de Liège, projet final.
- de KOSINSKY V. & ARNOULD R., 1979. *An up-to-date Review and Comparative Description of Modern Worldwide Experience in Navigation Structures.* Ed. LHCH-Université de Liège. 125 p.
- DEHOUSSE N.M. & ARNOULD R., 1979. La voie navigable Kinshasa - Océan. *Liège-Université*, 4, pp. 1-2.
- DEHOUSSE N.M., 1985. *Les écluses de navigation.* Ed. LHCH-Université de Liège, (éditions française et chinoise), 350 p.
- DEHOUSSE N.M., 1986. Les écluses pour très haute chute. *Revue T.* n° 3-4, pp. 48-51.
- DEHOUSSE N.M., 1986. Récents développements dans le domaine de la construction des écluses de navigation. *Bulletin de la Classe des Sciences de l'Académie Royale de Belgique*. Tome LXXII, 5^e série, 12.
- DEHOUSSE N.M., 1988. La liaison fluviale Meuse-Rhin. *Annales des Travaux publics de Belgique*. N° 1.
- DEVROEY E.J., 1941. Le bassin hydrographique congolais, spécialement celui du bief maritime. *Institut Royal Colonial Belge, Section des Sciences Techniques, Mémoires*, Coll. in -8°, Tome III, fasc. 3, pp. 36-41. Bruxelles.
- DEVROEY E.J., 1948. Inventaire de nos connaissances des richesses hydrographiques du Congo Belge. *Bull. Inst. Royal Colonial Belge*, Tome XIX, fasc. 1. Bruxelles.
- DEVROEY E.J., 1952. La rivière Kasai et la voie nationale du Bas-Congo au Katanga. *Bruxelles, IRCB, Bulletin des séances*, Tome XXIII, pp. 629-664.
- DEVROEY E.J., 1961. Annuaire hydrologique du Congo et du Ruanda-Urundi, 1959. *Bruxelles, ARSOM, Classe des Sciences Techniques, Mémoires* in -8°, Nouvelle série, Tome XIV, fasc. 1.
- FRANCOU J. & N'ZEZA F., 1977. L'aménagement hydro-électrique d'Inga sur le Zaïre. *La Houille Blanche*, 2/3, pp. 121-132.
- GEULETTE P., 1957. État des données techniques relatives au projet d'équipement hydro-électrique du fleuve Congo à Inga. *ARSOM, nouv. série, Tome VII, fasc. 2*. Bruxelles.
- GHILAIN J., 1949. Remorquage en poussée au Congo Belge. Bruxelles, *IRCB, Bulletin des Séances*, Tome XX, 4, pp. 929-944.
- HARDY D., 1977. *Étude théorique et expérimentale d'un barrage perméable selon la technique des pierres lancées dans un fleuve à fort courant.* Université de Liège, projet final. 97 p.
- HUTZ-ADAMS F. & GECKS S., 2004. *Énergie hydraulique des barrages d'Inga : grands potentiels pour le développement de la RDC et de l'Afrique.* Suedwind Institut, Siegburg. 39 p.
- HUYBRECHTS A., 1965. Contribution à l'histoire économique du Congo, I. Les transports fluviaux au Congo (1925-1963). *Cahiers Économiques et Sociaux de l'Institut de Recherches Economiques et Sociales, IRES*, Supplément au vol. III, cahier 1.
- ILLIGER J., 1971. Ouvrages de franchissement pour chutes de grande hauteur pour le canal latéral de l'Elbe en République Fédérale Allemande. *Bulletin de l'AIPCN*, IV, pp. 25-47.
- ISBASH S.N., 1936. Construction of dams by depositing rock in Running Water. Construction de barrages par déversement d'enrochements dans le courant. *Washington, 2^e Congrès des grands barrages, Vol. V, Communication n° 3*. 123 p.
- IZBASH S. & KHALDRE KH., 1970. *Hydraulics of River Channel Closure.* Ed. Butterworths, London.

- JAEGER F., 1976. *Étude des conditions d'exécution d'un barrage perméable réalisé selon la technique de pierres lancées dans un fleuve à très fort courant*. Université de Liège, projet final.
- KOECHLIN R., 1924. *Mécanisme de l'eau*. Ed. Béran-ger, Paris et Liège. pp. 275-279.
- LEDERER A., 1959. La navigation fluviale au Congo Belge. *Revue de la navigation intérieure et rhénane*. N° 1, pp. 2-12.
- LEDERER A., 1965. *Histoire de la navigation au Congo*. MRAC, Tervueren.
- LEDERER A., 1972. Réflexion sur les problèmes actuels des transports en République du Zaïre. *Revue Belge des Transports*, n° 2 & 3, pp. 1-47.
- LEROY B., 2005. *Proposition de cartographie de la région du Bas-Congo en RDC*. Université de Liège, projet final. 125 p.
- MAZZA P. & HAMMERSCHLAG R., 2004. *Carrying the Energy Future – Comparing hydrogen and electricity for transmission, storage and transportation*. Institute for Lifecycle Environmental Assessment, Seattle, 44 p.
- PARMENTIER R., 1970. *Ascenseur à flotteurs pour bateaux de 1 350 t (Avant-projet)*. Université de Liège, Projet final.
- PATTYN R., 1978. *Avant-projet d'une écluse à bassins d'épargne de 50 m de chute*. Université de Liège, projet final.
- PENTA P. & TOMMASSELLI T., 1978. Il piano regolatore idroelettrico del basso corso del fiume Zaïre. *L'Energia Elettrica*, n° 11 & 12, pp. 523-531.
- PINEUR J., 1970. *Avant-projet d'écluse munie de bassin d'épargne pour le rachat d'une grande chute*. Université de Liège, Projet final.
- SEMANOV N.A., BELANIN V.V. & VARLAMOV N.N., 1961. Problème de génie civil concernant la navigation intérieure dans un dispositif de hauts barrages à buts multiples. Baltimore, *XX^e Congrès International de Navigation*, section 1, sujet 2, pp. 217-255.
- SEMANOV N.A., 1965. High-pressure navigable Constructions. *Stockholm, XXI^e Congrès International de Navigation*, Section I, sujet 2, pp. 215-234.
- STANLEY H.M., 1880. *A travers le continent mystérieux*. Ed. Hachette, Paris.
- VAN DEUREN P., 1928. *Aménagement du Bas-Congo. Création d'un nouveau port de mer, canalisation du fleuve dans les cataractes, houille blanche et développement industriel*. Ed. Ass. Ing. Ecole Appl. Artillerie et Génie. Bruxelles.
- VAN GANSE R., 1959. Les débits du fleuve Congo à Léopoldville et à Inga. Bruxelles, *ARSC, Classe des Sciences Techniques*, Mémoires in -8°, Nouvelle série, Tome V, fasc. 3, pp. 737-763.

Adresse de l'auteur :

Robert ARNOULD
Géométrie et topographie
Département de Géographie
Université de Liège
Allée du 6 Août, 2
B-4000 Sart Tilman, Liège
R.Arnould@ulg.ac.be