

L'ACCÈS MARITIME  
AU ZAÏRE

MARITIEME TOEGANG  
TOT ZAÏRE



129687

403

-5955

# SYMPOSIUM

Bruxelles, 5 décembre 1986

Brussel, 5 december 1986

ACADÉMIE ROYALE  
DES  
SCIENCES D'OUTRE-MER



1988

KONINKLIJKE ACADEMIE  
VOOR  
OVERZEESSE WETENSCHAPPEN

403

ACADÉMIE ROYALE  
DES  
SCIENCES D'OUTRE-MER

Rue Defacqz 1 boîte 3  
B-1050 Bruxelles (Belgique)

Tél. (02)538.02.11  
C.C.P. 000-0024401-54  
Bruxelles

KONINKLIJKE ACADEMIE  
VOOR  
OVERZEESE WETENSCHAPPEN

Defacqzstraat 1 bus 3  
B-1050 Brussel (België)

Tel. (02)538.02.11  
Postrekening 000-0024401-54  
Brussel

L'organisation du Symposium .  
et la publication du présent  
volume ont bénéficié de  
l'aide financière de :

De inrichting van het Symposium  
en de uitgave van dit boek  
hebben de financiële  
steun genoten van :

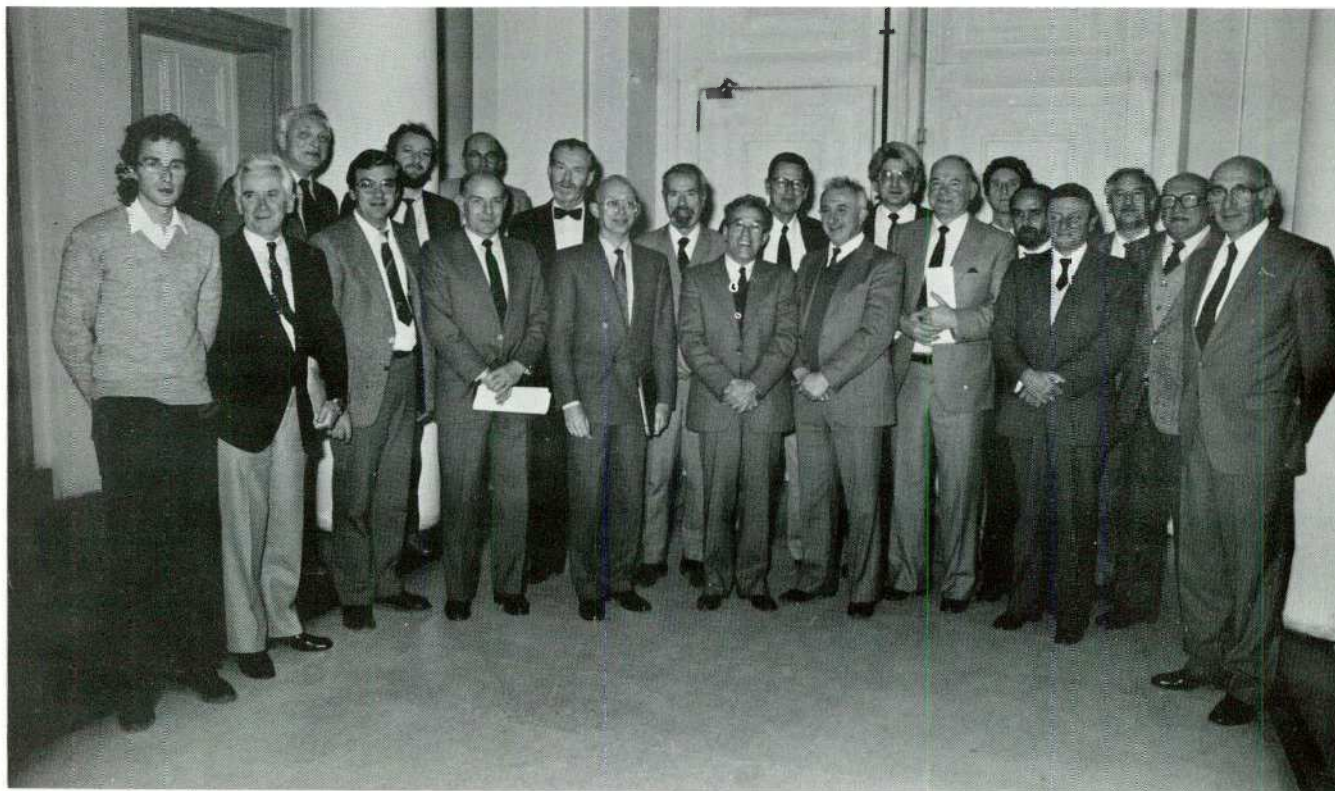
Ministère de l'Éducation nationale

Ministerie van Onderwijs

Fonds National de la Recherche Scientifique /  
Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek

Compagnie Maritime Belge /  
Belgische Scheepvaartmaatschappij

Dredging International



Quelques participants du Symposium.  
Enkele deelnemers van het Symposium.

De gauche à droite :

Y. Delprat, C. Doolaege, A. Devos, J.-M. Vandenberghe, F. Warnier, R. Clause, L. Leman, J. Heylen, J.-J. Peters, M. Mativa, J. Van Remoortere,  
Lambert, M. Dambrain, J. Baute, R. Pirson, A. Van Hoeylandt, F. Cumps, J. Charlier, A. Peeters, A. Crespin, A. Sterling.

Van links naar rechts :

## TABLE DES MATIÈRES

## INHOUDSTAFEL

Avant-propos/Voorwoord .....	5
A. STERLING, Ouverture du Symposium .....	8
Opening van het Symposium .....	9
A. STERLING, Exposé introductif .....	11
B. STEENSTRA, De geomorfologie van Beneden-Zaire .....	21
J. CHARLIER, Historique de la navigation jusqu'en 1958 .....	43
J. VANDERLINDEN, Au temps où les juristes, comme le fleuve, diva- guaient .....	53
A. STERLING, Études de la navigabilité .....	69
I. COEN, Modelstudies Mateba .....	77
J.-J. PETERS, Études récentes de la navigabilité .....	89
A. LEDERER, Les problèmes du navire .....	111
J. VAN LEEUW, Choix des navires en fonction de la navigabilité ....	133
N'GOLE ILIKI, Le bief maritime restera encore longtemps l'artère vitale du Zaïre .....	159
A. STERLING, Conclusion du Symposium .....	174
Besluit van het Symposium .....	175



## AVANT-PROPOS

A l'initiative de sa Classe des Sciences techniques, l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer a organisé un Symposium sur le thème «L'Accès maritime au Zaïre».

La préparation en a été assurée par le Comité du Symposium 1986 présidé par M. A. Sterling, directeur de la Classe des Sciences techniques.

Le Symposium s'est tenu le 5 décembre 1986 au Palais des Académies à Bruxelles et y a rassemblé de nombreux participants.

L'organisation du Symposium et l'édition de ses Actes ont été subventionnées par le Ministère de l'Éducation Nationale, le «Ministère van Onderwijs», le Fonds National de la Recherche Scientifique, la Compagnie Maritime Belge, la société «Dredging International». L'illustration du présent volume a été possible grâce à l'aide du Ministère des Travaux Publics et de la société «Eurosense». L'Académie leur en est vivement reconnaissante.

## VOORWOORD

Op initiatief van haar Klasse voor Technische Wetenschappen heeft de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen een Symposium ingericht met als thema „De Maritieme Toegang tot Zaïre”.

De voorbereiding ervan werd verzekerd door het Comité van het Symposium 1986 voorgezeten door de H. A. Sterling, directeur van de Klasse voor Technische Wetenschappen.

Het Symposium ging door op 5 december 1986 in het Paleis der Academiën te Brussel en talrijke deelnemers waren aanwezig.

De inrichting van het Symposium en de uitgave van zijn Akten gebeurden met de financiële steun van het Ministerie van Onderwijs, het „Ministère de l'Éducation Nationale”, het Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek, De Belgische Scheepvaartmaatschappij, de maatschappij „Dredging International”. De illustratie van dit boek werd mogelijk gemaakt dank zij de hulp van het Ministerie van Openbare Werken en van de maatschappij „Eurosense”. De Academie is er hen bijzonder dankbaar voor.



M. A. Sterling, Président du Symposium.  
De H. A. Sterling, Voorzitter van het Symposium.



De gauche à droite : MM. J.-J. Symoens, J. Vanderlinden et A. Sterling.  
Van links naar rechts : de HH. J.-J. Symoens, J. Vanderlinden en A. Sterling.

*Symposium*  
«L'Accès maritime au Zaïre»  
(Bruxelles, 5 décembre 1986)  
Académie royale des Sciences  
d'Outre-Mer  
p. 8 (1988)

*Symposium*  
„De Maritieme Toegang tot Zaïre”  
(Brussel, 5 december 1986)  
Koninklijke Academie voor Overzeese  
Wetenschappen  
p. 8 (1988)

## OUVERTURE DU SYMPOSIUM

PAR

A. STERLING

Président du Symposium  
Directeur de la Classe des Sciences techniques de l'Académie

La Classe des Sciences techniques de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer a consacré le Symposium organisé en 1986 au thème «L'Accès maritime au Zaïre».

L'embouchure du fleuve Zaïre, le Bas-Zaïre, est un maillon important du commerce extérieur zaïrois. Cette unique issue vers la mer que constitue le fleuve Zaïre permet en effet d'éviter le transit par les pays voisins.

Le bief maritime du fleuve n'est cependant pas entièrement navigable dans son état naturel. Dans les 33 km que comporte la région dite «divagante», les chenaux méandrent, se subdivisent et se réunissent à nouveau, s'ensablent par endroits, s'approfondissent ailleurs, formant des îles et des bancs de sable. Cet état naturel du fleuve rend indispensables diverses études et des travaux afin d'améliorer la navigabilité.

Après un historique, nous aborderons les différentes facettes des problèmes qui se posent quant à la navigation sur le fleuve. Il sera question de l'aspect géologique, du point de vue juridique, des difficultés rencontrées tant par les constructeurs de navires que par les utilisateurs, et enfin des techniques d'hydraulique fluviale déployées pour faire face au problème.

*Symposium*  
«L'Accès maritime au Zaïre»  
(Bruxelles, 5 décembre 1986)  
Académie royale des Sciences  
d'Outre-Mer  
p. 9 (1988)

*Symposium*  
„De Maritieme Toegang tot Zaïre”  
(Brussel, 5 december 1986)  
Koninklijke Academie voor Overzeese  
Wetenschappen  
p. 9 (1988)

## OPENING VAN HET SYMPOSIUM

DOOR

A. STERLING

Voorzitter van het Symposium  
Directeur van de Klasse voor Technische Wetenschappen  
van de Academie

De Klasse voor Technische Wetenschappen van de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen heeft het Symposium van 1986 gewijd aan het thema „Maritieme toegang tot Zaïre”.

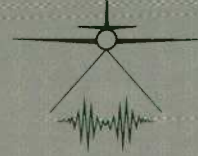
De monding van de Zaïrestroom, te weten de Beneden-Zaïre, is een belangrijke schakel in de Zaïrese buitenlandse handel. De Zaïre-stroom, enige uitweg naar de zee, laat namelijk toe de transit door de buurlanden te vermijden. Nochtans is het maritieme gedeelte van de stroom in zijn natuurlijke staat niet volledig bevaarbaar. In de 33 km lange „divagante” (beddingveranderende) strook meanderen de geulen : ze splitsen zich op en komen weer samen, verzanden hier en daar, verdiepen elders, vormen eilanden en zandbanken. Deze natuurlijke staat van de stroom maakt verschillende studies en werken noodzakelijk, teneinde zijn bevaarbaarheid te verbeteren.

Na een historisch overzicht zullen wij de verschillende aspecten van de problemen in verband met de scheepvaart op de stroom behandelen. Er zal gesproken worden over het geologische en het juridische aspekt, over de moeilijkheden die zowel de konstruktors van schepen als de gebruikers ervan ondervinden, en tenslotte over de technieken van de rivierhydraulica die ontwikkeld worden om aan de problemen tegemoet te komen.



# BIEF MARITIME DU FLEUVE ZAIRE

IMAGE SATELLITE REALISEE A PARTIR  
DES DONNEES MULTISPECTRALES SPOT-1 DU 2 AOÛT 1986



EUROSENSE



BOMA

REPUBLIQUE DU ZAIRE

BANANA

FLEUVE ZAIRE

OCEAN ATLANTIQUE

REPUBLIQUE DE L'ANGOLA



ECHELLE: 1:265000

Traitement numerique des DONNEES SPOT©  
et impression par EUROSENSE BELFOTOP S.A.  
© CNES 1987

EUROSENSE BELFOTOP S.A.  
Rue J. Vander Veken, 158  
B-1810 WEMMEL BELGIQUE

Tél: 02/460.70.00  
Télex: 26687 b  
Fax: 02/460.49.58



*Symposium*  
«L'Accès maritime au Zaïre»  
(Bruxelles, 5 décembre 1986)  
Académie royale des Sciences  
d'Outre-Mer  
pp. 11-19 (1988)

*Symposium*  
„De Maritieme Toegang tot Zaïre”  
(Brussel, 5 december 1986)  
Koninklijke Academie voor Overzeese  
Wetenschappen  
pp. 11-19 (1988)

## EXPOSÉ INTRODUCTIF

129691

PAR

A. STERLING \*

RÉSUMÉ. — Cet exposé a pour but de situer le thème de façon plus précise, ceci afin d'éviter les redites dans les communications qui suivront. Le commerce extérieur du Zaïre transite principalement par la voie dite «Nationale», une voie mixte fleuve-rail qui présente l'avantage d'être située entièrement sur territoire national. La voie Nationale comporte le bief maritime du fleuve Zaïre. Cette partie du fleuve Zaïre, dans son état naturel, n'est pas entièrement navigable. La zone dite «divagante» nécessite des dragages constants, complétés par un balisage par bouées. La route de navigation ainsi obtenue a dû être modifiée plusieurs fois, de nouvelles passes se formant tandis que d'autres devenaient impraticables.

SAMENVATTING. — *Inleidende uiteenzetting.* — Deze uiteenzetting heeft tot doel het thema preciezer te situeren, dit om herhalingen in de uiteenzettingen die volgen te voorkomen. De buitenlandse handel van Zaïre gaat voornamelijk langs de „Nationale weg”, een gemengde water-spoorverbinding, die het voordeel heeft helemaal op het eigen Zaïrees grondgebied te liggen. De Nationale weg bevat ook het maritieme gedeelte van de Zaïrestroom. In zijn natuurlijke staat is dit gedeelte van de stroom niet volledig bevaarbaar. De zgn. „divagante” (beddingveranderende) zone maakt permanente baggeringen noodzakelijk, aangevuld met een bebakening met boeien. De scheepvaartroute die zo bekomen werd moest meermaals gewijzigd worden, omdat nieuwe geulen gevormd werden, terwijl andere onbruikbaar werden.

SUMMARY. — *Introduction.* — The purpose of this exposé is to situate the theme more precisely, in order to avoid repetitions in the papers which will follow. The foreign trade of Zaire uses mainly the so-called “National” route, which is a mixed boat-train connection with the advantage of being situated entirely on national territory. The “National route” includes the maritime part of the Zaire river. In its natural state, this part of the river is not entirely navigable. The so called “divagant” region requires continuous dredging, completed with a marking-out of the buoys. The navigation route so obtained had to be modified several times, because new channels had been formed, while others became unusable.

\* Président du Symposium, directeur de la Classe des Sciences techniques, chargé de cours à l'Université Libre de Bruxelles, inspecteur général des Ponts et Chaussées ; Ministère des Travaux publics, Résidence Palace, Rue de la Loi 155, B-1040 Bruxelles (Belgique).

La République du Zaïre possède diverses liaisons ferroviaires internationales (fig. 1).

La voie de Lobito, en Angola, d'une longueur de 2000 km, se franchit en 7 à 8 jours, de même que la voie de Beira, au Mozambique (1800 km de long). Deux autres voies se parcourent en 14 jours : la voie de Port Elisabeth, en Afrique du Sud (longue de 3500 km), ainsi que la voie de Dar-es-Salam, en Tanzanie ; cette dernière, longue de 2700 km, comporte deux transbordements à Kalemie et Kigoma, sur les rives du lac Tanganyika.

La plus grande partie du transport international suit un cinquième trajet, qui présente l'avantage d'être situé entièrement sur territoire national et permet donc d'éviter tout paiement de transport en devises étrangères. Il s'agit de la voie dite « Nationale », une voie mixte fleuve-rail qui comporte une partie du fleuve Zaïre. Il existe trois trajets principaux. De Kisangani à la mer, un trajet long de 2200 km s'effectue en 15 jours ; de Lubumbashi à la mer, il faut 18 jours pour parcourir 2900 km, y inclus un troisième tronçon de 1300 km, d'Ilebo jusqu'à la mer. Ces trois trajets n'en forment plus qu'un à partir de Malela (ex-Kwamouth), et c'est cette dernière partie de la Voie Nationale qui comporte le bief maritime du fleuve Zaïre.

Parmi les grands fleuves du monde, le Zaïre se place, par son débit, en deuxième position, après l'Amazone ; par sa longueur d'environ 4400 km, en quatrième position, après le Nil, l'Amazone et le Yang Tsé Kiang. Son bassin versant couvre 3,7 millions de km<sup>2</sup> du bassin équatorial d'Afrique Centrale, dans un cercle d'environ 2250 km de diamètre, entre les Monts de Cristal à l'Ouest et la grande dorsale transafricaine à l'Est, avec environ 600 km au nord et 1600 km au sud de l'Équateur (fig. 2).

Appelé d'abord Lualaba, il prend sa source dans le Shaba près de la frontière de la Zambie, arrose Kindu, Kisangani (ex-Stanleyville), Mbandaka (ex-Coquilhatville), Irebu, où il reçoit l'Ubangi (qui fait la frontière avec la République Centrafricaine), Malela (ex-Kwamouth), où il reçoit le Kasai (qui, à Ilebo, est relié à la voie ferrée venant de Lubumbashi), puis Kinshasa, la capitale. Depuis sa source, il est navigable sur 2844 km, soit plus de la moitié de sa longueur. Entre Kinshasa et Matadi, une suite de rapides le rendent impropre à la navigation sur 356 km.

Un profil en long (fig. 3 et 4) vous montre que, sa source se situant à 1300 m d'altitude, le Zaïre n'en a plus que 273 à Kinshasa, tandis qu'à Inga il passe brutalement de 138 à 43 m, sur une distance de 24 km, pour ne plus avoir que 7,5 m d'altitude à Matadi et 3,6 à Boma.

Le site d'Inga, favorable à la construction d'une centrale hydro-électrique, se situe à environ 300 km en aval de Kinshasa (fig. 5). Un barrage y a

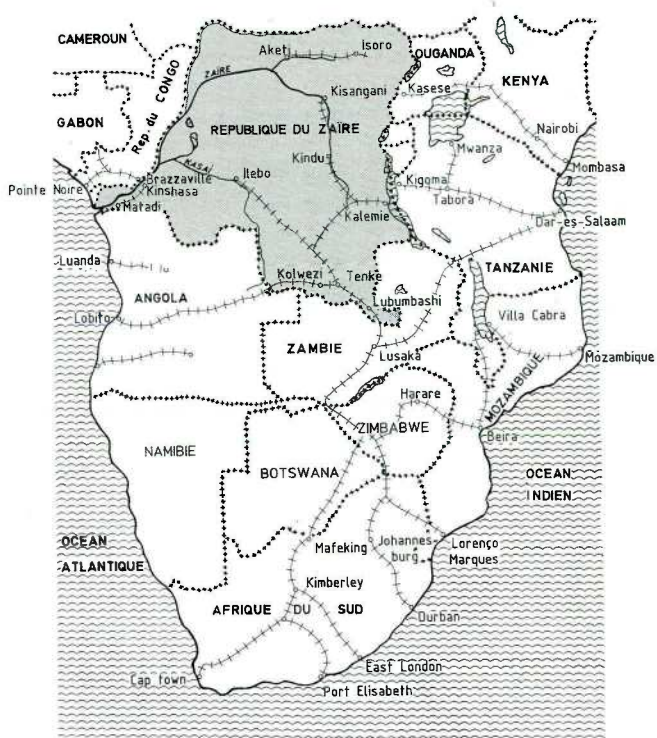


Fig. 1. Liaisons ferroviaires internationales

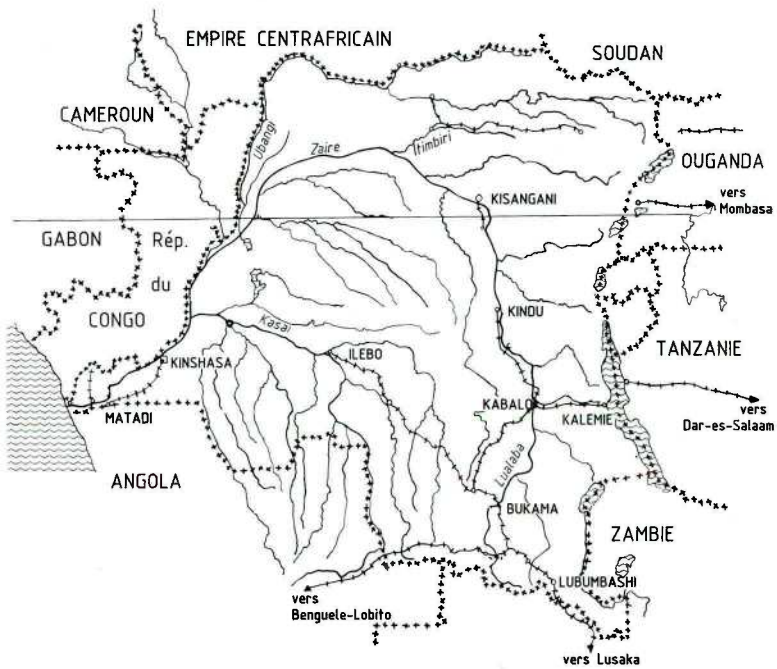


Fig. 2. Le fleuve Zaïre

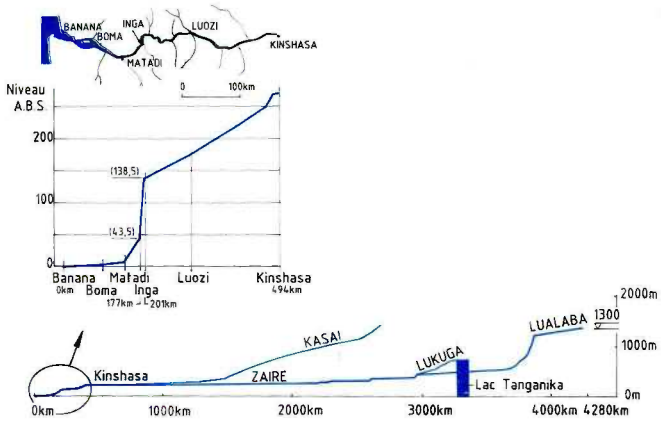


Fig. 3. Profil en long du fleuve Zaïre

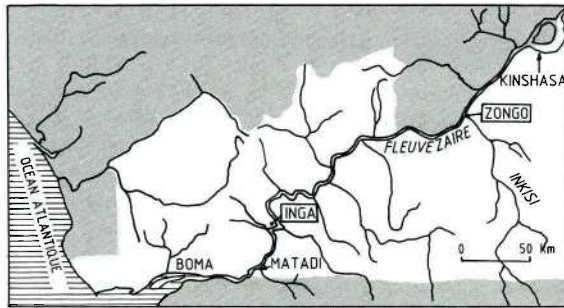


Fig. 4. Le Zaïre de Kinshasa à l'océan

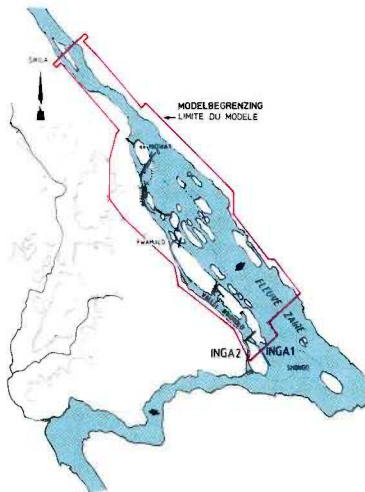


Fig. 5. Modèle réduit du site d'Inga



été construit dans une vallée parallèle au fleuve, appelée vallée Van Deuren en mémoire de celui qui la découvrit (fig. 6). L'installation hydro-électrique a une puissance installée de 1580 MW, et cette production d'énergie peut être portée à 20 000 MW en barrant totalement le fleuve.

Les quais du port de Matadi peuvent recevoir 9 navires. C'est par ce port que transite la plus grande partie du commerce international du Zaïre (fig. 7). M. J. Van Leeuw vous en parlera de façon plus détaillée.

Le goulet d'Underhill, immédiatement en aval de Matadi, a 450 m de large. Le fleuve Zaïre, après l'avoir franchi, creuse une immense baie dans le rocher. C'est le «Chaudron d'Enfer», profond de plus de 120 m.

Un pont de 732 m, dont 520 m de travée centrale, mis en service en 1984, franchit le goulet d'Underhill (fig. 8). Il s'agit d'un pont à double étage dont le tablier supérieur peut recevoir une chaussée à double voie et le tablier inférieur la voie de chemin de fer. La hauteur libre sous le pont (tirant d'air) est de 53 m. Les pylônes ont 97 m de haut. Ce pont est le seul en aval de Kinshasa.

Quatre ponts franchissent le Zaïre :

- Le pont de chemin de fer de Bukama, long de 240 m [ligne Lubumbashi/Ilebo (Kasai)] ;
- Le pont rail-route de Kongolo, 498 m de long (ligne Kamina-Kabalo-Kindu) ;
- Le pont de chemin de fer construit en aval de Kabalo (lignes Kamina-Kabalo-Kalemie et Kabalo-Kindu) ;
- Le pont rail-route de Matadi, 732 m de long (voir *supra*).

Avant la construction de ce dernier, la seule liaison avec la route de Boma était le bac (fig. 9). Actuellement, ce pont assure la jonction entre les rives droite et gauche de la route de Matadi à Boma et Banana.

De Matadi à Boma, le fleuve coule pendant 56 km entre des rives stables dans une zone rocheuse. Il est profond, bien balisé et ne présente pas de difficultés pour la navigation.

Les quais du port de Boma peuvent accueillir 3 navires. Il est l'exutoire du Mayumbe, son trafic principal étant le bois, les bananes et l'huile de palme à l'exportation, et le cargo général à l'importation.

La région dite «divagante» se situe entre Boma et Kisanga. Cette vaste étendue de hauts fonds sablonneux s'étale sur une longueur de 55 km. Le fleuve y est peu profond, et les passes navigables doivent être entretenues par dragage. Nous en parlerons plus longuement tout à l'heure.

A l'aval de Kisanga, le fleuve coule sur 32 km dans une fosse profonde. Il se jette dans l'Océan Atlantique à Banana, et s'étend en un estuaire large de 9 km.



Banana est une presqu'île en bordure de mangroves importantes, entrecoupées de nombreuses criques où il serait possible de construire un port en eau profonde (fig. 10).

La fig. 11 représente une maquette qui schématise le profil du fleuve Zaïre en aval de Matadi. De Matadi à Boma, le fleuve est profond. De Boma à Kisanga, il s'élargit et le fond se relève. De Kisanga à l'océan, il s'approfondit en un «canyon» maritime de plus de 1000 m de profondeur.

Le réseau de voies d'eau intérieures du Zaïre, de 13 732 km de long, s'étend en amont de Kinshasa en deux éventails que l'on peut répartir (fig. 12) :

*Bassin du Kasai*, la Fimi (Lukenie - lac Mai Ndombe), le Sankuru et le Lulua étant les affluents de rive droite du Kasai ;

Le Kwango, les Kwilu, Inzia, Wamba et le Loage étant les affluents de rive gauche du Kasai.

*Bassin du Zaïre*, l'Ubangi, la Mongala et l'Itimbiri étant les affluents de rive droite du Zaïre ;

Les Ruki, Busira, Tshuapa, le Lulonga et le Lomami étant les affluents de rive gauche du Zaïre.

Le Kasai est navigable de Malela à Ilebo (605 km) pour des convois de 5 à 7000 tonnes de déplacement (max. : long. 150 m, larg. 33 m, tirant d'eau 1,20 m).

Le Zaïre est navigable de Kinshasa à Kisangani (1742 km) pour des convois de 6 à 8000 tonnes de déplacement (max. : long. 220 m, larg. 18 m, tirant d'eau 1,80 m).

En général, les affluents du Zaïre et du Kasai (9937 km) sont tous navigables pour des unités de 5 à 40 tonnes ayant un tirant d'eau de 0,40 à 0,85 m.

La navigation lacustre totalise 1300 km, et le bief maritime accessible aux grands navires de mer calant de 24' (7,32 m) à 30' (9,15 m) permet de joindre le port de Matadi, 148 km à l'intérieur des terres.

Comme le bassin versant du Zaïre est situé de part et d'autre de l'Équateur, les saisons d'étiage de ses affluents diffèrent. Son régime, de ce fait, est caractérisé par deux périodes de décrue, dont la première et la moins forte correspond à la saison d'étiage des affluents de l'Hémisphère Nord et a lieu en mars-avril ; la seconde, toujours plus importante que la première (qui correspond à la saison d'étiage des affluents de l'Hémisphère Sud) a lieu en juillet-août, moment des plus basses eaux (fig. 13).



*Fig. 6. Les barrages Inga 1 e: 2 et la vallée N'koko sous eau:*





*Fig. 7. Le port de Matadi*



*Fig. 8. Le pont de Matadi*



*Fig. 9. Le bac de Matadi*



Fig. 10. La presqu'île de Banana

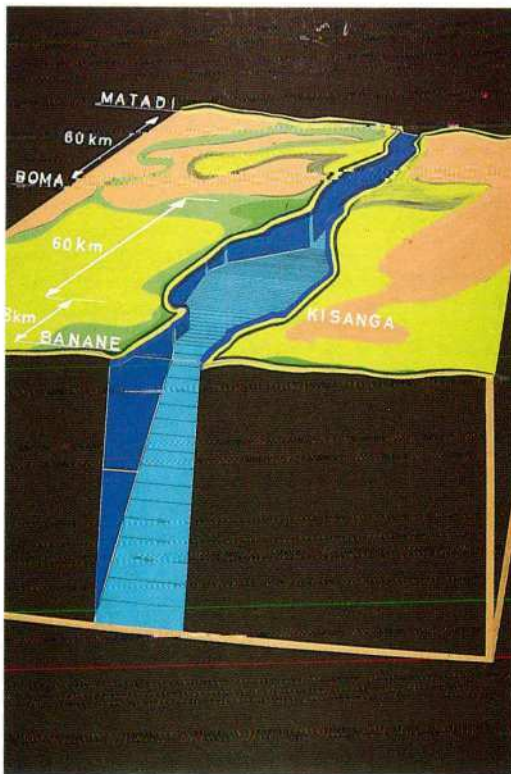


Fig. 11. Maquette montrant, en aval de Matadi, la Région divagante et la fosse géologique

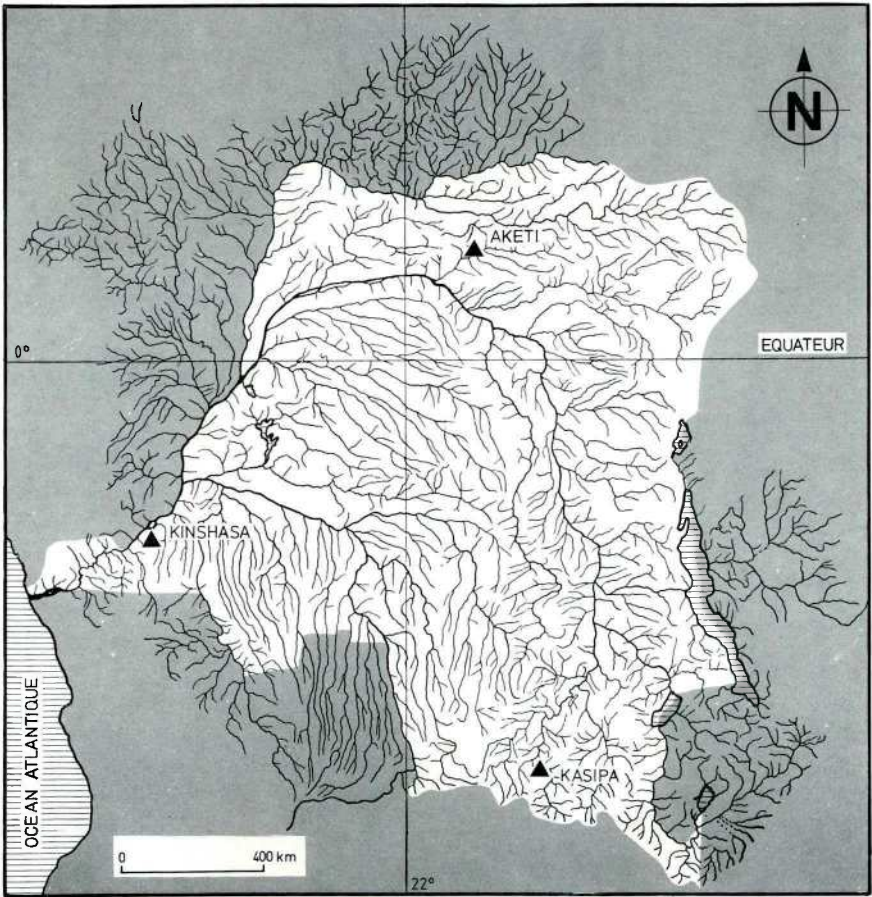


Fig. 12. Le bassin du Zaïre



Chacune de ces décrues est séparée par une crue, la première et la moins importante ayant lieu en mai, la seconde — qui correspond à la période des plus hautes eaux — en décembre.

Au sud de l'Équateur, à Kasipa, sur le Lualaba, la crue du fleuve se produit au printemps. Au nord de l'Équateur, à Aketi, sur l'Itimbiri, elle a lieu en automne (fig. 14).

A Kinshasa, Matadi et Boma, la petite crue annuelle se produit en mai, la grande crue au mois de décembre.

Le débit du fleuve Zaïre est compris entre 23 000 m<sup>3</sup>/s aux basses eaux, en août, et 80 000 m<sup>3</sup>/s aux hautes eaux, en décembre. Le rapport entre le débit de crue et le débit d'étiage est exceptionnellement faible. Pour la Meuse, le Nil, l'Amazone, le Rhin, il vaut 100, tandis que pour le Zaïre il n'est que de 3.

Favorisée par la présence de la fosse géologique ou «canyon» du Zaïre, la marée pénètre dans l'embouchure et remplit d'eau de mer ce canyon profond de plus de 300 m au droit de Bulabemba. L'eau de mer parcourt ainsi 32 km à l'intérieur des terres, à l'aval de la région divagante (fig. 15).

Le débit d'eau douce du fleuve doit donc s'écouler au-dessus d'une masse d'eau de mer. La profondeur de la couche d'eau douce, qui varie de 3 à 6 m en fonction du débit du fleuve, est influencée également par la marée, car au jusant elle est plus épaisse qu'au flot. Cependant, l'eau douce coule toujours vers l'océan, sans renversement de sens (fig. 16). L'eau de mer, par contre, forme un coin d'eau salée soumis à l'influence de la marée, avec renversement de courant toutes les six heures et fluctuation du niveau suivant que la marée est haute ou basse.

Dans l'estuaire du fleuve Zaïre, un navire est donc soumis à l'action de courants différents, situés à des profondeurs différentes. Aussi, pendant le gagnant, c'est-à-dire à marée montante, le courant de surface entraîne le navire vers l'océan, tandis que le courant de fond, qui est un courant de flot, le pousse vers l'intérieur des terres.

Ce phénomène se remarque lorsqu'un navire à fort tirant d'eau et une vedette fluviale à faible tirant d'eau s'accostent. Les deux bâtiments évitent différemment, car la vedette est soumise à l'action du fort courant superficiel, tandis que le navire plus profond ne subit que l'influence résultant de deux courants de sens contraire.

De plus, la force d'Archimède diminue lorsque le navire pénètre dans l'estuaire ; le navire s'enfoncé et son tirant d'eau augmente.

M. A. Lederer expliquera l'importance de ces phénomènes sur le comportement du navire dans les eaux du bief maritime.

A Banana, la marée est du type semi-diurne lunaire :

- Son établissement du port est de 4 h 27 (l'établissement du port est la constante qu'il faut ajouter à l'heure de passage de la lune au méridien du port, pour obtenir l'heure de la marée haute) ;
- Son amplitude moyenne est de 1,40 m en vives eaux (syzygie) et 0,70 m en mortes eaux (quadrature) (fig. 17) ;
- Les durées moyennes des gagnant et perdant sont respectivement 6 h 35 et 5 h 50.

L'onde de marée se propage dans le fleuve. Son influence est ressentie jusqu'à Boma.

En moyenne, la marée se produit à Ziamanganga (ex-Convensaingh) 1 h 15 après celle de Banana pour la marée haute, et 1 h 32 après pour la marée basse. Son amplitude est de 0,69 m en vives eaux, et 0,33 m en mortes eaux.

A Boma, la marée haute se produit 3 h 50 après celle de Banana, la marée basse 4 h 35 après. Son amplitude y est de 0,08 m en vives eaux, et 0,03 m en mortes eaux (fig. 18).

Dans le bief maritime, les profondeurs sont largement suffisantes pour permettre aux grands navires de naviguer facilement depuis la mer jusqu'à Kisanga (Pointe Écossaise) et de la pointe de Ditadi Dia Mvingu (ex-Fetish Rock) jusqu'aux ports de Boma et Matadi (fig. 19).

Les passes difficiles sont concentrées dans la zone comprise entre Kisanga à l'aval et la pointe de Ditadi Dia Mvingu (ex-Fetish Rock) à l'amont. Cette zone, appelée «Région divagante», est bordée au nord par les îles Katala et au sud par la rive angolaise du fleuve ; pool sablonneux d'environ 35 km de long et 18 km de large, cette région de hauts fonds est encombrée d'îles, d'îlots et de bancs de sable.

A part un banc rocheux à l'amont de l'île des Oiseaux, et quelques endroits appelés «points durs» où l'on trouve de l'argile, le lit du fleuve se compose de sable dont la grosseur des grains varie selon les sites.

L'ensablement important de cette vaste zone de 300 km<sup>2</sup>, faisant office de «bassin de décantation», est causé par l'élargissement du lit du fleuve, qui de la largeur entre rives de 1,5 km à une distance de 7 km en amont de Boma, passe à 18 km en moyenne, à environ 20 km en aval de cette même ville (fig. 20).

Le courant n'étant plus concentré entre des rives stables, il s'épanouit, ralentit sa course, dépose le sable qu'il charrie, érode, crée des chenaux, forme et déforme des bancs et des îles entre lesquels il méandre, les fait disparaître... bref fait «divaguer» le fond du fleuve essentiellement malléable

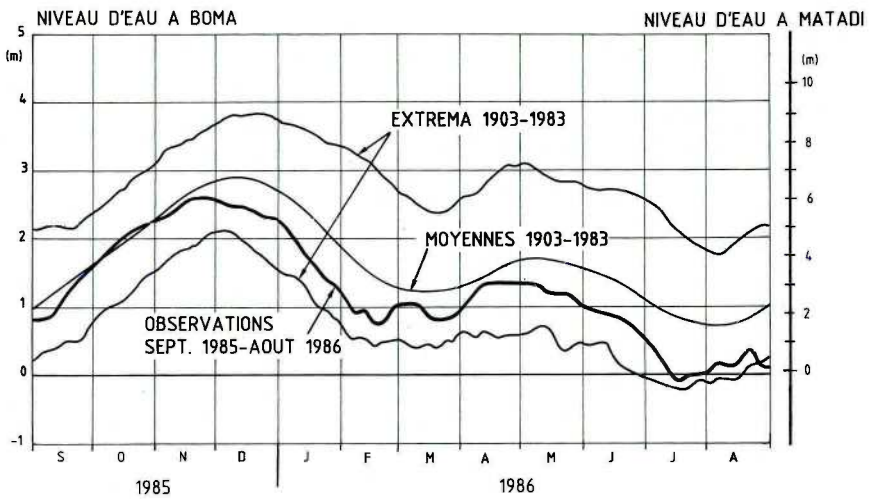


Fig. 13. Crues 1903-1986 - Enveloppe et moyennes

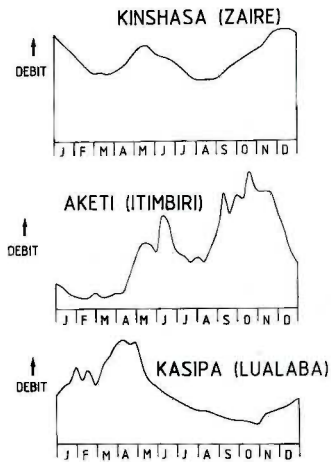


Fig. 14. Répartition des crues du fleuve

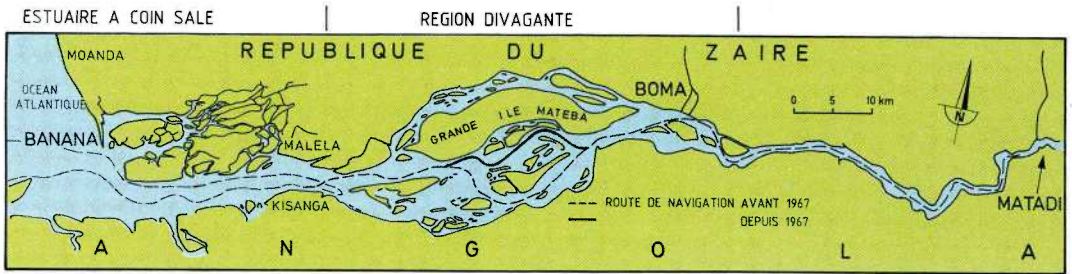


Fig. 15. Le "Canyon" sous-marin à l'embouchure du fleuve

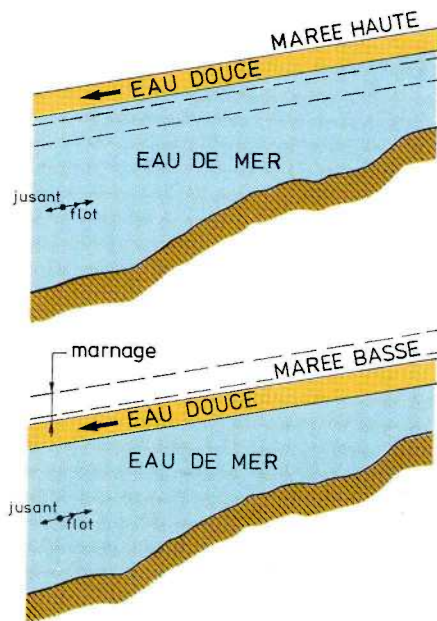


Fig. 16. Le coin salé de l'embouchure

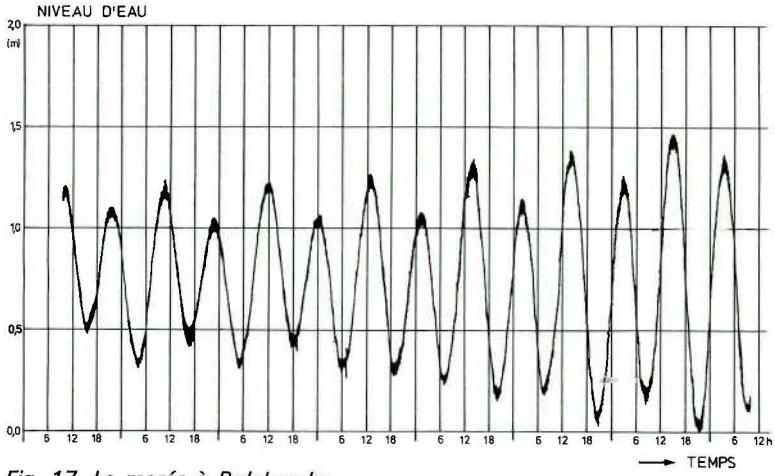


Fig. 17. La marée à Bulabemba

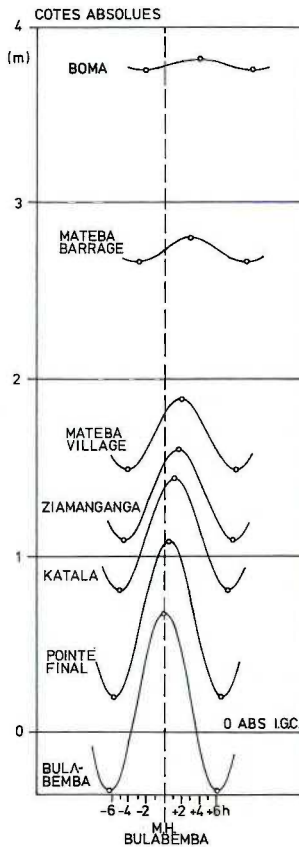
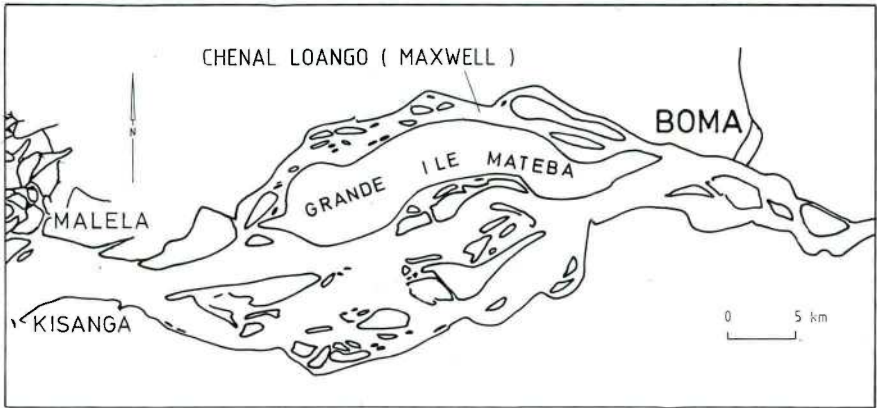


Fig. 18. Propagation de la marée dans le fleuve





*Fig. 19. La région divagante*



*Fig. 20. Photo du centre de la région divagante*

dans cette région où la profondeur d'eau naturelle se situe aux alentours de 15 pieds (4,50 m). En charge, les cargos modernes calent de 26 à 30 pieds (7,90 m à 9,15 m). Il faut donc approfondir le fleuve pour passer des 4,50 m créés par la nature aux 8 à 9 m de profondeur souhaités par les armateurs (fig. 21).

En amont de Kinshasa, la navigation est fluviale et les unités qui y naviguent ont un tirant d'eau maximum de 1,80 m (fig. 22).

Le tirant d'eau autorisé fluctue cependant en fonction de l'état des crues et de l'ensablement des passes dans la région divagante. Pendant certaines périodes, par exemple au moment du début d'une décrue ou lorsqu'un banc de sable se déplace en traversant une passe, le maintien artificiel d'une grande profondeur d'eau exige des travaux de dragage très importants. Dans ces conditions, on a rarement pu garantir une profondeur de 30 pieds.

La Régie des Voies Maritimes du Zaïre possède actuellement cinq dragues suceuses-porteuses : deux d'entre elles ont une capacité de 1300 m<sup>3</sup> et sont équipées d'élindes fixes et traînantes ; deux autres, d'une capacité de 1500 m<sup>3</sup>, sont équipées d'élindes fixes, de même que la dernière, de 850 m<sup>3</sup> de capacité. Les deux premières, la *Mayumbe*, construite par Belliard Murdoch à Ostende, et la *Banana*, construite par les chantiers Sint Pieter à Hemiksem, ont été mises en service en 1971. La *Tshuapa* et la *Kasai* sont plus récentes ; elles ont été construites par IHC Holland et mises en service respectivement en 1976 et en 1978 (fig. 23). Ces dragues représentent environ le double de la capacité de dragage d'avant 1971, quand la plus grosse capacité de puits des dragues utilisées était de 850 m<sup>3</sup>, sur la *Mwene Ditu* (ex-*Maxwell*), construite par IHC Holland en 1959 et toujours en service.

Les dragages sont dirigés par un officier baliseur, qui place les bouées et fixe le tirant d'eau autorisé en fonction des profondeurs qu'il sonde dans les passes. Il est chargé également de vérifier si les dragages sont bien effectués. Il dispose pour cela d'un bateau baliseur équipé d'une grue et d'une unité fluviale de surveillance munie d'un écho-sondeur et du positionneur français Syledis de radio-localisation.

A l'entrée de la région divagante, au droit de Boma et du rocher Dia Mvingu (ex-Fetish Rock), on a remarqué que les sédiments charriés par le fleuve se partagent : les plus fins sont transportés vers le Nord et les plus gros vers le Sud (fig. 24). Ce phénomène déjà observé en 1938 par le professeur R. Spronck a été vérifié en 1968, lors des études effectuées par les techniciens du Laboratoire de recherches hydrauliques. Les plus gros grains de sable suivraient le courant le plus fort, et les plus petits le courant le plus faible.

Les fig. 25 à 28 représentent des photographies de grains de sable de diamètre différent. La granulométrie, la forme plus ou moins anguleuse des grains ainsi que leur composition minéralogique permettent de déterminer leur origine. En se déposant au fond du fleuve, le sable y forme des rides, des dunes et des anti-dunes suivant la relation « hauteur-débit » qui, d'après l'état du fleuve, est soumise à des variations importantes. La fig. 29 montre des reproductions d'écho-grammes illustrant les différents types de rugosité du fond du fleuve en fonction de la crue. Leurs caractéristiques seront exposées par M. J.-J. Peters.

La fig. 30 représente une maquette d'un seuil de l'archipel des Tortues et met en évidence la disposition des dunes sur le fond. La fig. 31 reproduit les courants de surface, les crêtes des dunes, les limites de la fosse profonde et l'axe de la route de navigation.

Il nous faut considérer cinq directions : celle du courant de surface ; celle du courant de fond ; la progression du sable ; la progression des crêtes des dunes ; l'axe de navigation. Ces directions diffèrent les unes des autres ; les crêtes des dunes sont inclinées de  $45^\circ$  sur la direction du courant de surface, et se déplacent obliquement par rapport au courant, à une vitesse d'environ 7 m par jour (soit 20 000 fois moins vite que l'eau). Lorsque le lit d'un fleuve a une forme sinueuse, les problèmes de navigation sont localisés aux points d'inflexion, que l'on appelle « seuils ». On y rencontre les plus faibles profondeurs et généralement on doit y draguer. L'ensablement d'un seuil peut s'effectuer en quelques jours, exceptionnellement en quelques heures. C'est pourquoi il est nécessaire de réaliser des levés hydrographiques répétés pour surveiller l'évolution des seuils. L'évolution d'un seuil peut être observée à l'aide des lectures d'échelles de crue placées à l'amont et à l'aval immédiats du seuil. Ainsi, par des méthodes peu coûteuses, l'hydraulique fluviale peut mettre en évidence le mouvement des seuils.

Le débit solide, c'est-à-dire la quantité de sédiments transportée par l'eau du fleuve Zaïre, est de septante millions de tonnes par an, alors qu'on ne drague que quelques millions de tonnes de sable par an.

En période de crue, la vitesse du courant étant plus grande, l'érosion s'accroît et le lit se creuse, tandis que le transport du sable en suspension dans l'eau et le charriage augmentent. Mais immédiatement après la pointe de crue, lorsque le niveau d'eau commence à baisser et que la vitesse du courant diminue, le sable en suspension dans l'eau et celui qui est charrié le long du fond s'y déposent (fig. 32). C'est alors l'ensablement rapide des seuils, ce qui cause la perte du mouillage offert dans les passes navigables. Celle-ci se produit bien que les eaux soient toujours hautes, car elles





*Fig. 21. "m/v Wahehe" remontant le fleuve*



*Fig. 22. Convoi fluvial en amont de Kinshasa*



*Fig. 23. La drague Tshuapa*

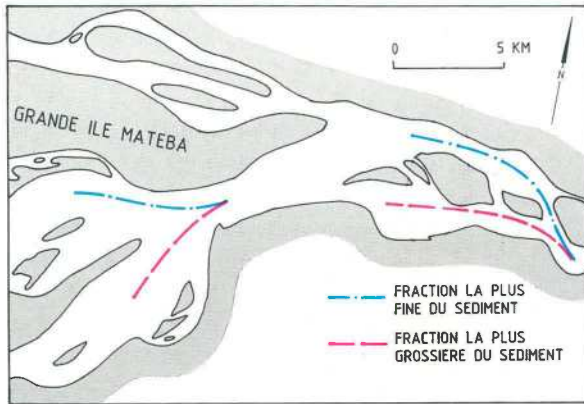


Fig. 24. Répartition des sédiments



Fig. 25. Grains de sable - grossissement 50 fois



Fig. 26. Grains de sable - grossissement 100 fois





*Fig. 27. Grains de sable - grossissement 50 fois*



*Fig. 28. Grains de sable - grossissement 500 fois*

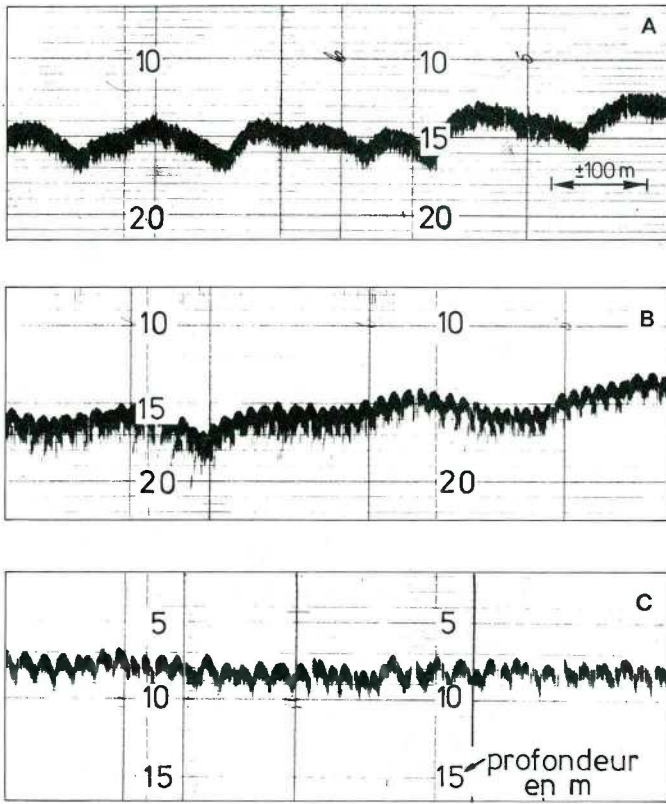


Fig. 29. Echo-grammes - Pool de Mateba Amont

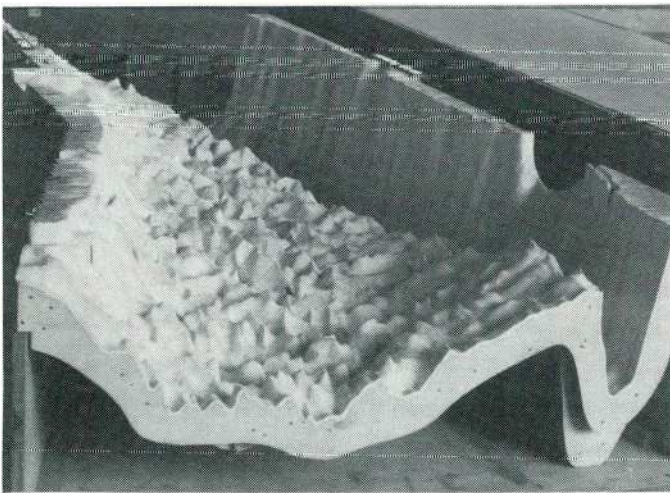


Fig. 30. Maquette d'un seuil de l'archipel des Tortues

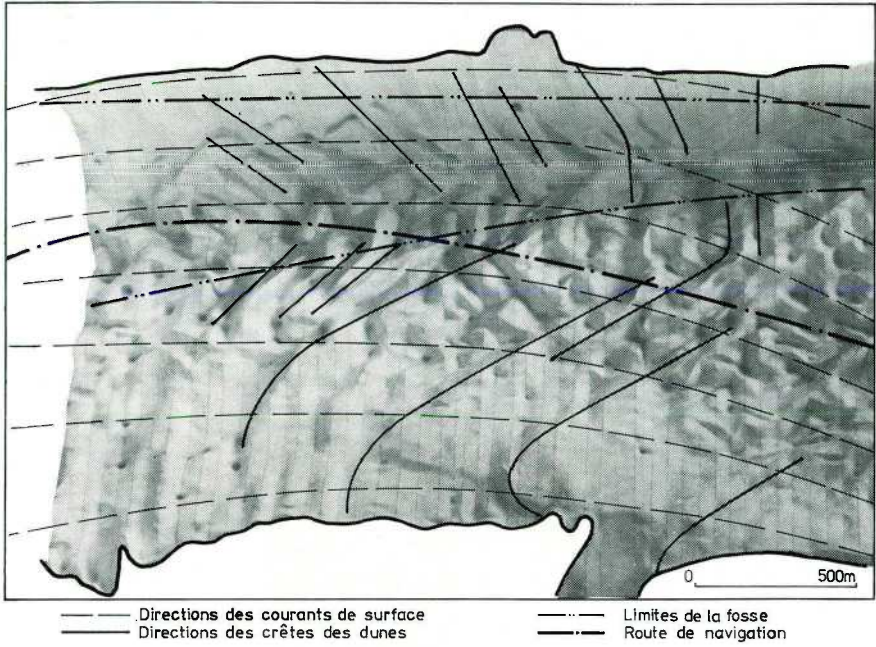


Fig. 31. Directions : fond et courants

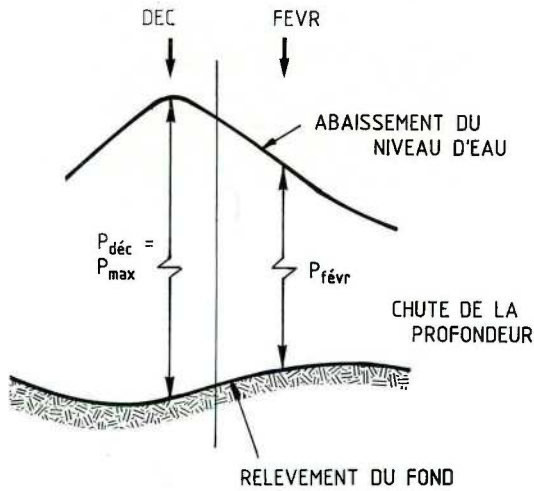


Fig. 32. Rapport crue/mouvement du fond



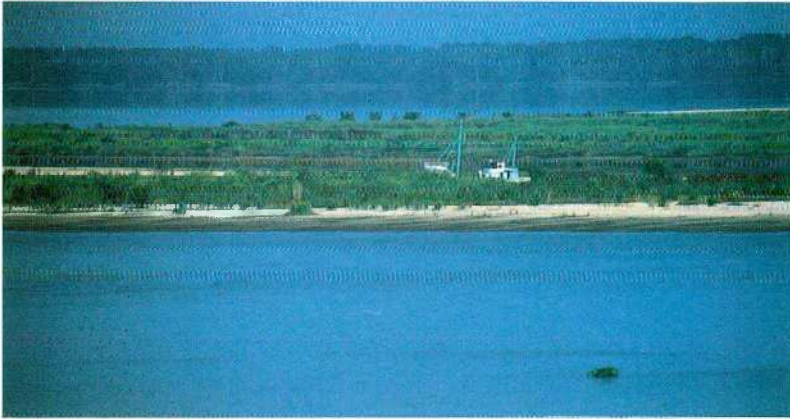


Fig. 33. Le "Sanzala" ensablé

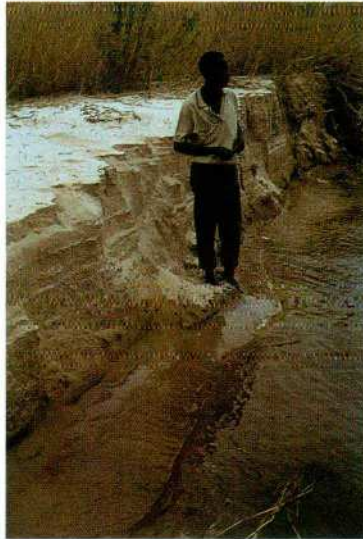


Fig. 34. Erosion de rive

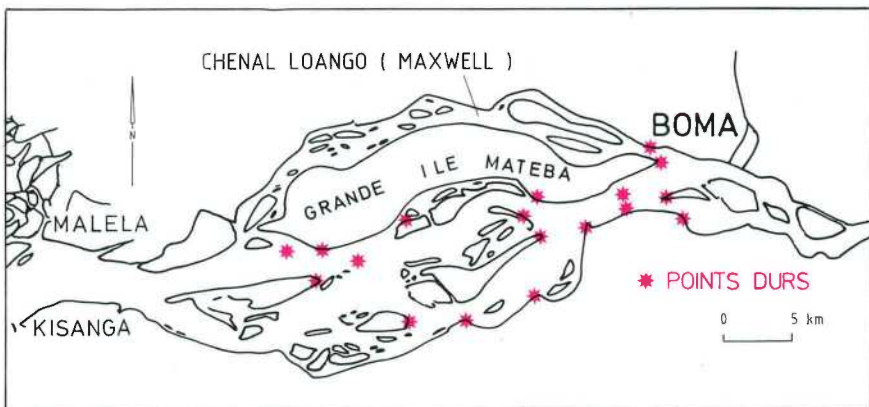


Fig. 35. Les points durs connus



descendent plus lentement que ne s'effectue le relèvement du fond du fleuve. On se trouve alors paradoxalement obligé de diminuer le tirant d'eau maximum autorisé pour la navigation fluviale, car la vitesse du courant restant plus forte qu'en crue moyenne, l'apport de sable sur les seuils est plus important que la capacité de dragage et de transport. L'évolution des fonds peut être très rapide et parfois catastrophique.

Ainsi, en 1961, lors de la grande crue de décembre, un navire presque léger s'est échoué dans l'axe de la passe navigable, le long de l'Ile Bulikoko, à 13 h, avec un tirant d'eau de 15', alors qu'à 7 h, le matin même, le mouillage offert à cet endroit était 30'.

Dans cette même région, en 1980, le bateau de pêche *Sanzala*, échoué dans le seuil de Ziamanganga, n'a pu être dégagé et est totalement ensablé (fig. 33).

La fig. 34 illustre l'érosion d'une rive concave.

L'ingénieur est tenté de trouver des solutions définitives afin de fixer la route de navigation par des épis, des barrages de certains bras du fleuve, des digues guideau, la protection des berges, etc. Non seulement ces solutions sont coûteuses, mais encore elles sont aléatoires.

L'essai de barrage du faux bras de Mateba qui a été réalisé avec des palplanches dans les années 30 n'a pas été concluant. Le barrage a été emporté par le courant et actuellement il n'en subsiste quasi rien.

Cependant, les «points durs» naturels de roche ou d'argile consolidée ont une telle influence sur l'évolution des bancs de sable et des passes que, bien que l'on n'ait pas encore appliqué ce projet, on pourrait étudier sur modèle réduit, en laboratoire, leur influence sur la stabilisation des passes navigables (fig. 35).

En attendant une hypothétique régularisation par ouvrages, la technique la meilleure et la moins onéreuse pour régulariser les passes reste encore et toujours le dragage.

*Symposium*  
«L'Accès maritime au Zaïre»  
(Bruxelles, 5 décembre 1986)  
Académie royale des Sciences  
d'Outre-Mer  
pp. 21-42 (1988)

*Symposium*  
„De Maritieme Toegang tot Zaïre”  
(Brussel, 5 december 1986)  
Koninklijke Academie voor Overzeese  
Wetenschappen  
pp. 21-42 (1988)

## DE GEOMORFOLOGIE VAN BENEDEN-ZAIRE

DOOR

B. STEENSTRA \*

129693

SAMENVATTING. — Het stroompatroon van de Zaïrestroom in Beneden-Zaïre wordt bepaald door een aantal geologische condities. Dit zijn in de eerste plaats de samenstelling van de verschillende gesteenten die aanleiding geven tot een min of meer snellere erosie in bepaalde formaties, maar eveneens de zones met tektonische vervormingen en brecciezones.

Men kan, tussen Inga en Banana drie grote indelingen maken :

- a. Een zone tussen Inga en de Chaudron d'Enfer, waarbij de rivier voornamelijk de richting van de lagen volgt of deze hier loodrecht op doorbreekt langs breukzones (zig-zag patroon) ;
- b. Een zone tussen Matadi en Boma, waar de rivierloop de zachtere lagen volgt die rond verschillende kristallijne koepels aanwezig zijn (sinusoïdaal patroon) ;
- c. Een zone stroomafwaarts van Boma, waar de rivier eerst verwilderd is en dan in de subhorizontale lagen ingesneden wordt ongeveer loodrecht op de strekking.

Terwijl de zones a en b zich in gebieden met sterk vervormde en vaak gegranitseerde precambrische gesteenten bevinden, is in het gebied c slechts krijt tot recente gesteenten gevonden, meest van marine oorsprong. Tengevolge van een lichte kanteling van het gehele gebied in westelijke richting, vindt men verjongde insnijdingen in verschillende zijrivieren. De overgang van b naar c wordt gekenmerkt door een zone met vrij grove klastische gesteenten („Grès sublittoraux”) waarvan de samenstelling overeenkomt met afbraakmateriaal van de precambrische kristallijne gesteenten (arkoses, grove zandstenen, soms met kleilaagjes), die waarschijnlijk lagunair zijn en die een vrij harde afzetting vormen. Deze „Grès sublittoraux” zijn vaak afgezet rond en tussen uitstekende punten van het oude kristallijne reliëf en waar deze doorbroken is vormde zich een accumulatie van fijner materiaal waarbij de eigenlijke stroomdraad verloren is en de stroom verwilderd („Zone divagante”). De Chaudron d'Enfer, even stroomafwaarts van Matadi, heeft zijn oorsprong in een gebreccieerde zone waar de snijpunten van verschillende breuken samenkomen en de diepere ondergrond zachtere gesteenten heeft dan aan de oppervlakte.

RÉSUMÉ. — *La géomorphologie du Bas-Zaïre.* — Le réseau fluvial du Fleuve Zaïre dans le Bas-Zaïre est caractérisé par des conditions géologiques. En premier lieu, une plus grande possibilité d'érosion de quelques zones plus tendres par rapport à des roches dures, mais aussi par les zones à tectonique de broyage le long des zones de failles.

\* Erewerkend lid van de Academie ; overleden op 9 januari 1988.

Entre Inga et Banana, on peut distinguer trois grandes subdivisions :

- a. La zone entre Inga et le Chaudron d'Enfer, où le Fleuve suit surtout la direction des couches ou les recoupe presque perpendiculairement le long des zones de failles (système en zigzag) ;
- b. La zone entre Matadi et Boma où le Fleuve contourne dans des roches tendres des coupoles de roches cristallines (système sinusoïdales) ;
- c. Une zone en aval de Boma, où le Fleuve devient d'abord sauvage et recoupe ensuite perpendiculairement la direction des couches subhorizontales à faible pendage ouest.

Tandis que les zones a et b sont situées dans des roches précambriennes, souvent fortement tectonisées et parfois granitisées, la région c est composée de sédiments du crétacé inférieur jusqu'à récents, pour la plupart d'origine marine. A cause d'un léger basculement vers l'ouest, on trouve des rajeunissements dans plusieurs affluents. Le passage de b à c est caractérisé par une zone à sédiments clastiques assez grenus («Grès sublittoraux») dont la composition correspond au matériel de décomposition de roches cristallines du précambrien (arkoses, grès grenus, parfois avec des lits argileux) et qui sont probablement des dépôts lagunaires. Ils forment des roches assez résistantes. Ces «Grès sublittoraux» sont souvent déposés entre et autour de pitons de roches cristallines de l'ancien relief et après le passage de ces roches, le Fleuve a formé une accumulation de matériaux plus fins dans laquelle la ligne de courant se perd et le Fleuve devient sauvage («Zone divagante»). Le Chaudron d'Enfer, un peu en aval de Matadi, a son origine dans une zone brecciée aux croisements de plusieurs failles avec la présence de roches plus tendres en profondeur qu'en surface.

SUMMARY. — *The geomorphology of Lower-Zaire.* — The stream pattern of the Zaire river in Lower-Zaire is the specific result of different geological conditions. These are in the first place the selective erosion in the formations, but also the zones of tectonic deformation and brecciation.

Between Inga and Banana one can distinguish three major divisions :

- a. A zone between Inga and the "Chaudron d'Enfer", where the river follows the direction of the layers, or cuts them nearly perpendicularly along zones of faulting (zigzag pattern) ;
- b. A zone between Matadi and Boma, where the river follows the softer rocks surrounding hard domes of cristalline rocks (sinusoïde pattern) ;
- c. A zone downstreams of Boma, where the river is braided in the beginning ("Zone divagante") and afterwards perpendicularly cuts through the slightly westdipping formations.

While sections a and b are found in areas of Precambrian rocks showing intense deformations and often granitization, section c is found in an area with rocks from Cretaceous to Recent, mostly of marine origin. Due to a small shift of the whole area to the west, one finds rejuvenation in different affluents of the river. The intermediate zone between b and c is characterised by a zone with rather coarse clastic sediments ("Grès sublittoraux") of which the composition corresponds to the materials of destruction of the cristalline Precambrian rocks (arkoses, coarse sandstone, some shales). They are most probably of lagoon origin and they form a rather resistant rock. These "Grès sublittoraux" are deposited between and around protruding tops of an old relief of the cristalline rocks, but where they are cut by the river, one finds a zone with accumulation of finer sediments in which the river anastomoses into an



interlacing system of channels (braided pattern, "Zone divagante"). The "Chaudron d'Enfer", a little downstream of Matadi, has its origin in a brecciated zone due to the meeting of different faults and to softer rocks below the hard rocks at the surface.

## 1. Inleiding

Indien men geomorfologie definieert als de relatie tussen landschapsvormen enerzijds en de structuur en samenstelling van de gesteenten van de ondergrond anderzijds, dan is een geomorfologische beschrijving van de Zaireestroom beneden Kinshasa zeker van belang voor het begrip van de bevaarbaarheidsmogelijkheden van deze rivier.

Doordat het eerste deel van de rivierloop tussen Kinshasa en Matadi gekenmerkt wordt door een groot hoogteverschil over betrekkelijk korte afstand en een enorm aantal stroomversnellingen, is het tweede deel tussen Matadi en de Oceaan echter bevaarbaar, hoewel zich ook hier enkele moeilijkheden voordoen.

Reeds vanaf het begin van de kolonisatiepogingen werden beschrijvingen gepubliceerd over de vorm van het rivierdal, maar een duidelijk algemeen verband tussen de vorm en de geologie en de morfologie kwam niet tot uiting door het ontbreken van goede geologische en structurele kaarten. Het onbevaarbare deel is o.a. beschreven door VAN DEUREN (1928), die vooral gewezen heeft op de verschillende verschijnselen van insnijdingen en terrasvormingen en door ROBERT (1946).

VEACH (1935) beschreef de gehele morfologie van het Kongobekken en trok conclusies met behulp van de toen bekende geologische opbouw, maar zijn studie beslaat een veel groter gebied dan alleen het gebied van Beneden-Zaire.

De eerste betrouwbare algemene geologische kaart van Beneden-Zaire dateert pas uit 1945, toen CAHEN (1945) zijn eigen opnamen samen met die van verschillende andere onderzoekers, samenvatte in een kaart voor de geologische Dienst van Belgisch-Congo.

Een eerste algemene studie van de geomorfologie werd echter pas in 1948 gepubliceerd door CAHEN en LEPERSONNE (1948) waarbij een verband werd gelegd tussen de geologische structuren en de erosieverschijnselen. Zij baseren zich hierbij op de eerder vermelde kaart van CAHEN (1945) en op verschillende detailopnamen van andere onderzoekers.

Sindsdien zijn er verschillende pogingen gedaan om nieuwe geologische en structurele kaarten op te stellen. Deze stuiten echter steeds op een aantal grote moeilijkheden wat betreft het meest stroomafwaartse deel van het



gebied, dat voornamelijk de Mayumbe bevat. Ten eerste bestaat er geen zeer nauwkeurige topografische kaart daar de luchtfoto bedekking onvolledig is voornamelijk wegens het voorkomen van veel bewolking in dit gebied. Ten tweede is de geologie van de Mayumbe zeer ingewikkeld daar de ondergrond bestaat uit de oudste en meest vervormde gesteenten van het gebied. Ten derde verhindert vaak de begroeiing, de diepe verwerking, laterisaties en jongere bedekkinglagen vaak het opstellen van een goed net van observatiepunten. Bovendien is correlatie tussen de verschillende formaties of lagen zeer moeilijk door facieswisselingen en verschillen in metamorfose. Ouderdomsbepalingen zijn dan ook vaak aan verschillende interpretaties onderworpen.

De laatst gepubliceerde kaart van LEPERSONNE (1980, 1983) wordt dan ook terecht een voorlopige kaart genoemd, daar er nog veel problemen op te lossen zijn.

Als algemeen overzicht over de geologie van Beneden-Zaire is echter nog steeds het standaardwerk van CAHEN (1954) van belang, aangevuld met de nieuwere gegevens van STEENSTRA (1959 tot 1974) en van TACK (1975) samen met de conclusies over de stratigrafie en de tektoniek van CAHEN (1977).

Het zal echter nog vele jaren duren eer een meer nauwkeurige beschrijving gepubliceerd kan worden, daar er nog veel veldwerk, ouderdomsbepalingen en petrografisch onderzoek verricht dient te worden. Een overzicht over de huidige kennis van Beneden-Zaire zou reeds een volledig symposium kunnen vullen.

Wij willen ons dan ook hier beperken tot een aantal verschijnselen die zich voordoen in het stroomgedeelte beneden Inga, d.w.z. een deel van het gebied met de stroomversnellingen en het bevaarbare gedeelte.

Teneinde een duidelijk beeld te krijgen van de morfologie van de Zairestroom dienen wij twee aspecten in gedachte te houden.

Ten eerste geeft een geologische kaart weliswaar de tektoniek en de verschillende gesteentelagen aan, maar zegt daarbij niets over de mechanische eigenschappen van de gesteenten zoals die in een geotechnische kaart worden aangegeven, d.w.z. de relatieve hardheid en zachtheid, dus de weerstand tegen erosie en de graad van consolidatie van sedimenten. Een geologische kaart geeft dit niet aan. Met behulp van luchtfoto-interpretatie komt men reeds veel verder, daar relatief harde lagen meest duidelijk in het reliëf vervolgd kunnen worden. Maar ook tektonische vervormingen, begeleid door makkelijk verwerende brecciezones, kunnen zo opgespoord worden. Klimatologische omstandigheden spelen hierbij een rol en relatief

harde gesteenten in één gebied zijn daarom nog niet noodzakelijk hard in een ander gebied. Ook de graad van metamorfose kan een belangrijke invloed hebben.

Het tweede aspect dat in aanmerking genomen dient te worden is de historische ontwikkeling van de rivierloop. Zoals reeds vermeld, wordt deze gekenmerkt door een groot aantal stroomversnellingen, maar tevens door een dal met zeer steile wanden, wat wijst op een zeer jonge insnijding. We moeten dan ook veronderstellen, dat de huidige rivierloop pas in recente tijden ontstaan is, daar deze zich in heeft gesneden door de tertiaire laterietlagen, maar ook door nog jongere lagen, die de plateaus bedekken. Indien de rivierloop oud was, waren de steilwanden reeds sterk geërodeerd en zouden ook de stroomversnellingen belangrijk afgevlakt zijn. Zelfs als er zich een rivierloop op de plateaus bevonden zou hebben, zal deze niet noodzakelijk in overeenstemming zijn met de huidige loop, daar deze voornamelijk door de ondergrond bepaald wordt. Dit leidt ons tot de volgende overwegingen :

Oorspronkelijk bevond zich een enorm binnenmeer in het centrum van midden Afrika. Dit binnenmeer had een afvloeiing naar het noorden in de richting van Tsjaad. Het binnenmeer werd ten westen begrensd door een bergketen, het Kristalgebergte, dat voornamelijk uit prekambriëse gesteenten bestaat met een zeer ingewikkelde tektoniek en samenstelling. De oudste gesteenten hiervan bevinden zich aan de westzijde van de bergrug, waar gesteenten van meer dan 2150 Ma worden gevonden. Sedimentaire gesteenten wisselen hier af met lava's en verschillende plooi-fases zijn vastgesteld. Metamorfoses gaven aanleiding tot omkristallisatie.

Dit gebergte vormde een harde zone waarin een rivier zich slechts met grote moeite kon insnijden.

Tussen dit gebergte en de oceaan vormde zich een kustvlakte waar sedimenten werden afgezet vanaf eind Jura-Onder Krijt tot Recent, deels van mariene, deels van continentale oorsprong.

Vanaf het Kristalgebergte stroomden enkele riviertjes in oostelijke richting naar het binnenmeer en enkele andere in westelijke richting naar de kustvlakte en de oceaan. Op één ogenblik vielen de brongebieden van twee rivieren met tegengestelde stroomrichting samen en kon een deel van het binnenmeer afvloeien in westelijke richting langs een loop die nu nog in grote trekken bewaard is gebleven. Waarschijnlijk hebben ook tektonische bewegingen een rol gespeeld bij deze doorbraak.

De grote hoeveelheid water, die hierbij wegstroomde, was bovendien nog beladen met slib en erosiemateriaal van de deklagen boven de prekambri-

sche sokkel (zanden, leem, enz.). Deze modderstroom had een sterk eroderende kracht, die het mogelijk maakte dat de stroomdraad zich in de prekambriëse gesteenten in kon snijden met vorming van steile oevers. Waar de modderstroom de jongere, subhorizontale tot horizontale lagen van de kustvlakte bereikte, ontstond een zeer diepe geul die de Zaire canyon vormde (VEACH 1935, HEEZEN *et al.* 1964).

Doordat de stroom veel hindernissen in de vorm van watervallen en van stroomversnellingen moest overwinnen, ontstonden er telkens nieuwe terrassen als een stroomversnelling bezweek. De vallei Van Deuren behoort tot één van deze oude stroomlopen.

De vorm die het dal aanneemt, is typerend voor selectieve erosie : de stroom heeft de neiging zich in de zachtere lagen in te snijden. Dit kunnen zowel formaties zijn van geringere weerstand door de samenstelling, als zones waarin door breccievorming een geringere weerstand aanwezig is.

Teneinde het voorgaande te illustreren, willen wij hier slechts het gedeelte van de rivierloop behandelen benedenstrooms van Inga.

Wij kunnen hier drie onderverdelingen maken :

- a. Het gebied tussen Inga en Matadi ;
- b. Het gedeelte tussen Matadi en Boma ;
- c. Het gedeelte benedenstrooms van Boma.

## 2. De zone Inga-Matadi

Dit deel van de Zairestroom behoort tot het onbevaarbare deel van de rivier door zijn groot aantal stroomversnellingen en draaikolken. Terwijl de algemene afvloeirichting noord-zuid is gericht, is er echter bij nadere beschouwing een typisch zigzag patroon aanwezig. Dit zigzag patroon wordt bepaald door de grotendeels noordwest-zuidoost lopende strekkingen van de lagen (fig. 1). Deze worden doorbroken door een groot aantal breuken, die zowel loodrecht op de strekking kunnen staan of soms noord-zuid of west-noordwest - zuid-zuidoost lopen.

Het gebied van het stuwdamproject van Inga werd gekarteerd door BERTOSSA (1953, 1957) en beschreven door BERTOSSA en THONNART (1957). Hieruit blijkt dat de rivier zich in heeft gesneden in een opvolging van hardere en zachtere lagen van rhyolitische lava's, waarbij harde delen als parallelle eilanden in de rivier uitsteken.

In het meest zuidoostelijk deel snijden een aantal loodrecht op de stroomrichting aanwezige breuken echter de rhyolieten, waardoor een hinderpaal aanwezig is voor verdere erosie. De rivier volgt dan een breuk-



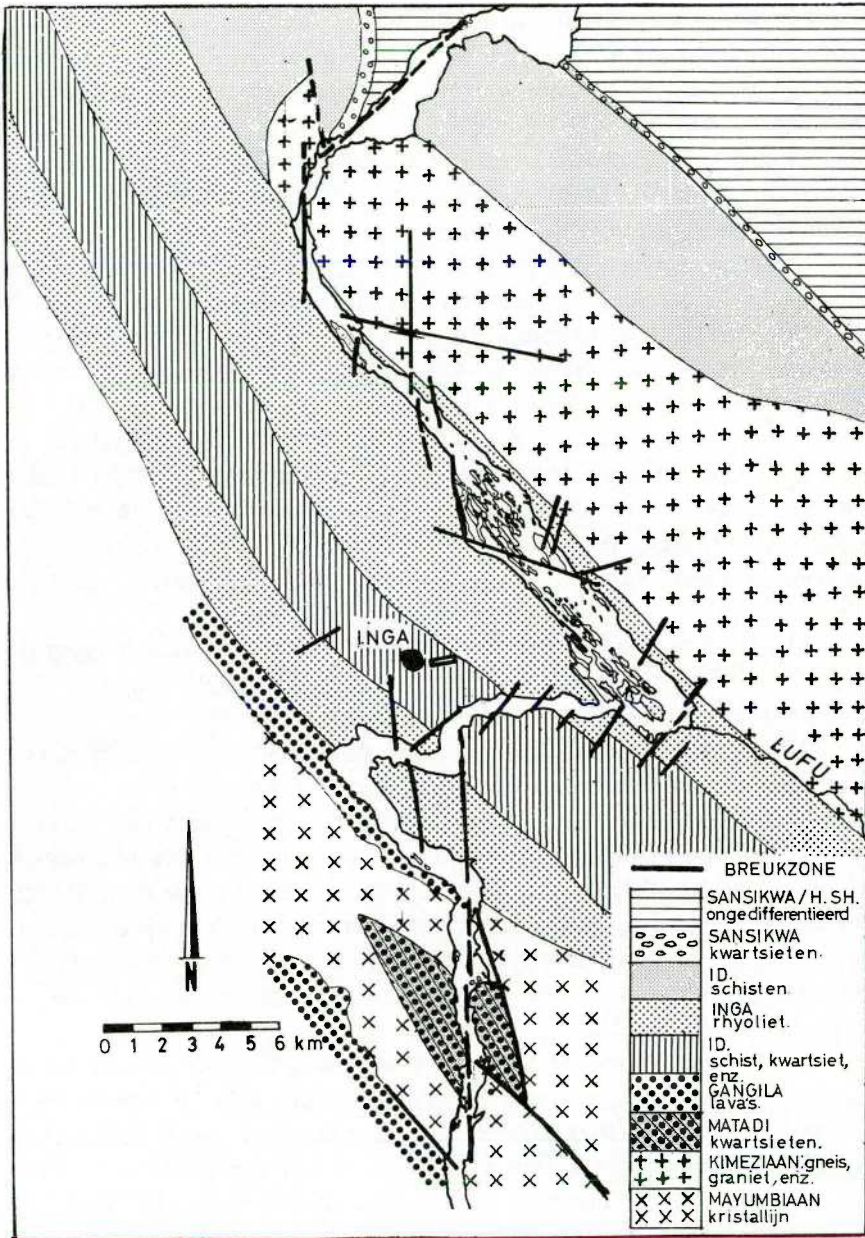


Fig. 1. — Zone Inga (volgens BERTOSSA & THONNART 1957).

zone, waarin ze zich makkelijker kon insnijden, echter telkens verspringend naarmate de erosiemogelijkheid toe- of afnam. De rivier Lufu, die op het belangrijke buigpunt in tegengestelde richting in de rivier stroomt, kan een rest zijn van een oude rivierloop die zich oorspronkelijk op het plateau bevond.

De bekende vallei Van Deuren is een oude parallelle insnijding van de rhyolietlagen, die ontstond voordat één van de stroomafwaarts gelegen stroomversnellingen doorbroken werd en de verhanglijn dus veranderde.

Terwijl verder stroomafwaarts de rivierloop over kleine afstand weer een zuidoost richting volgt, parallel aan de strekking van de lagen, wordt vervolgens de richting beheerst door een aantal noord-zuid lopende breuksystemen die voornamelijk grofkristallijne gesteenten doorsnijden (graniet, gneis). Verder stroomafwaarts wordt een breukrichting noord-noord-oost - zuid-zuidwest gevolgd die verbonden is met een breuksysteem in oost-noordoost - west-zuidwest richting die ongeveer de as van de rivier volgt ten westen van Matadi. Belangrijke sprongverschillen treden hier en daar langs deze breuken op, waarbij de erosiemogelijkheid in de gebreccieerde gesteenten groter was dan in de niet vervormde gesteenten (STEENSTRA 1970).

Deze laatste breukzone eindigt even ten westen van Matadi tegen de grote breukzone met noord-zuidrichting die de rivieren Wolongo en Locango, in Angola, volgen (noordelijk deel van fig. 2).

Bovenstreams van Matadi doorbreekt de rivier dus herhaaldelijk loodrecht de strekking van de lagen, wat het ontstaan van veel stroomversnellingen ten gevolge heeft. Daar veel van de gesteentelagen in westelijke richting duiken, kan onderspoeling van harde lagen plaats vinden, zoals dit duidelijk te zien is bij de Stanley eilanden op de rechteroever en bij de punt Mpozo op de linkeroever (fig. 3) waar de kwartsieten van Matadi de rivier snijden. Bij nadere studie, ziet men echter dat de grenzen van de gesteentepaketten op de linker- en rechteroever verspringen tengevolge van de breuk die de rivier hier volgt (fig. 2).

Het contact tussen de kwartsieten van Matadi en de onderliggende kristallijne granitische gesteenten is duidelijk zichtbaar in het riviertje even ten oosten van Vivi (foto 1). Hier ziet men duidelijk dat de bedekkende kwartsiet makkelijk verweert langs het contactvlak (rechts op de foto) en dat het verweerde zandige materiaal een waaier in de rivier vormt. Dit duidelijke contact is echter niet zichtbaar op de andere oever bij punt Pozo (achtergrond van de foto).

Deze breuk geeft aanleiding tot diepere erosie en het ontstaan van draaikolken, die de bevaarbaarheid moeilijk maken.

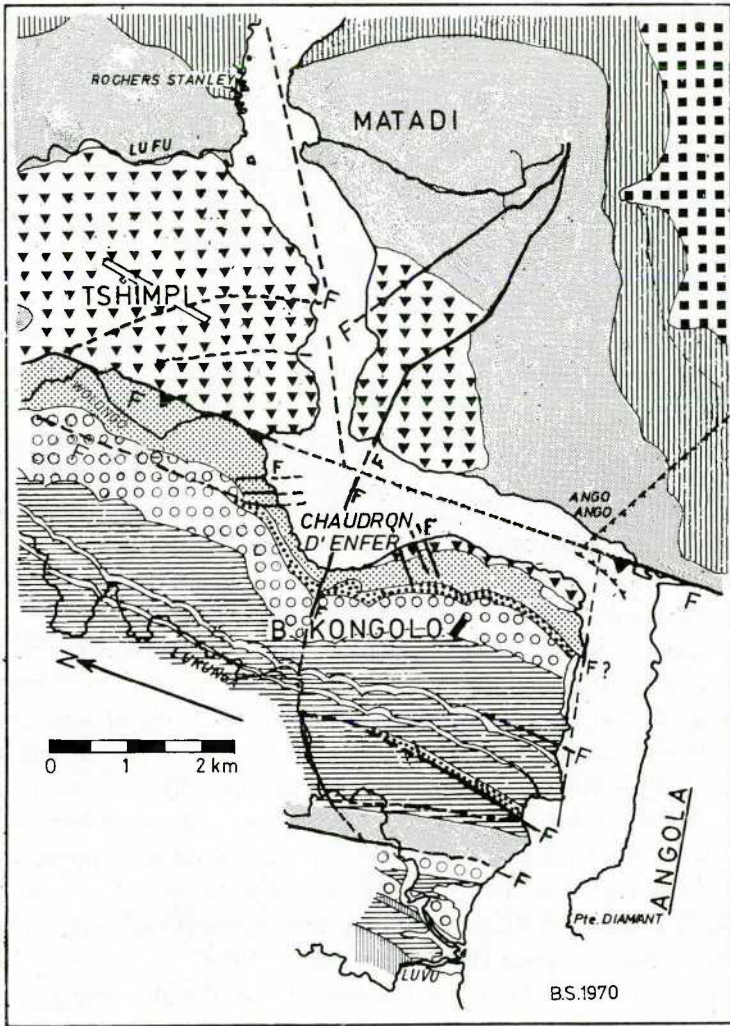


Fig. 2.



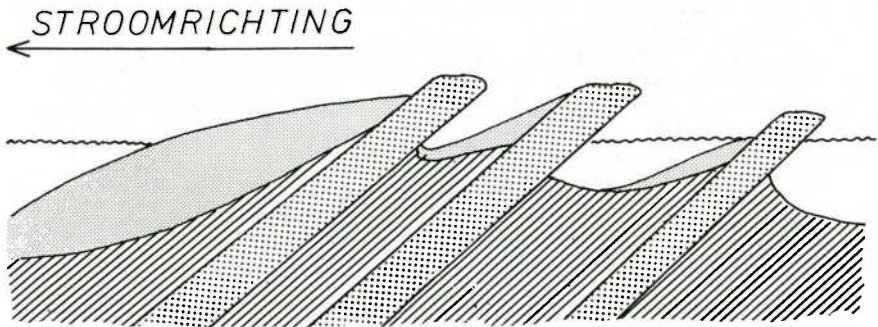


Fig. 3. — Ondernijning van harde lagen tussen zachte lagen en zandafzetting.

De kwartsieten van Matadi vormen het grootste deel van de ondergrond van de stad en vertonen aan de onderkant een aantal vrij dikke en harde banken, terwijl ze naar boven toe overgaan in meer dungebankte, zachtere kwartsieten. Golfsporen en kriskrasgelaagdheid komen veel voor.

Zuidelijk van het havencomplex worden de kwartsieten discordant bedekt door de basische lava's van Gangila, die echter hun grote uitbreiding hebben op de rechteroever, waar ze het plateau van Tshimpi vormen. Deze lava's zijn weerstandbiedend aan erosie, doordat zij een aantal sterk geëpidotiseerde lagen bevatten en doordat bovendien een dik en massief laterietplateau de top van het plateau vormt. Op verscheidene punten kan men zien dat de lava's doorsneden worden door breuken, waarbij sprongverschillen optreden. Deze breuken dienen zich noodzakelijkerwijze ook in de onderliggende kwartsieten van Matadi voort te zetten, zodat men een soort van getande ondergrond krijgt (fig. 4) (STEENSTRA 1970).

De lava's van Gangila van het plateau van Tshimpi eindigen abrupt tegen een belangrijke, noord-zuid gerichte breukzone, die zich aan beide zijden van de rivier over tientallen kilometers voortzet. Bij Ango-Ango volgt deze breuk de rivier Locango, op de rechteroever volgt de rivier Wolongo deze breuk. Westelijk echter van de breuk van de Wolongo, volgt een pakket harde gesteenten die bestaan uit metavulkanieten met sterke epidotisatie, harde schisten en kwartsieten (groep van de Vangu) die zeer weerstandbiedend zijn tegen erosie. Deze gesteenten vormen noord-zuid gerichte richels, die een 40°-45° helling hebben naar het westen. Zij liggen op de lava's van Gangila, die plaatselijk langs de rivier nog ontsloten zijn. Ook zij worden door transversale breuken in verschillende richtingen doorkruist.

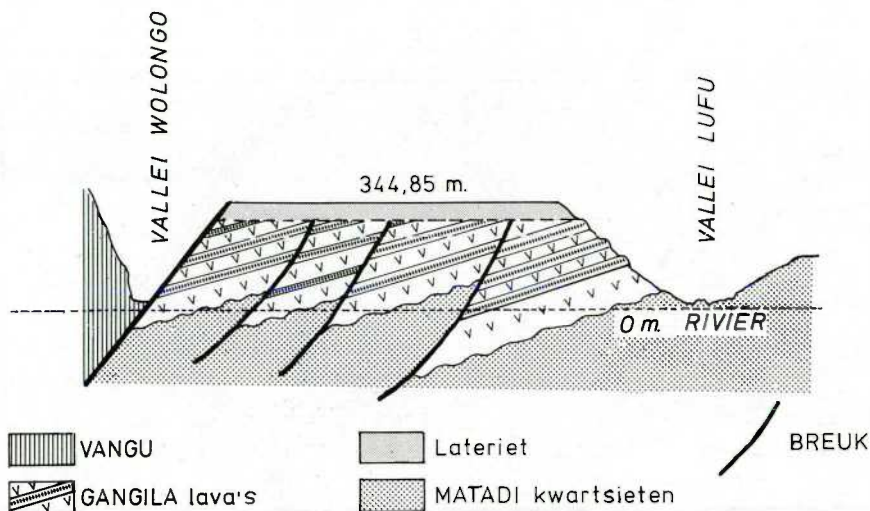


Fig. 4. — Doorsnede Plateau Tshimpi.

Terwijl de noord-zuid breuken een westelijke helling hebben, zijn de andere breuken vaak vertikaal. We kunnen echter niet met zekerheid zeggen of dit ook het geval is met de grote breuk die Matadi van Tshimpi scheidt.

Op één punt komen verschillende breuken in stervorm samen op de hoofdbreuk van de Wolongo (fig. 2). Hier vindt men een sterke breccievorming waardoor een diepe erosieput door de rivier uitgeslepen kon worden. Ten oosten van de breuk dazomen harde Gangila lava's, maar bestaat de ondergrond uit relatief zachte Matadi-kwartzieten waardoor de erosie sterker kon aangrijpen. Westelijk van de breuk vindt men echter weer meer resistente gesteenten. Men moet echter in aanmerking nemen dat, in tegenstelling met de op fig. 2 getrokken rechte breuklijn, deze naarmate de diepte toeneemt, een bocht naar het westen zal vertonen, daar dit contact in westelijke richting wegduikt.

Dit diepe punt van erosie heeft aanleiding gegeven tot de vorming van de bekende „Chaudron d'Enfer" die een belangrijke hinderpaal vormt voor de scheepvaart naar Matadi.

De dieptekaart van de Chaudron d'Enfer vertoont dan ook zijn diepste punt, - 15 meter, ten oosten van de breuk (fig. 5), maar de werkelijke draaikolk bevindt zich echter iets westelijker. Dit duidt op de sterk eroderende werking die de stroom hier op de hardere ondergrond uitoefent (fig. 6).

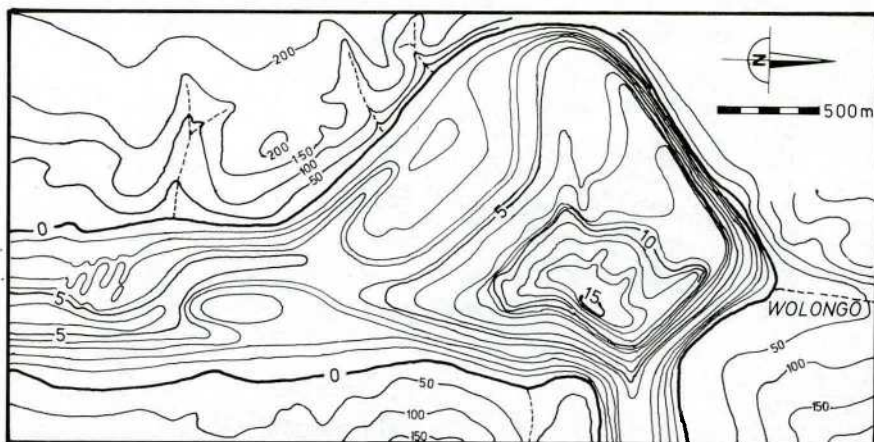


Fig. 5. — Chaudron d'Enfer — Matadi. Hoogte- en dieptelijnen in meters.

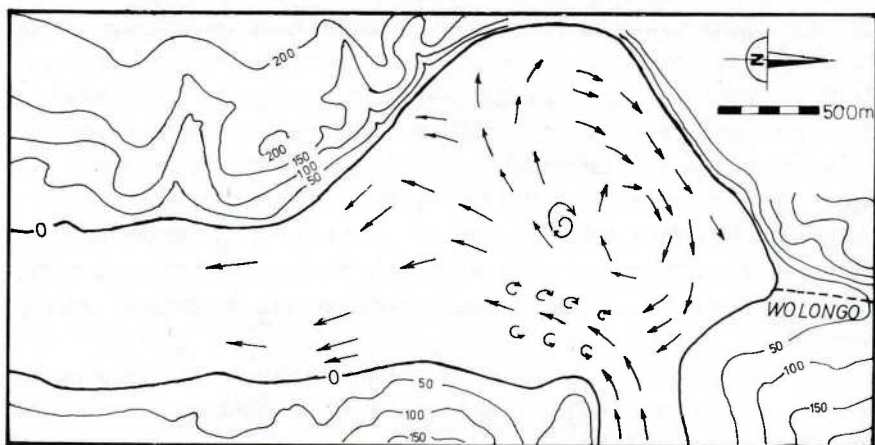


Fig. 6. — Chaudron d'Enfer — Matadi. Stromingen (volgens DEVROEY).



Het is door deze sterke stroomactiviteit begrijpelijk dat de rechteroever van de Chaudron d'Enfer een zeer steile, soms verticale helling heeft daar de harde gesteenten zeer weerstandbiedend zijn.

Na de kolk van de Chaudron d'Enfer volgt de rivier over enige afstand de noord-zuidrichting van de breuk van Wolongo, maar neemt dan plotseling weer een westelijke richting aan, waarbij de noord-zuid strekking van de lagen loodrecht doorsneden wordt. Waarschijnlijk is dit het gevolg van een verticale breukzone, die de Vangu gesteenten doorsnijdt, maar waarvan slechts op enkele punten in het gebied bij Banza Kongolo aanwijzingen gevonden worden (foto 2).

Het stroompatroon vanaf Inga tot even ten westen van Matadi wordt dus gekenmerkt door een zigzagpatroon, waarbij afwisselend zachte lagen van rechtlijnige structuur en scherp deze snijdende rechtlijnige breukzones wordt gevolgd. Meest westhellende isoclinaalplooien zijn hier kenmerkend.

### 3. De zone Matadi-Boma

Terwijl het hiervoor besproken gedeelte van de Zaïrestroom een zigzagpatroon vertoont, is de geomorfologie van het deel tussen Matadi en Boma gekenmerkt door een sinusvormig verloop.

De oorzaak van deze andere vorm is een verschillende tektonische opbouw van de ondergrond, die hier min of meer ronde koepelvormige structuren aanneemt. Deze worden gevormd door een kern van de oudste gesteenten in het gebied (Kimeziaan) met ouderdommen hoger dan 2150 Ma. Het zijn granieten, gneisen en migmatieten, die omringd worden door een band van de kwartsieten van Matadi tussen gneis en schisten van Palabala en die naar boven toe gevolgd worden door micaschisten.

Typerend hiervoor is de koepel van de Mao met de daar tegenaanliggende langgerekte koepel van de Kalamu (fig. 7).

Tussen de kwartsieten van Matadi bevindt zich een vrij dunne zone met basische lava's die een hydrostatisch ondoorlatend niveau vormt en waarop verschillende riviertjes ontspringen. Zij zijn eveneens gekenmerkt door een dichtere vegetatie.

Zowel de schisten, gneis en granieten, evenals de basische zone, zijn makkelijker verweerbaar dan de harde kwartsieten die dus als lange heuvelruggen in het terrein en op de luchtfoto's te vervolgen zijn (foto 3).

De meer westelijk gelegen koepel van Boma-Lokandu vertoont een gelijkaardig beeld. Hier is echter de omringende reliëfrand samengesteld uit hoog metamorfe gneis, amfibotieten, migmatieten en pegmatieten, maar in

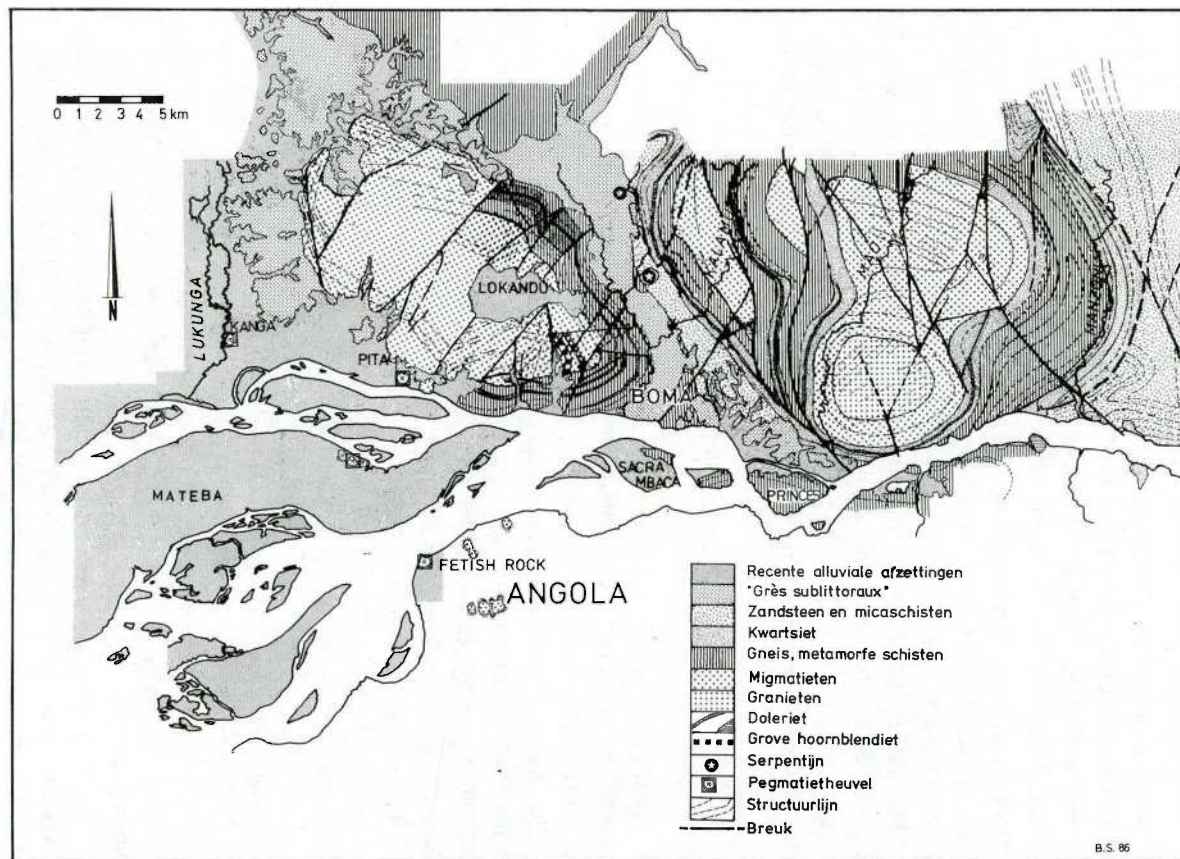


Fig. 7. — Gesteente- en structuurkaart.

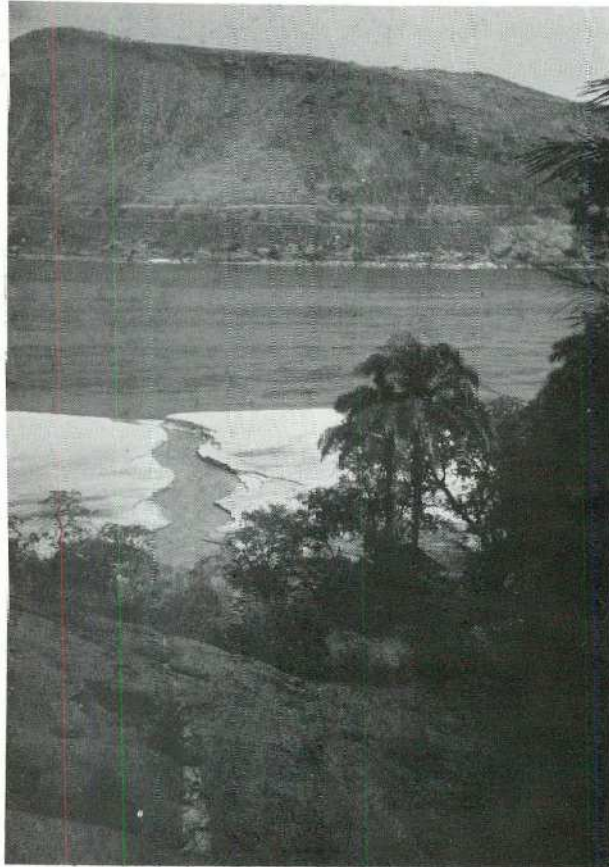


Foto 1. — Rivier ten oosten van Vivi.

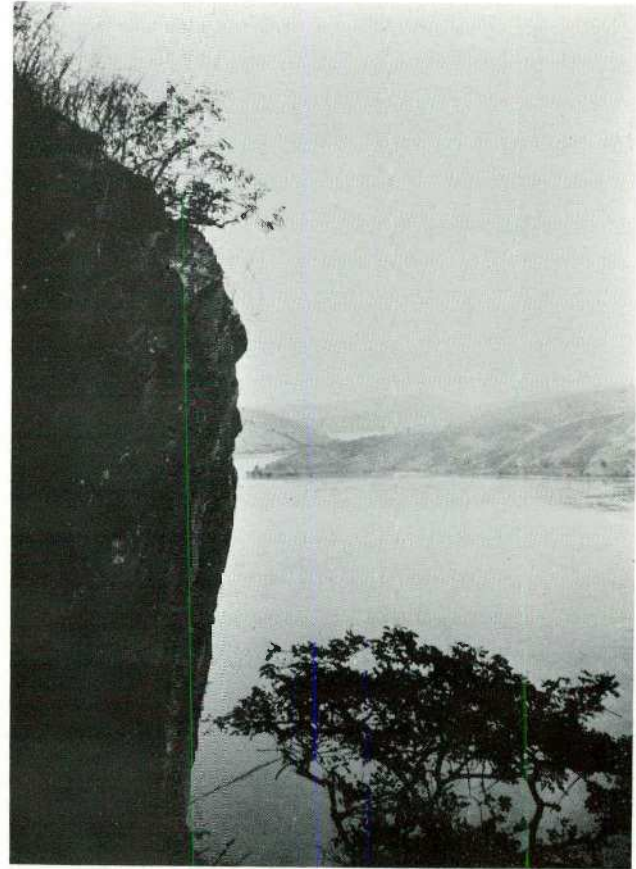


Foto 2. — Steilrand van breuk ten westen van Chaudron d'Enfer.



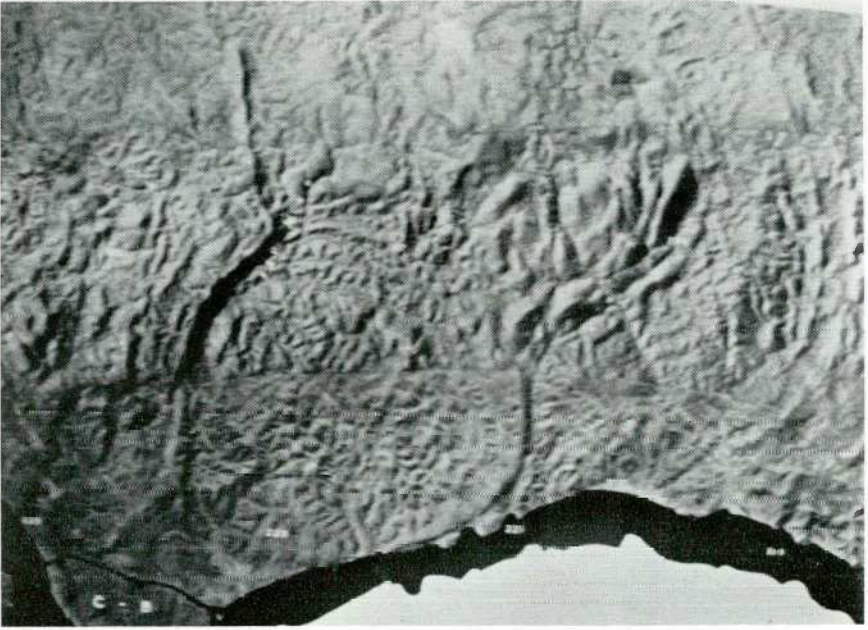


Foto 3. – Fotomozaïek van de koepel van de Mao.



Foto 4. – Opvolging van „current structures” in „Grès sublittoraux” bij Boma.

het noordoostelijk deel van de koepel vindt men een overgang naar kwartsieten.

In het midden van deze laatste koepel heeft zich een meertje kunnen vormen, dat echter aangetapt en leeggelopen is door radiale riviertjes (Lokandu). De meest westelijke kant is zeer geërodeerd, zodat een continue band hier moeilijk te vervolgen is (zie onder „Grès sublittoraux”).

De hoge graad van metamorfose heeft aanleiding gegeven tot verschillende steengroeven (Monolithe, Voies navigables, enz.) die bouwsteen en ballast leverden voor wegenbouw en kadewerken.

De zich in de diepere lagen insnijdende Zaïrerivier ontwijkt de harde lagen van de kwartsieten en de migmatieten rond de koepels en volgt dus de hierboven liggende zachtere schisten, die eveneens een gebogen strekkingslijn volgen. Men mag hier veronderstellen, dat de oorspronkelijke rivier zich in heeft gesneden in oostelijke richting, totdat de verbinding tot stand kwam met de aftapping van het grote binnenmeer.

Het is dus begrijpelijk dat de insnijding van de rivierloop een sinusvorm heeft aangenomen die rond de koepels loopt. Tussen de koepels in was een grotere zijdelingse uitwijking mogelijk. Op verschillende van deze plaatsen ontstonden kolken of moerassen en vanaf de koepel van de Mao neemt de rivier een veel breder dal in dan bovenstrooms het geval is. Door opvolgende insnijdingsdiepten werden terrassen gevormd en zijn oude rivierlopen te vinden, zoals tussen het Ile des Princes en de koepel van de Mao.

In het gebied tussen de koepel van de Mao en de in het vorige hoofdstuk besproken harde gesteenten van Vangu, is op eerste gezicht de koepelstructuur minder uitgesproken. Dit komt in de eerste plaats omdat hier de gesteenten van Tshela dagzomen, die uit min of meer hardere zandsteen en kwartsietbanken bestaan afwisselend met vaak zachte witte micaschisten waarin hier en daar grafietschisten ingeschakeld zijn. Hun weerstand tegen erosie is veel kleiner dan bij de kwartsieten van Matadi en de verschillende andere kristallijne gesteenten.

Toch blijkt in deze zone ook weer een koepelstructuur aanwezig te zijn, zoals b.v. ten westen van de rivier Luvu. Deze zijrivier volgt dan ook een loop met veel rondere bochten dan de rivier Lukungu, die met scherpe zigzagbochten de harde gesteentepakketten doorsnijdt langs breukzones (fig. 2).

Westelijk van deze koepel bemerkt men een brede synclinaal, maar zowel de koepel als de synclinaal eindigen tegen de rivierloop, die hier dus weer bepaald wordt door de mogelijkheid van selectieve erosie.

Verschillende breukzones doorsnijden zowel de synclinaal als de koepel, waarbij sprongverschillen kunnen optreden.

Dat ook hier een oorspronkelijke rivierloop op hoger niveau aanwezig was, blijkt uit de rolsteenlagen die men op de heuvels vindt en die vooral bij de samenvloeiing van Luvu en Lukungu aanwezig zijn. Deze rolsteenlagen bevatten hier vaak artefacten.

Ook ten zuiden van de rivier bevinden zich koepelvormige structuren in Angola, die eveneens door de rivier gespaard worden (CAHEN 1973, p. 37, fig. 1). Het is echter niet geheel duidelijk of de kristallijne gesteenten van het Ile des Princes tot een structuur behoren die bij Angola aansluit of bij die van de koepel van Mao. In ieder geval worden de makkelijker erodeerbare biotiet-granaat-staurolietschisten die de koepel van Mao omhullen op beide oevers teruggevonden en zetten zij zich ook voort in de vallei van Boma.

Zowel de bovengenoemde kaart van CAHEN (1973) als die van LE-PERSONNE (1980-1982) laten duidelijk zien dat het westelijk van Matadi gelegen gebied zeer beïnvloed wordt door sterke tektonische breukvormingen. Dit is begrijpelijk omdat deze gesteenten de oudste zijn die voorkomen in Beneden-Zaire en ook het grootste aantal tektonische bewegingen hebben ondergaan. De koepelstructuren zijn echter behouden gebleven. Slechts de zijrivieren die hun brongebieden binnen of aan de rand van de koepels hebben, volgen vaak breukzones, waarbij ze de hardere banken doorbreken (Mao, Kalamu, enz.).

Het is dus duidelijk dat dit gedeelte van de Zaireestroom een andere morfologie heeft dan het meer bovenstroomse deel, daar de geologische koepelvormen hier belangrijker zijn dan de meer smalle en langgerekte isoclinaalplooïingen bovenstrooms van Matadi.

#### 4. Het gedeelte benedenstrooms van Boma

Terwijl bovenstrooms van Boma de rivier een betrekkelijk smalle bedding vormt en ingesneden is volgens de samenstelling en tektoniek van de prekambriese gesteenten, treedt de rivier benedenstrooms van Boma in het gebied van de kustvlakte, waar ze verwildert en zich in vele takken splitst en waar een groot aantal eilanden en zandbanken aanwezig zijn.

Deze kustvlakte wordt in haar ondergrond gevormd door meest mariene sedimenten met een noordwest-zuidoost strekking en een lichte helling naar het westen. Ze worden bedekt door horizontale continentale formaties vanaf plio-pleistocene ouderdom. Deze mariene sedimenten worden gescheiden van het prekambrium door een tussenzone van de zg. „Grès sublittoraux” die een iets grotere helling hebben dan de mariene afzettingen.

De rivier doorsnijdt hier bijna loodrecht de strekking van de lagen en naarmate hardere of zachtere lagen voorkwamen, ontstond er in de bodem



van de rivier een lichte tandstructuur (zoals bij de riffles van de goudsluices) waarvoor zich ophopingen van jonge riviersedimenten konden vormen. De verschillen in hardheid zijn echter niet zo sterk als die bij de prekambrische gesteenten. MEULENBERGH (1934-1976, niet gepubliceerd) heeft getracht verband te leggen tussen deze tandstructuur en de huidige loop van de rivier en het voorkomen van de eilanden. Hij heeft helaas deze studie niet kunnen beëindigen.

De samenstelling van de mariene en continentale afzettingen werden beschreven door CAHEN (1954), door DARTEVELLE *et al.* (1934-1957) en door FORTEMS (1958); het algemeen verband met Afrika door LEPERSONNE (1960).

Van belang voor een begrip van de toestand bij Boma is echter het voorkomen van de „Grès sublittoraux”, die van lacustrische of lagunaire oorsprong zijn. De ouderdom van deze lagen werd op boven jura – onder krijt bepaald (140-150 Ma), waarbij dus tussen de kristallijne gesteenten van Boma en de „Grès sublittoraux” ongeveer 450 miljoen jaar gesteenten ontbreken.

Deze „Grès sublittoraux” bestaan grotendeels uit afbraak materiaal van kristallijne gesteenten en zijn samengesteld uit arkosezandstenen met meest een grove textuur die verkit zijn door ijzer en daarom rood gekleurd. De verkittig kan vrij sterk zijn, zodat resistente lagen ontstaan. Verder vindt men er fijnere zandstenen met meer afgeronde korrels, argillieten en micarrijke lagen. Hun oorsprong moet gezocht worden in het afbraakmateriaal van de verschillende granitische en migmatitische gesteenten van de koepels, evenals van afbraakmateriaal van de Matadi kwartsieten. Plaatselijk komen er dunne lagen met kwarts rolstenen in voor. De sedimentatierichting is meestal vanuit het oosten, in tegenstelling met de mariene afzettingen, die vanuit het westen komen.

De opbouw met hoekige korrels wijst op een snel transport waarbij klimatologische factoren (hevige regenval) en misschien ook tektonische bewegingen een rol hebben gespeeld. Kriskras structuren, evenals „current structures” die afgesneden worden, werden in de vallei van Boma gevonden (foto 4). Ten oosten van de Mt. Kisundi in Boma vindt men een breukzone die als een klifrand bewaard is gebleven en waartegen de basislagen van de grès sublittoraux eindigen. Deze klif is weinig of niet geërodeerd, zodat deze ontstaan is kort voor het begin van de afzettingen van de arkoses en micaschisten van de „Grès sublittoral”.

De verspreiding van de „Grès sublittoral” is beperkt tot het gebied westelijk van de koepel van Mao voor het gebied van Boma. Hier wordt de

vallei van de Kalamu grotendeels gevuld door deze afzettingen, die zich echter ook ten noorden, westen en zuiden van de koepel van Boma-Lokandu uitstrekken tot aan de rivier Lukunga. Een vallei ten noordoosten en een zijtak hiervan worden eveneens door deze sedimenten gevuld. De zone van de Lukunga zet zich naar het noorden voort en vormt hier een brede band tussen het kristallijn en de mariene krijtlagen. Bij Lukula is een ander, meer begrensd gebied als depressie bewaard gebleven tussen kristallijne gesteenten.

De samenstelling van de grès sublittoraux is dus afhankelijk van de aard van het aangevoerde materiaal, wat weer afhangt van het type van het omringende gesteente. Zachte zandstenen en schisten zullen dus een fijnere samenstelling hebben dan materiaal dat onmiddellijk van graniet en migmatietkoepels afkomstig is. Hellingpuinstructuren en waaiervorming komen dus voor.

De afzettingmogelijkheid van deze klastische sedimenten is dus groter in oude valleien of rond harde rotspunten of rotskammen die door de grès sublittoraux heen kunnen steken. Dit is o.a. het geval op de volgende punten :

- a. Tussen het Ile des Princes en de koepel van de Mao. De ondergrond van het kanaal van Kinlele, noord van het Ile des Princes, bestaat uit grès sublittoral zoals boringen aangetoond hebben, de kleine rivierloop heeft zich hier pas later ingesneden ;
- b. Bij Pita, waar een monadnock van gneis en pegmatieten door de sedimenten heen steekt ;
- c. Bij de Cul de Boma op het eiland Mateba, waar nog een pegmatietkoepel aan de oppervlakte komt ;
- d. Bij Fetish Rock in Angola is dit eveneens het geval ;
- e. Eveneens komen bij Kanga aan de rivier Lukunga kristallijne gesteenten aan de oppervlakte.

Bovengenoemde punten wijzen er op, dat de morfologie van de prekambrische formaties, zoals die nog in de koepel van Boma-Lokandu ontsloten zijn, zich verder naar het westen toe voortzet en dat de grès sublittoral dus transgressief is over dit reliëf waarbij andere toppen hetzij weggeërodeerd zijn, hetzij door de grès sublittoral bedekt worden. De mogelijkheid bestaat dus dat in de zone van de grès sublittoraux die zich ten zuiden en zuidwesten van Pita uitstrekt en hier de rivier snijdt, eveneens nog verborgen punten kristallijn gesteente verborgen zijn die de verkitte afzettingen van de grès sublittoraux vasthouden. Baggerwerken hebben hier inderdaad deze afzettingen gevonden.

Deze zone correspondeert met het punt waar de Zaïrestroom verwildert („zone divagante”) en een breedte van 30 km kan hebben. Men heeft hier dus een drempel van harde grès sublittoral die moeilijk te doorbreken is. Slechts een nauwkeurig geofysisch onderzoek, gecontroleerd door boringen, kan het oude reliëf van de kristallijne ondergrond hier bepalen.

De „Grès sublittoraux” bij Pita en noordelijk hiervan zijn waarschijnlijk lagunaire afzettingen. Om de heuvel van Pita en langs de contactlijn grès sublittoral-kristallijn vindt men een zone met barietknollen die een evaporiet structuur vertonen. Eveneens vindt men bij Pita een scherpe scheiding tussen dieper liggende afzettingen en een zone hoger gelegen afzettingen, waarbij de laatste slump en verzakingsstructuren vertonen alsof een tussenliggende laag opgelost werd (zout?). (STEENSTRA 1959-1960).

De overgangszone ten westen van Boma is van belang, omdat een bepaalde rugositeit van de ingesneden gesteenten en in het bijzonder van de grès sublittoral de stabiliteit van enige eilanden kan verklaren. Voor een groot deel is dit oude reliëf bedekt door jonge riviersedimenten, die echter door wisselende stromingen verplaatst kunnen worden maar op andere plaatsen gestabiliseerd zijn door het kristallijne reliëf en omringende mantel van harde arkoses.

De vallei van de Lukunga, die zich onmiddellijk ten westen van de grès sublittoral bevindt, is een brede vlakte met recente siltige en kleiige afzettingen, waarin de rivier zich met vele meanders slingert. De oorsprong van deze brede vallei staat waarschijnlijk in verband met een vrij jonge kanteling naar het westen met een klein bedrag, dat reeds voor Matadi begint. Terwijl de bovenlopen van de zijriviertjes op de rechteroever een weinig uitgesproken insnijding hebben, vindt men vanaf enkele honderden meters voor de samenvloeiing met de Zaïrestroom plotseling een verjongde insnijding met sterke erosie. Dit is onder andere het geval bij het zijriviertje ten oosten van Vivi (foto 1), maar eveneens bij de rivieren Lufu, Lukunga, Mao en Kalamu. Het hoogteverschil vermindert echter van oost naar west terwijl bij de rivier Lukunga verder westwaarts geen insnijding meer te zien is. Boringen hebben echter het bestaan aangetoond van een oud terras, dat nu op enige meters onder de huidige sedimenten verborgen ligt. De afstand van deze jonge insnijdingen wijst echter op een jong ontstaan. Het einde van deze kanteling, die veroorzaakt kan zijn door een opheffing van het gebied ten oosten van Matadi, schijnt echter bij de vallei van de Lukunga te eindigen, daar de plio-pleistocene afzettingen die horizontaal op het krijt liggen, geen helling vertonen.



Het is pas nadat de zone van de grès sublittoral overwonnen is, dat de rivier zich dieper in kon snijden en vanaf Malela de bekende canyon kon vormen.

## 5. Conclusies

De bevaarbaarheid van de Zairestroom in Beneden-Zaire kan verklaard worden door de studie van de geomorfologie van het gebied. Hiermee wordt bedoeld het verband tussen de geologische en tektonische gesteldheid van de ondergrond en de selectieve erosiemogelijkheden, die de morfologie veroorzaken. Selectieve erosie kan niet rechtstreeks uit een geologische kaart afgeleid worden, daar deze structuren en ouderdommen aangeeft, en geen geotechnische gegevens verschaft. Gegevens hierover zijn met behulp van luchtfoto-interpretatie, waarbij reliëfverschillen aangeduid worden, terug te vinden.

Een kennis van de historische ontwikkeling van het gebied gedurende de laatste geologische periode is van belang, daar enerzijds de insnijding in het meest oostelijke deel afhankelijk is van het basisniveau vanwaar de insnijding begon (het grote binnenmeer), anderzijds vanaf het westen van de erosiebasis van de kustvlakte aan de westelijke kant. Deze erosiebasissen veranderen echter regelmatig, waarbij tektonische bewegingen een grote rol speelden.

Wanneer bovenstrooms van Matadi de rivier onbevaarbaar is door het voorkomen van stroomversnellingen tengevolge van het doorbreken van harde gesteenten op plaatsen waar een breukzone dit toestaat, is benedenstrooms van Matadi tot aan Boma de loop bepaald door het volgen van zachte formaties die harde kernen van kristallijne gesteenten omhullen (koepelstructuur). Deze zachte zones vormen soms gebogen synclinalen.

De bekende Chaudron d'Enfer wordt verklaard door het trefpunt van breuken met verschillende richtingen die harde gesteenten doorkruisen, maar waar de ondergrond uit zachtere gesteenten (kwartsieten van Matadi en micaschisten) bestaat. Uitkolkings van de ondergrond was hier mogelijk, maar de harde gesteenten die dagzomen, vormen zeer steile begrenzingen van de kolk.

Stroomafwaarts van Boma wordt de rivierloop bepaald door de kustafzettingen, die loodrecht doorsneden worden, maar waar de selectieve erosie een veel geringere rol speelt dan bovenstrooms. Van groot belang is echter de overgangszone tussen de prekambrijsche kristallijne gesteenten en de mariene kustafzettingen van krijt en nog jongere ouderdom. Deze overgangs-

zone bestaat uit sterk verkitte arkoses en grove zandstenen, die gefixeerd worden door punten van het uitstekend reliëf van het oude kristallijne reliëf, zoals op het eiland Mateba, Fetish Rock, Pita, maar waarvan hoogst waarschijnlijk ook delen verborgen zijn onder de recente rivierafzettingen. Deze harde zone, die even stroomafwaarts van Boma voorkomt, vormt de grens tussen het gedeelte van de verwilderde loop (zone divagante) en de meer geprononceerde, smallere loop bovenstrooms.

Verbeteringen van de rivierloop voor de scheepvaart evenals ingenieurswerken zoals kades, bruggen, baggerwerken, enz. dienen met deze geomorfologische ontwikkeling rekening te houden.

#### LITERATUUR

- BERTOSSA, A. 1953. Carte géologique de la région Mvunzi-Bundi-Inga. — Sydelco, plan 3858, 1 : 10.000.
- BERTOSSA, A. 1957. Carte géologique de la région d'Inga. — Sydelco, plan 3821, 1 : 25.000.
- BERTOSSA, A. & THONNART, P. 1957. Étude géologique de la région Matadi-Inga-Monolithe. — Serv. géol. du Congo belge et du Ruanda-Urundi, *Bull.* n° 7, fasc. 5. Léopoldville.
- CAHEN, L. 1945. Carte géologique provisoire (non éditée). Volgens L. Cahen, C. H. Hoffmann, J. Meulenbergh, J. Lepersonne, L. de Dorlodot, E. Dartevelle, E. Polinard. — Serv. Cart. et Géod., Leopoldville.
- CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. 1948. Note sur la géomorphologie du Congo occidental. — *Ann. Mus. r. Congo belge*, Serv. géol. vol. 1, Tervuren.
- CAHEN, L. 1954. Géologie du Congo belge. — H. Vaillant-Carmanne, Liège.
- CAHEN, L. 1977. Quelques données sur le plissement Zadinien. — Musée r. Afr. centr., Tervuren, Dépt. Géol. Min., Rapp. ann. 1976, pp. 29-50.
- CAHEN, L. 1977. Vue d'ensemble sur les supergroupes antérieurs à l'Ouest-Congolien dans la zone interne de l'orogène Ouest-Congolien depuis l'Angola septentrional jusqu'au Gabon. — Musée r. Afr. centr., Tervuren, Dépt. Géol. Min., Rapp. ann. 1976, pp. 51-54.
- DARTEVELLE, E. en anderen, 1934 tot 1957. Mollusques fossiles du Crétacé de la Côte Occidentale d'Afrique du Cameroun à l'Angola. — *Ann. Mus. r. Congo belge* (Tervuren). Série in-8°, Sciences géologiques.
- FORTEMS, G. 1958. Étude des couches crétacées de lentre-Lukula-Lubuzi et de Lundu N'sani. — *Ann. Mus. r. Congo belge* (Tervuren), série in-8°, Sciences géologiques, vol. 23.
- HEEZEN, B. C., MENZIES, R. J., SCHNEIDER, E. D., EWING, E. M. & GRANELLI, N. C. L. 1964. Congo Submarine Canyon. — *Bull. Am. Ass. Petr. Geol.*, vol. 48.

- LEPERSONNE, J. 1960. Quelques problèmes de l'histoire géologique de l'Afrique au sud du Sahara, depuis la fin du Carbonifère. — *Ann. Soc. géol. Belg.*, **84**.
- LEPERSONNE, J. 1980. Carte géologique provisoire de l'Ouest du Bas-Zaïre. — Mus. r. Afr. centr., Tervuren, Dépt. Géol. Min., Rapp. ann. 1979, p. 219 (1980).
- LEPERSONNE, J. 1983. Carte géologique provisoire du Bas-Zaïre à l'échelle du 1 : 100.000. — Musée r. Afr. Centr., Tervuren, Rapport annuel 1980 et 1981-82.
- MEULENBERGH, J. 1934-1976. Dossiers et notes d'observations manuscrits (niet uitgegeven).
- ROBERT, M. 1946. Le Congo physique. — M. Vaillant-Carmanne, Liège.
- STEENSTRA, B. 1959-1974. Carnets d'observations en «notes d'archives». Serv. géol. Congo belge» (niet uitgegeven).
- STEENSTRA, B. 1970. Liaison ferroviaire Matadi-Boma. Étude géologique. — Assoc. mom. Segtraco-Seges. Éd. Géotechnique, Bruxelles.
- TACK, L. 1975. Bijdrage tot de studie van de geologie, de petrografie en de petrologie van het Mayumbiaan van Neder-Zaïre. — Thesis Rijksuniversiteit Gent.
- VAN DEUREN, P. 1928. Aménagement du Bas Congo. Projet. — Éd. Assoc. Ing. de l'École d'Application de l'Artillerie et de Génie.
- VEACH, A. C. 1935. Evolution of the Congo Basin. — *Mem. Geol. Soc. Am.*, n° 3.



*Symposium*  
«L'Accès maritime au Zaïre»  
(Bruxelles, 5 décembre 1986)  
Académie royale des Sciences  
d'Outre-Mer  
pp. 43-52 (1988)

*Symposium*  
„De Maritieme Toegang tot Zaïre”  
(Brussel, 5 december 1986)  
Koninklijke Academie voor Overzeese  
Wetenschappen  
pp. 43-52 (1988)

## HISTORIQUE DE LA NAVIGATION JUSQU'EN 1958

PAR

J. CHARLIER \*

RÉSUMÉ. — La première référence concernant l'estuaire du Zaïre date du XV<sup>e</sup> siècle par les navigateurs portugais. Jusqu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, la navigation fut très sporadique ; il fallut attendre la création de l'État Indépendant du Congo pour assister à une navigation régulière dans l'estuaire du Zaïre. Jusqu'en 1925, les navires ont utilisé les passes de navigation dans leur état strictement naturel ; à cette époque, un premier grand travail fut réalisé par dragage selon un projet conçu par l'hydrographe Nisot. Entre 1930 et 1958, les passes de navigation ont été systématiquement étudiées et améliorées par dragage, les profondeurs passant progressivement à 30 pieds en 1953. Les dernières années de la période sous revue sont caractérisées par une lutte incessante pour conserver ces profondeurs, avec un succès relatif. On assiste, au cours de cette même période, au début de la dégradation des passes, qui s'est accentuée par la suite.

SAMENVATTING. — *Historiek van de scheepvaart tot 1958.* — De eerste inlichtingen over het estuarium van de Zaïre komen van de Portugese zeevaarders in de XVde eeuw. Tot het einde van de XIXde eeuw was de scheepvaart zeer sporadisch ; het is maar vanaf de oprichting van de Onafhankelijke Kongostaat dat het estuarium van de Zaïre regelmatig bevaren werd. Tot in 1925 hebben de schepen de vaargeulen gebruikt in hun strikt natuurlijke staat ; in die periode werd een eerste grote onderneming door baggerwerk verwezenlijkt naar een projekt van hydrograaf Nisot. Tussen 1930 en 1958 werden de vaargeulen systematisch bestudeerd en verbeterd door baggerwerk ; de diepten werden geleidelijk tot 30 voet gebracht in 1953. De laatste jaren van de besproken periode zijn gekenmerkt door een onafgebroken strijd om deze diepten te behouden en dit met een betrekkelijk sukses. Tijdens diezelfde periode stellen we een begin van degradatie vast, die daarna verergerde.

SUMMARY. — *History of navigation until 1958.* — The first reference concerning the Zaire estuary dates from the XVth century and is by Portuguese navigators. Navigation was very sporadic up to the end of the XIXth century ; regular navigation in the Zaire estuary had to wait upon the creation of the Independent State of the Congo. Up to 1925, vessels used the waterways in their strictly natural state : at this time a first great dredging plan was carried out

\* Membre titulaire de l'Académie ; Grand'Route 176, B-1428 Lillois (Belgique).

according to a project conceived by the hydrographer Nisot. Between 1930 and 1958, the waterways were systematically studied and improved by dredging, the depth finally reaching 30 feet in 1953. The final years of the period surveyed have been characterized by an incessant struggle to keep this depth, with relative success. This same period has seen an initial degradation of the waterways which has since been accentuated.

Le présent exposé se divise en deux périodes très différentes : premièrement, depuis la découverte de l'embouchure du fleuve Zaïre par les navigateurs portugais jusqu'à la fin du siècle dernier ; deuxièmement, la période du XX<sup>e</sup> siècle jusque 1958.

Pour étudier la première période, qui s'étend de la fin du XV<sup>e</sup> siècle jusqu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, nous avons espéré qu'un de nos éminents confrères portugais, le professeur Abecasis aurait pu se joindre à nous aujourd'hui ; peut-être aurait-il pu nous fournir d'utiles précisions, compte tenu de la longue période pendant laquelle ses compatriotes furent le plus souvent les maîtres de l'estuaire ; il n'est donc pas impossible que certains autres navigateurs que ceux que je citerai aient visité cette région.

En fait, jusqu'au retour de Stanley en 1879 et la fondation du poste de Vivi, environ deux ans après sa traversée mémorable du continent africain, on peut considérer que le bief maritime du fleuve Zaïre ne fut remonté par des navigateurs européens qu'une demi-douzaine de fois en près de 400 ans.

- Dès 1485, le Portugais Diogo Cão est remonté jusqu'en amont de Matadi, au pied des rapides infranchissables de Yelala, où une inscription sur les rochers atteste de son passage ;
- En 1793, un Anglais, le capitaine Maxwell remonte jusque Musuku, c'est-à-dire à peu près à mi-distance entre Boma et Matadi ;
- En 1816, pour le compte du gouvernement anglais, se situe la fameuse expédition Tuckey qui atteindra Isangila, seule tentative réelle de remontée vers l'intérieur, avant de sombrer dans l'échec dû à la maladie et à l'épuisement des principaux membres de la mission ;
- En 1825 et 1875, des cartes de l'embouchure sont dressées par l'amirauté britannique (plus ou moins 20 km) ;
- En 1848 et en 1863, Ladislas Magyar et Burton atteignirent à nouveau Yelala.

Cette longue période n'aura vu qu'une navigation très sporadique, les navires empruntant les passes à l'estime et se limitant généralement à l'embouchure elle-même, sans oser remonter dans la partie navigable du fleuve, c'est-à-dire jusqu'à l'emplacement futur de Matadi, à environ 140 km de l'embouchure dans l'océan (Banana).

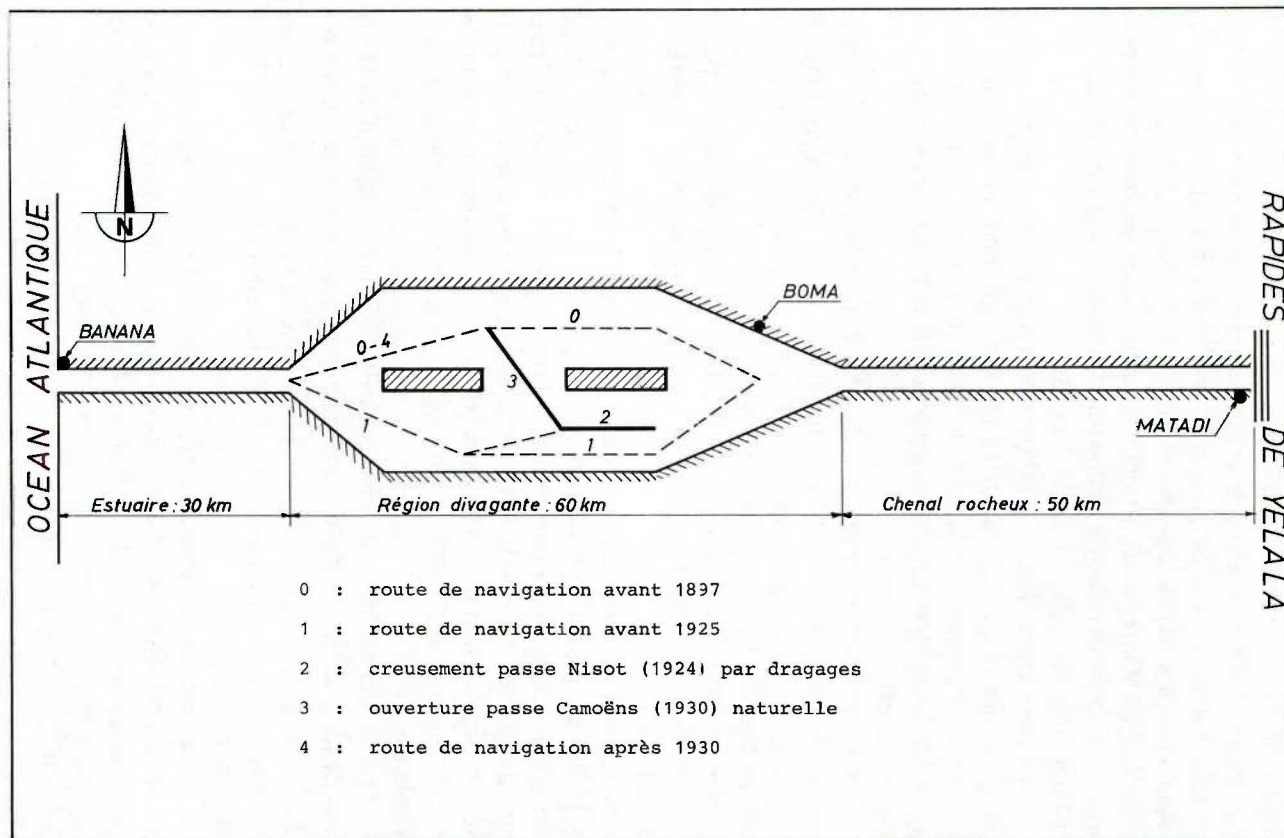


Fig. 1. — Zaïre maritime : tracé schématique des routes de navigation.



Il faut dire que les cartes de l'époque que l'on doit plutôt qualifier de croquis, étaient très imprécises sinon quasi inexistantes et que la nature alluvionnaire, donc mouvante, de certaines passes, les rendait très rapidement inutilisables, si ce n'est pour avoir une image très approximative des configurations des îles et des rives.

Il faudra attendre jusqu'en 1899 pour qu'une carte générale de la région centrale, où se concentrent les principales difficultés, soit dressée par une expédition anglaise, celle du navire *Rambler*.

C'est donc entre 1880 et 1900 que l'on a commencé à naviguer un peu moins à l'estime et que l'on assiste en même temps à une augmentation du trafic due à l'exploration et la mise en valeur du bassin et à une meilleure sécurité due à l'existence d'une cartographie de base qui sera sensiblement améliorée au début du siècle.

Les données sont donc des plus clairsemées jusqu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, époque où la création de l'État Indépendant du Congo, sous la souveraineté du roi Léopold II, a amené une intensification du trafic due à la mise en valeur du bassin intérieur du fleuve Congo.

Nous arrivons ainsi à la seconde période de mon exposé qui commence approximativement avec le XX<sup>e</sup> siècle et a duré une soixantaine d'années, de 1897 à 1958.

Je la divise en deux parties de durée quasi égale, la charnière se situant vers 1930 ; la division est basée sur la configuration générale de la « route principale de navigation » ; nous entendons par ce vocable le tracé généralement suivi par les navires de fort tirant d'eau ; cette expression est importante, non seulement pour la navigation elle-même, mais également pour les questions relatives à la frontière, ainsi qu'il sera montré par notre confrère J. Vanderlinden.

Pour la facilité, nous devons reprendre une brève description de la partie maritime du fleuve Zaïre ; cette dernière se divise en trois parties :

- a) La zone de l'embouchure proprement dite, d'environ 30 km où les profondeurs sont très importantes et aucune difficulté particulière ne se rencontre ;
- b) La zone centrale, élargissement très prononcé, d'environ 60 km, essentiellement sablonneuse, où les fonds se relèvent, parfois jusqu'à moins de 5 m, et où les passes de navigation sont constamment en évolution, érosion des rives, d'une part, engraissement des bancs, d'autre part ;
- c) La zone amont, environ 50 km où les profondeurs sont suffisantes, mais où se situent des écueils rocheux et des courants violents, les uns et les autres susceptibles d'entraver la sécurité des évolutions.

C'est la seconde portion qui reste pour le navigateur, encore aujourd'hui, une des régions difficiles à négocier avec les navires de haute mer. Dans cette région, il existe un chapelet d'îles et d'îlots qui la divise pratiquement en deux dans le sens amont-aval.

Jusqu'en 1897, les navires fréquentaient, soit entièrement le tracé nord, soit entièrement le tracé sud, selon l'expérience du capitaine et selon, peut-être, la nationalité du navire, les Belges fréquentant plutôt le tracé nord, et les Portugais le tracé sud.

Un accident assez grave survenu le long du tracé nord a favorisé alors les passes sud qui ont été utilisées presque exclusivement à partir de 1897, seules les plus petites unités continuant à emprunter les passes du tracé nord.

Il en fut ainsi jusqu'en 1930, époque où une ouverture se fit naturellement entre la partie amont du tracé sud et la partie aval du tracé nord, au travers d'un banc qui était resté très stable pendant des dizaines d'années, le banc Camoëns.

La configuration générale ne changera plus alors jusqu'en 1958 et même au-delà, jusqu'en 1967, la navigation empruntant donc une route sinueuse passant alternativement de la partie aval-nord de la région vers la partie amont-sud en traversant donc de part en part, de la rive droite à la rive gauche la zone alluvionnaire en question.

Pour qui connaît les difficultés de maintien des profondeurs et des courbes dans une région alluvionnaire à sable fin telle que celle du bief maritime, cette configuration générale était vouée, de par sa forme, à des évolutions difficiles à contrôler et impossibles à maîtriser et à des difficultés de plus en plus grandes pour la navigation.

Comme d'habitude en pareil cas, le fleuve aura tendance, lors d'une réunion de facteurs hydrauliques favorables, à reprendre une configuration plus naturelle et à redresser la route navigable tout en la raccourcissant, ce que l'expérience des années suivantes confirmera ; une étude plus détaillée de ces évolutions ultérieures sera faite par notre confrère Sterling lors de son exposé de cet après-midi.

Comment est-on arrivé à une telle situation, essentiellement instable, vers 1958 ?

Au début du siècle, les levés cartographiques restent très peu nombreux et irréguliers et les profondeurs offertes aux navires ne sont donc que les profondeurs naturelles ; toutefois, un balisage de l'ensemble du bief maritime existe dès 1890 ; la carte dressée par le *Rambler* indique d'ailleurs un balisage suffisant pour toute la région centrale divagante ; ce balisage fut supprimé lors de la première guerre mondiale.

Dès avant cette dernière, on procéda à des (premiers) travaux de dragage qui permirent d'atteindre des profondeurs de l'ordre de 20' contre environ 16' à l'état naturel.

Les navigateurs avaient remarqué en effet que seuls des seuils peu profonds limitaient les calaisons et l'idée de les améliorer par dragages fut acceptée assez rapidement.

Le matériel nécessaire fut acquis et, entre 1905 et 1923, on a dragué environ 6 000 000 de mètres cubes, soit une moyenne de plus ou moins 300 000 m<sup>3</sup>/an, les profondeurs évoluant peu, entre 19 et 21' la plupart du temps.

C'est vers 1917 que les érosions continues de la rive sud, dues à l'action des courants et du balisage, entraînent des difficultés à maintenir les passes longeant la rive et amènent les responsables à envisager un tracé plus court et moins sinueux tout en restant du côté sud mais ne suivant plus exactement la rive sud et passant directement de l'amont vers l'aval à travers le pool amont de la région.

Les études et les discussions durèrent environ 8 ans, de 1917 à 1924, tandis que le travail proprement dit dura pratiquement un an, de septembre 1923 à septembre 1924 ; au cours de cette période de 12 mois, on dragua environ 3 500 000 m<sup>3</sup> : ce fut le premier travail d'aménagement des passes important, dont les effets se firent sentir pendant près de 40 années.

Mais ce travail resta incomplet parce qu'il se limitait à la partie amont de la zone difficile ; peut-être est-ce dû à la mort du précurseur, l'hydrographe Nisot en 1925, peut-être à la percée (naturelle) du pool de Camoëns déjà citée, peut-être à la crise économique des années 30 ; il est difficile de juger aujourd'hui, mais il est certain que l'aménagement des passes sud n'a pas été réalisé entièrement et que cela a contribué beaucoup aux difficultés ultérieures.

Quoi qu'il en soit, dès 1925, profitant des mouillages naturels suffisants en aval, le service hydrographique a concentré la plus grande partie de ses efforts sur l'entretien de la nouvelle passe ; entre 1925 et 1938, soit en 14 ans, 8 000 000 m<sup>3</sup> y ont été dragués sur un total général pour l'ensemble de la région d'environ 16 000 000 m<sup>3</sup>, soit 50% uniquement pour cette passe. Au cours de la même période, les profondeurs moyennes offertes passèrent de 20' à 26' ; ces dernières furent donc atteintes avec des dragages annuels de l'ordre de 1 200 000 m<sup>3</sup> ; une analyse plus détaillée des relevés de dragages indique toutefois déjà une tendance à l'accroissement au cours des dernières années.



Cette tendance ne s'est pas accentuée au cours de la seconde guerre mondiale qui semble avoir été une période favorable, le volume moyen dragué restant de l'ordre de 1 200 000 m<sup>3</sup>/an, bien que les profondeurs aient été souvent portées à 28' dès 1944.

On peut considérer qu'à ce moment le rapport entre les profondeurs obtenues et le volume des dragages a atteint sa valeur la meilleure et qu'il n'en sera jamais plus ainsi par la suite.

Les années d'après-guerre ont été consacrées à consolider cette situation favorable mais pour conserver les 28' de profondeur, les volumes dragués n'ont cessé d'augmenter, la moyenne annuelle entre 1947 et 1950 atteignant déjà environ 2 000 000 m<sup>3</sup> avec même une pointe maximale de 2 400 000 m<sup>3</sup> en 1947.

On constate donc dès cette époque, une augmentation sensible des volumes dragués et cela uniquement pour conserver les 28' !

C'est dans ce contexte délicat que les auteurs du Plan décennal de Développement économique et social du Congo belge fixèrent un objectif encore plus ambitieux, atteindre les 30' de profondeur, de façon à augmenter encore la navigabilité et à satisfaire ainsi les armateurs qui mettaient en service des navires de 28 à 29' de calaison, qui étaient accueillis dans la plupart des ports africains.

Au vu de l'évolution antérieure au cours de la décennie 40-50, il faut se demander si cet objectif était bien réaliste puisque les dragages annuels y avaient presque doublé alors que les profondeurs atteintes étaient restées quasi identiques.

Dès ce moment, il apparaissait que chaque pied supplémentaire entraînait de gros volumes à draguer et c'est ce que l'on constata en réalité puisque, à partir de 1953, année où l'on atteignit les 30' officiels, les volumes annuels ne descendront plus jamais en dessous de 3 500 000 m<sup>3</sup>, c'est-à-dire 3 fois plus que ce qui avait permis d'atteindre les 28' environ 10 ans plus tôt.

Je n'entrerai pas dans les détails des causes et des conséquences d'une telle évolution ; je dis simplement que l'on a mal apprécié l'importance réelle des dragages d'entretien qui ont augmenté plus rapidement que prévu en fonction de la profondeur souhaitée ; cela s'explique par le fait que le nombre de seuils à draguer et leur longueur plus grande produisent des effets cumulatifs ; en outre, la mise en service de navires de plus grand gabarit (les longueurs passent de 155 à 170 m et les largeurs de 19 à 21 m) et plus rapides a également obligé le service d'entretien à rectifier un grand nombre de courbes, également par dragages.

**Tableau 1**  
Évolution des mouillages et volumes dragués

Périodes	Moyennes annuelles des volumes dragués (m <sup>3</sup> )	Mouillages minimaux atteints régulièrement (pieds)	Observations
< 1905		16'	
1905-1909	125 000	18 à 20'	
1910-1914	400 000	20 à 21'	
1915-1919	350 000	21 à 22'	
1920-1923	375 000	20'	
1924	3 750 000	—	creusement passe Nisot par dragages
1925-1927	700 000	21'	
1928-1931	1 050 000	22'	
1930			ouverture naturelle passe de Camoëns
1932-1935	1 200 000	23 à 25'	
1934			ouverture passe Mayaudon par dragages
1936-1939	1 550 000	26'	
1940-1943	1 300 000	27'	
1944-1947	1 550 000	28'	
1950			introduction des sondages à l'écho
1948-1951	2 000 000	28'	
1952-1955	2 300 000	28 à 30'	
1953			mouillages officiels portés à 30'
1955			mise en service du balisage lumineux
1956-1959	3 750 000	30'	

**Tableau 2**  
Dimensions (approchées) de navires fréquentant le Zaïre maritime

Période	Longueur	Largeur	Creux	Tirant d'eau (m)	Tirant d'eau (pieds)	Déplacement (T pieds)
1900	105	13,50	7	—	—	
1910	120	16	7	—	—	
1920	135	17,50	11,25	—	—	
1930	150	19	11,50	7,75	25.7	16 000
1940	135	18,50	12	7,50	25	13 000
1950	155	19,50	12,25	8,25	27.6	16 300
1960	170	21,50	12,25	8,60	28.2	19 750

En 1950 et avant, il était d'ailleurs difficile de bien apprécier une telle évolution, car il faut se souvenir que c'est vers la même époque que se situe une amélioration fondamentale dans les moyens de reconnaissance et d'étude des fonds ; l'introduction des appareils écho-sondeurs automatiques qui permirent d'obtenir des profils continus et de connaître les caractéristiques des dunes de sable (que l'on rencontre sur les fonds sablonneux de tous les fleuves à faible pente), première étape vers une étude de la formation et de l'évolution des seuils.

Avec le recul d'aujourd'hui, on dirait que l'arrivée de cet appareillage a été suivie trop rapidement de la décision d'approfondir, les études préalables à un tel investissement n'ayant pas eu le temps d'être entreprises ; il faudra attendre 1957 pour que l'idée en soit reprise et pour que les crédits suffisants soient débloqués ; c'est donc en 1958 seulement que des études ayant pour but de connaître les lois de variation des fonds et d'adapter les travaux en conséquence furent entreprises ; leur consistance et leur influence sur les travaux ultérieurs seront examinées par nos confrères Coen et Peters lors de la séance de cet après-midi.

J'en arrive ainsi aux conclusions :

a) *Hydrographiquement*

- Les difficultés principales sont concentrées dans la région centrale du bief maritime du Zaïre entre 40 et 70 km au départ de l'embouchure.
- Les profondeurs sont passées de 16' à l'état naturel avant 1900 à 30' en 1953 mais cela n'a été possible qu'au prix de dragages d'entretien de plus en plus intenses :
  - environ 300 000 m<sup>3</sup> pour conserver les 20' ;
  - environ 1 500 000 m<sup>3</sup> pour conserver les 24 à 28' ;
  - environ 3 500 000 m<sup>3</sup> pour conserver les 30' ;
 l'évolution n'ayant d'ailleurs pas atteint son stade final en 1958.
- Un maintien permanent des profondeurs de 30' ne serait possible qu'en disposant d'un matériel de dragage nettement plus important.
- Nonobstant toute autre considération, les projets qui furent présentés à diverses occasions visant à augmenter encore les profondeurs paraissent des plus aléatoires et, en tout cas, peu justifiables par l'économie des transports.
- Vu l'expérience acquise, aucun nouveau projet d'aménagement ou d'approfondissement ne doit être entrepris sans développer au préalable des études beaucoup plus scientifiques que par le passé, complémentaires aux levés cartographiques traditionnellement connus des navigateurs.



**b) Chronologiquement**

- Avant 1900, la navigation se fait à l'estime et en utilisant les profondeurs et les passes dans leur état strictement naturel, selon le tracé nord.
- Entre 1900 et 1930, la navigation suit le tracé sud ; elle est aidée par des dragages d'entretien d'abord et par un premier travail d'aménagement, le creusement de la passe Nisot, ensuite.
- En 1930, l'ouverture naturelle de la passe Camoëns fait basculer la partie aval de la route de navigation du sud vers le nord.
- Après 1930, la configuration générale reste la même jusqu'en 1958 et même au-delà jusqu'en 1967, mais le maintien et l'accroissement des profondeurs entraînent des dragages de plus en plus intensifs.
- Au cours des dernières années de la période sous revue, tandis qu'un bouleversement de la configuration générale se prépare, l'augmentation des frais d'entretien et les projets d'approfondissement envisagés par certains promoteurs, entraînent le démarrage d'études scientifiques systématiques qui sont poursuivies encore aujourd'hui.

*Symposium*  
«L'Accès maritime au Zaïre»  
(Bruxelles, 5 décembre 1986)  
Académie royale des Sciences  
d'Outre-Mer  
pp. 53-68 (1988)

*Symposium*  
„De Maritieme Toegang tot Zaïre”  
(Brussel, 5 december 1986)  
Koninklijke Academie voor Overzeese  
Wetenschappen  
pp. 53-68 (1988)

## AU TEMPS OÙ LES JURISTES, COMME LE FI.FUVE, DIVAGUAIENT

PAR

J. VANDERLINDEN \*

129701

RÉSUMÉ. — Lorsqu'en 1930 le Portugal demande à la Belgique que soit délimitée sur le terrain la frontière entre l'Angola et le Congo dans la région du Congo divagant, la mise en œuvre de la convention de 1891 qui règle le problème entre l'E.I.C. et le Portugal n'a donné lieu à aucun problème entre les parties. Par une lecture contestable de la convention, à laquelle les juristes belges vont, dans un premier temps, se laisser prendre, le gouvernement portugais va en outre engager les travaux sur le terrain dans ce qui ne pourra être qu'une impasse le jour où la Belgique se rendra compte de la situation dans laquelle elle se trouve placée. Mais, avant ce moment, toujours avec l'approbation des juristes, une ligne droite, puis une ligne brisée auront été proposées comme frontière et un protocole, ayant pour seul but d'éviter une intervention du parlement belge, signé. Le refus de ratification de ce dernier interviendra huit ans après l'accord de principe donné par la Belgique au Portugal alors qu'une lecture attentive de la convention de 1891 aurait pu d'emblée clarifier les choses.

SAMENVATTING. — *In de tijd toen zowel de juristen als de stroom „divageerden”.* — Wanneer Portugal in 1930 aan België vraagt de grens ter plaatse te bepalen tussen Angola en Congo in het gebied van de brede zone van de Congostroom, gaf de toepassing van de conventie van 1891, die het probleem regelt tussen de O.K.S. en Portugal, geen aanleiding tot moeilijkheden tussen de partijen. Daar waar bij een betwistbare lezing van de conventie de Belgische juristen zich aanvankelijk laten misleiden, gaat de Portugese Regering ook ter plaatse met de werkzaamheden beginnen wat enkel een impasse zou kunnen zijn op de dag dat België zich rekening zal geven van de toestand waarin het geplaatst wordt. Maar vóór die tijd, steeds met de toestemming van de juristen, zal een rechte lijn, daarna een gebroken lijn als grens worden voorgesteld alsook een ondertekend protocol met als enig doel de tussenkomst van het Belgisch Parlement te voorkomen. Het weigeren van de bekrachtiging ervan zal slechts van toepassing zijn acht jaar na het principiële akkoord van België aan Portugal, daar waar het aandachtig lezen van de conventie van 1891 dadelijk de zaken had kunnen op punt stellen.

\* Membre titulaire de l'Académie ; Faculté de Droit, Université Libre de Bruxelles, avenue F. D. Roosevelt 50, B-1050 Bruxelles (Belgique).



SUMMARY. — *In the times when lawyers, like the river, divagated.* — In 1930, when Portugal asked Belgium that the border between Angola and the Congo be demarcated on the spot in the region where the Congo river divagated, the application of the 1891 convention settling the problem between the Congo Free State and Portugal had caused no problem at all between the two parties. Because of a debatable reading of the convention, in which the Belgian lawyers were at first taken in, the Portuguese government went as far as starting works on the spot in a direction which could only be an impasse when Belgium realized the situation in which it was placed. But before this, still with the agreement of lawyers, a straight line, then a broken line were proposed as a boundary and a protocol was signed, having as a sole purpose to avoid an intervention of the Belgian parliament. The refusal to ratify the protocol came eight years after the agreement in principle given by Belgium to Portugal, while a careful reading of the 1891 convention could have immediately clarified the question.

Alors que s'achève la saison des pluies de l'année 1932, l'ingénieur du Service des voies navigables de la Colonie en charge du Service spécial du Bas-Congo et donc du bief maritime du fleuve, en poste à Boma, prévoyait que les semaines le séparant du bref répit de la saison sèche allaient être difficiles à vivre. Dans la moiteur du Bas-Fleuve, sa femme s'acheminait doucement vers une première naissance que l'un et l'autre espéraient de tout leur cœur et appréhendaient aussi quelque peu. Et voilà qu'à la touffeur du climat et aux soucis familiaux s'ajoutait l'annonce de l'arrivée prochaine à Boma d'une mission mixte belgo-portugaise chargée de procéder au tracé de la frontière entre l'Angola et le Congo belge là où le fleuve divague. Certes, Joseph Mayaudon [1] \*, hydrographe principal désigné à cette fin en décembre 1931, était une vieille connaissance ; mais il faudrait néanmoins veiller à l'installation de son équipe à Boma sur le chaland prévu à cette fin par le Service et aussi s'assurer que sa mission se déroule sur tous les plans dans les meilleures conditions possibles. Et puis il y avait les Portugais et l'inévitable dimension internationale de cette activité ; Dieu sait si cette face des choses n'allait pas entraîner sinon des complications, au moins des obligations ne serait-ce que protocolaires. Bref, la mission de délimitation était bien mal venue.

Mais d'où provenait ce subit intérêt pour une frontière qui, bien que divagante, ne posait aux États riverains, depuis qu'elle avait été définie par eux en 1891, absolument aucun problème ? Et ce, malgré un climat général de méfiance de l'un des partenaires à l'égard de l'autre, climat, faut-il le dire, soigneusement entretenu pendant un temps par l'activité politique de ce dernier ?

\* Les chiffres entre crochets [ ] renvoient aux notes pp. 66-67.



Le statut juridique et ses conséquences pratiques d'abord. La convention conclue le 25 mai 1891 [2] à Bruxelles entre l'État Indépendant du Congo et le Royaume du Portugal précise en son article III que dans la région qui nous intéresse «la ligne séparative des eaux appartenant respectivement aux deux États sera la ligne moyenne du chenal de navigation généralement suivi par les bâtiments de grand tirant d'eau». Cette manière de définir une frontière fluviale n'est certainement pas à l'époque la plus utilisée. Toutefois, si on en reprend soigneusement les termes, on s'aperçoit que l'on n'est pas tellement loin de celle, classique à l'époque, du *Thalweg*. Qu'est-ce qu'un *Thalweg* en effet sinon un chenal entretenu de manière régulière pour la navigation ou encore, pour reprendre ce qu'en dit de la Pradelle dans sa thèse «La frontière» publiée à Paris en 1928, le chemin variable suivi par les bateliers qui descendent le fleuve frontière ? Sommes-nous dans ces deux définitions, dont la première est empruntée au *Grosse Herder*, tellement loin de celle qui se trouve dans le texte de 1891 ? Je ne le pense pas. D'autant plus qu'en 1891, le Congo est mal connu, particulièrement dans sa partie dite divagante, entre Kissanga et le roc du Fétiche. A cet endroit, soit sur 35 kilomètres, huit kilomètres, parsemés d'îles diverses et divagantes, séparent l'île de Mateba de la rive sud. Qu'il ait paru à l'époque inopportun de se référer à un *Thalweg* au sens où on l'entendait en Europe pour le Danube, la Meuse ou le Rhin est compréhensible. Mais il m'apparaît que les termes utilisés en l'occurrence recouvrent une réalité identique.

En outre, le texte précise quelle est en 1891 («actuellement») cette ligne par rapport aux îles principales existant sur le fleuve. Il stipule également le rattachement des îles à l'un ou l'autre État «définitivement et indépendamment de tout déplacement éventuel du chenal» selon qu'elles se trouvent entre la ligne moyenne du chenal de navigation et la rive droite ou gauche du fleuve. Il est donc clair que l'éventualité d'un déplacement du chenal, et donc de la frontière, est envisagée en 1891. Ce point n'est d'ailleurs pas une nouveauté à l'époque. Ainsi, par exemple, le traité entre la Belgique et les Pays-Bas du 8 août 1843 [3], s'il se réfère au *Thalweg*, prévoit par contre que si celui-ci vient à changer, «les îles et les îlots continueront à appartenir à l'État auquel ils sont spécialement attribués par la présente convention». La solution adoptée pour le Congo n'a donc rien d'étonnant et est bien connue des juristes du temps. Enfin, aux termes de l'article V de la convention de 1891, les parties s'engagent à faire procéder «dans le plus bref délai possible» au tracé sur le terrain de la frontière ainsi définie ; en l'occurrence cela ne pourrait se faire que par des repères placés sur le fleuve ou sur les rives, mais, rien n'est précisé quant à la partie compétente pour ce faire, aux endroits en cause et aux modalités de leur installation.

La convention est par contre muette sur le problème de la navigation sur le fleuve, mais ce point est réglé par l'article 2 de l'Acte de Berlin [4] qui garantit la libre navigation sur le Congo. Toutefois, il est aussi vrai que très rapidement l'augmentation du tirant d'eau des navires fait dépendre la libre navigation sur certains fleuves de travaux souvent importants effectués par l'homme et complétant ou suppléant l'œuvre de la nature. L'Acte, comme la convention de 1891, sont silencieux en ce qui concerne la liberté reconnue aux riverains de procéder dans le lit du fleuve à des travaux d'aménagement (dragage notamment) en vue de faciliter la navigation. Ceux-ci, dans le cas du Congo, qui ne serait sans eux «qu'un réseau de bras qui s'ensablent ou se creusent au gré des crues» [5], sont capitaux. En fait, le chenal dont question à l'article III de la Convention de 1891 *doit* être partiellement du moins le fait de l'homme dès qu'il est question de faire passer sur le fleuve des bateaux tirant aux environs de 20 pieds. Ceci veut dire que l'une et/ou l'autre des parties serai(en)t susceptible(s) de définir elle(s)-même(s) la frontière par le seul fait du dégagement du chenal auquel elle(s) procéderai(en)t. Toutefois, la partie désireuse d'assurer l'entretien de ce chenal pouvait toujours éventuellement s'abriter derrière l'obligation qui lui était faite par l'article 113 de l'Acte final du Congrès de Vienne [6] stipulant que les États riverains des fleuves internationaux étaient chargés «des travaux nécessaires... dans le lit de la rivière pour ne faire aucun obstacle à la navigation».

Reste enfin le problème également non résolu des travaux effectués sur le territoire de l'une des parties et susceptibles d'influencer le cours du fleuve et donc la frontière. Les deux derniers cas ont cependant fait l'objet d'une session de l'Institut de Droit international tenue à Madrid en 1911. Elle a conduit à l'adoption du principe selon lequel lorsqu'un fleuve forme la frontière de deux États, aucun d'entre eux ne peut, sans l'accord de l'autre, autoriser que l'on procède à des travaux susceptibles de modifier cette frontière [7].

Dans la pratique, les incertitudes laissées ouvertes par les instruments diplomatiques n'ont guère posé de problèmes aux Belges et aux Portugais. La ligne moyenne du chenal de navigation a bien constitué la frontière entre les deux colonies et aucun «incident» de frontière n'est venu troubler leurs relations entre 1891 et 1930 [8]. Le placement des repères précisant le tracé de la frontière sur le terrain ne s'est jamais effectué comme le prévoyait le texte de 1891. Aucune des parties n'a jamais mis d'obstacle à la libre navigation sur le fleuve, celle-ci intéressant au premier chef la Belgique pour le port de Matadi et l'Angola ne possédant aucun port important dans le bief maritime. En outre, pour assurer l'accès à Matadi, la Belgique a été amenée

à engager sur le Bas-Fleuve d'importants travaux de dragage, à ouvrir ou réouvrir des chenaux, voire à créer des passes permettant l'accès au point de départ (ou d'aboutissement, c'est selon) de la «voie nationale» ; aucun de ces travaux n'a entraîné d'objections de la part du Portugal et lorsqu'il s'est agi de baliser les passes et de placer des repères en territoire portugais, le gouvernement de la Colonie a pris soin de prendre contact avec son homologue angolais. Le seul point à noter dans ce contexte est le caractère divagant de la doctrine de l'administration de Luanda. Après avoir en 1928 marqué son accord pour que les services belges procèdent à l'installation de repères sur la rive angolaise, cette administration est revenue sur ses pas pour préciser qu'il convenait en l'occurrence que l'affaire se traite au plus haut niveau [9]. Quant à la doctrine de l'administration belge, elle était pour le moins intéressante en ce qu'elle établissait une distinction entre repères permanents (qui auraient entraîné une appropriation du sol angolais) et «provisaires» (qui échappaient à ce reproche d'atteinte à la souveraineté portugaise) [10]. En l'occurrence, on ne peut d'ailleurs aucunement parler d'incident. Enfin, seuls des travaux effectués en territoire congolais et ayant pour but déclaré d'accélérer le débit du fleuve en fermant certains chenaux ont donné lieu à controverses par le canal de la presse portugaise et entraîné certaines réserves prudemment formulées du gouvernement de Lisbonne [11]. La constatation, par le Haut Commissaire du Portugal en Angola dans la note de mars 1930 par laquelle il relance le problème du tracé de la frontière, de l'absence d'incidents résultant d'éventuelles prétentions de l'une ou l'autre partie sur les eaux ou sur les îles du Congo est parfaitement conforme à la réalité et éclairante quant aux aspects juridiques du problème.

Mais que dire de sa dimension politique ? Dès avant la constitution de l'État Indépendant du Congo, le problème de l'accès de celui-ci à la mer avait été posé en termes de conflit avec le Portugal. La solution de ce conflit avait abouti au traité du 14 février 1885 [12] avec l'Association Internationale Africaine dans lequel la définition des frontières s'effectuait de manière différente de celle qui serait adoptée en 1891 en ce qui concerne notamment la région du Kwango, mais de manière substantiellement identique en ce qui concerne le Bas-Fleuve : la rive nord revenait à l'A.I.C., la rive sud au Portugal. Ce principe fut confirmé par les instruments diplomatiques ultérieurs et notamment par la convention de Bruxelles du 25 mai 1891. Il n'empêche que la Belgique continue à nourrir l'espoir de pouvoir un jour s'attribuer le contrôle de l'ensemble de l'estuaire, ne serait-ce qu'en acquérant une bande de terrain le long de la rive sud. Les motifs sous-tendant cette revendication étaient triples. D'abord, s'assurer un contrôle incontestable du



débouché sur la mer sans devoir se retrancher éventuellement derrière des conventions internationales dont la mise en œuvre, en cas de conflit, n'est pas toujours aisée. Ensuite, pouvoir prolonger éventuellement le chemin de fer au départ de Matadi vers un port en eau profonde situé sur la rive sud plus près de la mer en évitant ainsi le franchissement du fleuve par le rail. Enfin, éviter que les Portugais puissent éventuellement construire eux-mêmes sur la rive sud pareil port afin de desservir l'hinterland de cette rive [13]. Cette vocation à une extension territoriale, même minime, au détriment de l'Angola se manifesta en deux circonstances sur le plan politique, tandis qu'apparaît en dernier lieu une tentative de contrôle économique de la région en cause.

La guerre de 1914 et les conquêtes belges dans l'Est africain allemand sont une première occasion de reprendre le problème du Bas-Fleuve. Sans aucune ambiguïté, la diplomatie belge considère ses conquêtes comme un atout dans une éventuelle négociation tripartite impliquant la Belgique, la Grande-Bretagne et le Portugal [14]. En échange de concessions de la deuxième au troisième, ce dernier céderait à la première la rive sud du Congo. Ces projets échoueront au cours des négociations diplomatiques consécutives à la fin de la guerre. La Belgique verra une deuxième chance s'offrir à elle à la fin de l'année 1920 lorsque le gouvernement britannique réclamera à celui du Portugal un montant de 9 000 000 de livres pour avances de guerre. La Belgique envisagera de négocier un transfert de la rive gauche du fleuve sur une distance et une profondeur minimales contre des facilités de crédit consenties au Portugal afin de lui permettre d'apurer sa dette [15]. La combinaison entrevue n'aboutira pas. Enfin, en 1921 et 1922, le gouvernement belge se rabattra sur le contrôle économique à défaut de contrôle territorial. Il encouragera la Société générale de Belgique à se constituer en partenaire dominant dans une société de développement de la rive gauche face à la Companhia geral do Fomento angolaise [16]. Ces efforts, menés notamment par F. van Bree [17], n'auront pas davantage de résultat. Il est toutefois clair qu'ils placent le Portugal dans une position de méfiance face à toute initiative belge dans la région.

A partir de 1925, c'est d'ailleurs au tour des Belges d'être inquiets. La presse portugaise du temps fait en effet état de la création d'un port en eau profonde sur la rive gauche. Des experts sont désignés pour choisir un site ; leurs opinions divergentes alimentent la presse locale, mais le gouvernement tranchera en 1926 sans toutefois avoir les moyens de sa politique déclarée. En 1930, A. Salazar, ministre des Finances en marche vers la présidence du Gouvernement, confirme à la presse de son pays son intention de développer

la région de la rive sud notamment par la création d'un port éventuellement à Kissanga [18]. C'est à ce moment que survient la démarche portugaise.

Dans une note non datée confiée au capitaine de corvette A. Marta, chef du service hydrographique de l'Angola, le haut-commissaire Da Camara propose que soit définie et bloquée la ligne moyenne du chenal de navigation prévue en 1891, en même temps que serait réglée l'attribution de quelques îlots non définie à la même époque [19]. La démarche se situe dans les premiers mois de 1930, puisque le gouverneur général en informe le ministre des Colonies par un télégramme du 5 mars [20]. Le processus est déclenché qui va conduire les juristes du ministère et ceux des Affaires étrangères à de fréquentes divagations au cours des huit années suivantes. Deux choses semblent toutefois claires : d'une part, l'initiative de l'opération vient du Portugal ; d'autre part, le blocage de la ligne moyenne du chenal de navigation à son état de 1891 entre Fetish Rock et Kissanga est entièrement à l'avantage du Portugal en 1930. En effet, elle met en territoire portugais la passe Nisot creusée par les Belges et passant au sud de l'île des Oiseaux attribuée définitivement au Portugal par la convention de 1891 ; cette ligne met également en territoire portugais le chenal réouvert par les Belges entre cette île et l'île des Hippos (amont). En fait, la ligne de 1891 longe l'île de Mateba et donc le territoire belge bien davantage que la rive sud qu'elle ne rejoint qu'une dizaine de kilomètres avant Kissanga. Enfin, et ce n'est pas le moins étonnant, cette ligne, en raison du mouvement des îles, passe en de nombreux points sur terre et ne peut donc plus être considérée comme une «ligne de navigation». Sans doute est-ce tout simplement cette distorsion évidente entre le texte de 1891 et la réalité de 1930 qui justifie la démarche portugaise.

Mais il y a plus. La lecture que donne le gouvernement portugais de la convention de 1891 est d'emblée pour le moins contestable : elle est en effet fondée sur une interprétation qui isole complètement de son contexte la proposition relative précisant géographiquement où passe en 1891 (c'est-à-dire *actuellement* dans le texte) la ligne moyenne du chenal de navigation. Il s'agit là d'une référence ponctuelle qui n'empêche pas que la frontière puisse ultérieurement être modifiée ainsi que le prévoit expressément le dernier alinéa de l'article précisant l'appartenance définitive de certaines îles *indépendamment de tout déplacement éventuel du chenal*. Il est donc clair, je l'ai dit, que les signataires de 1891 envisageaient que le chenal tel qu'il était défini au moment du passage de leur acte (*actuellement*) puisse se déplacer.

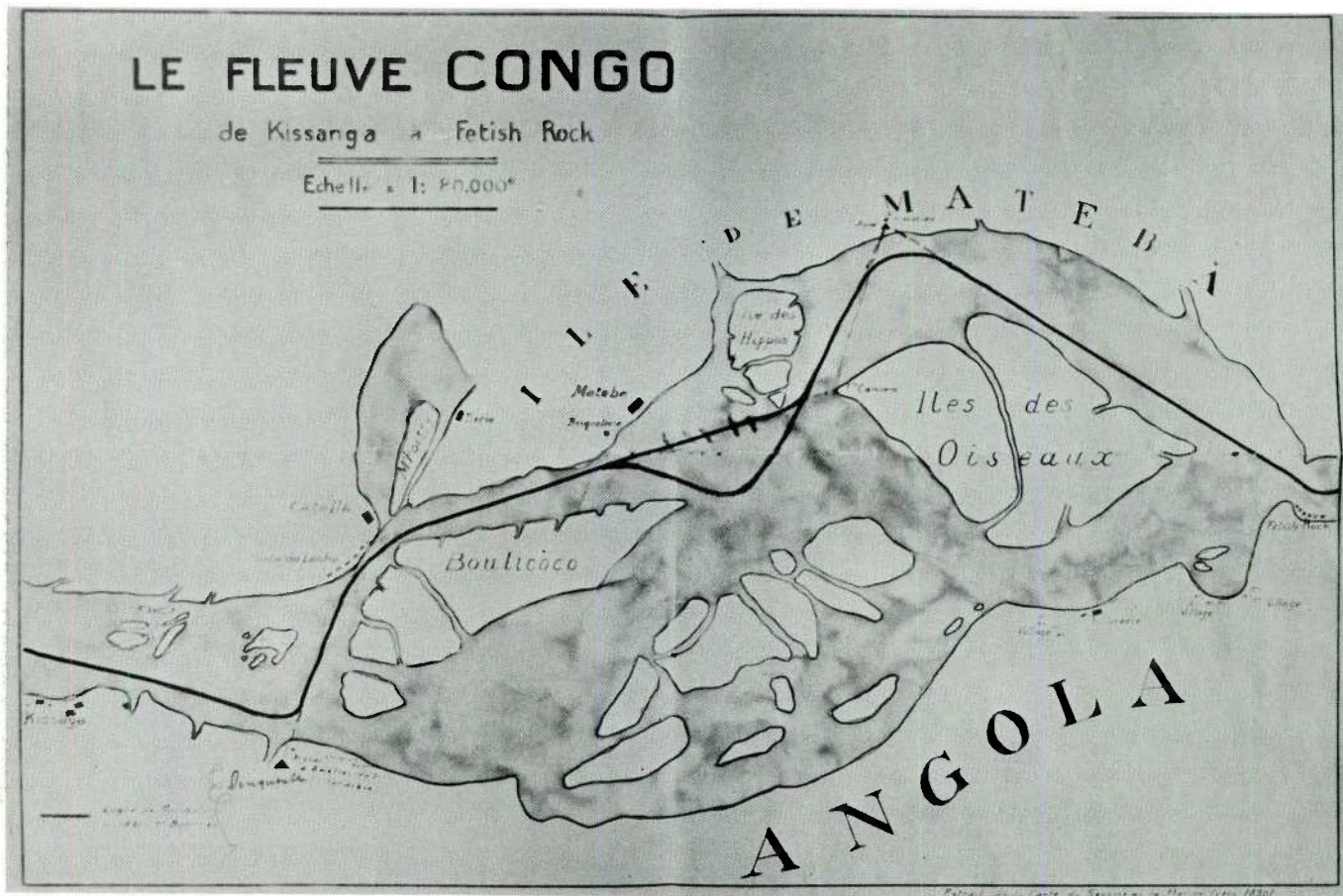
La première divagation des juristes belges dans notre histoire est qu'ils se soient laissé prendre par la formulation portugaise du problème et aient

permis que Paul Hymans, à l'époque ministre des Affaires étrangères, signe la lettre adressée le 10 décembre 1930 à l'ambassadeur du Portugal à Bruxelles, lettre par laquelle la Belgique acceptait de définir la ligne de plus grande navigation à laquelle se référerait la convention de 1891 [21]. D'emblée, on parlait ainsi dans l'équivoque. Il faut souligner que le faux-départ de la Belgique était sans doute encouragé par un fait, anodin à première vue mais capital en l'occurrence. Comme nous allons le voir, ni à Léopoldville, ni à Bruxelles, on ne possédait plus de carte indiquant la position du chenal en 1891. On était donc incapable de mesurer les problèmes résultant pour celle-ci des divagations du fleuve.

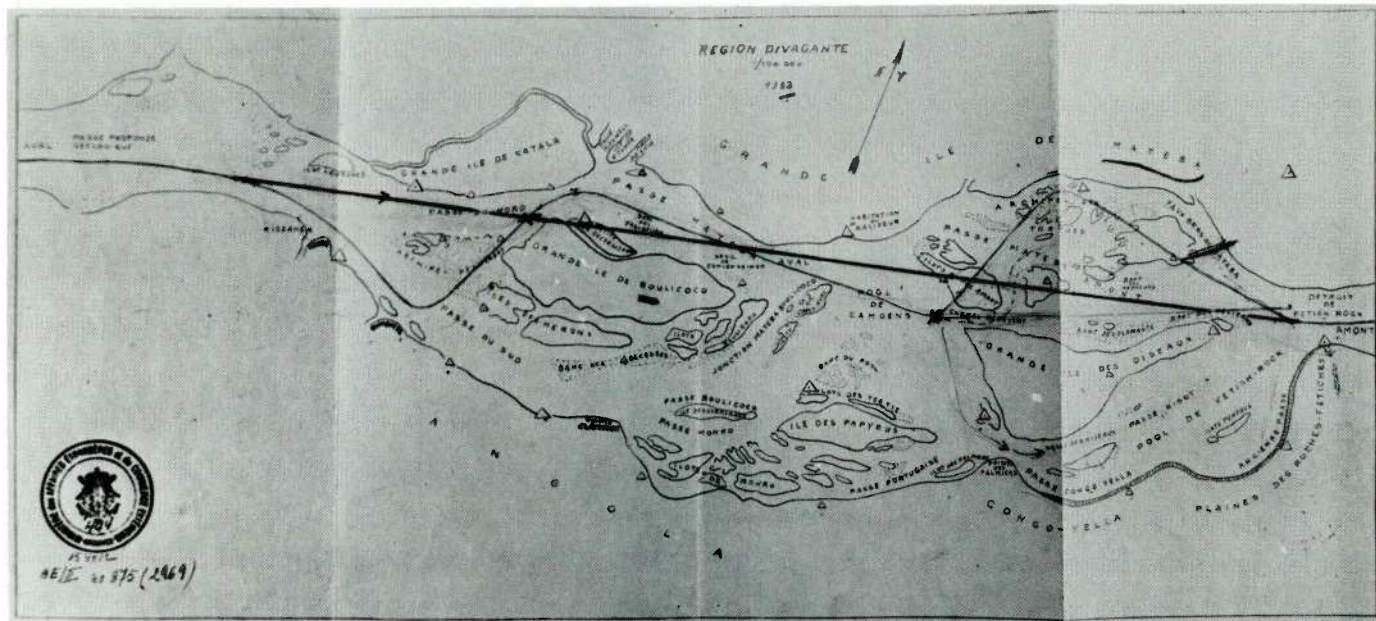
L'exécution sur le terrain n'allait cependant pas suivre aussi rapidement. Bien qu'une mission portugaise ait été rapidement présente sur le Bas-Fleuve, des confusions dans les communications entre Bruxelles et Léopoldville aboutirent au départ des Portugais, bredouilles [22]. En effet, le ministère des Colonies avait désigné, par une lettre du 24 mars 1931 au Gouverneur général, le général Weber en qualité de commissaire belge à la délimitation. Mais, dès le premier contact entre Belges et Portugais, le général Weber avait annoncé à son homologue portugais qu'il rentrait prochainement en Belgique, y ayant été rappelé. Ce que le général ignore c'est que dès le 20 mai 1931, le ministre a prévu son remplacement par l'hydrographe en chef ou l'un de ses adjoints, que le 9 août, le Gouverneur général a accusé clairement réception de cette instruction et qu'il a même désigné à cette fin, le 27 juillet, l'ingénieur hydrographe de 1<sup>ère</sup> classe Merlin. Se trouvant apparemment sans interlocuteurs, sur la foi des déclarations du général, les Portugais saisissent du problème le ministre à Bruxelles. Celui-ci est ainsi informé des faits en octobre 1931 ; le ministre Paul Crokaert propose alors Joseph Mayaudon, chef du service hydrographique du Bas-Fleuve pour remplir les fonctions de commissaire belge. Mais dans l'intervalle, les Portugais étaient repartis.

Ce n'est qu'en décembre 1931 que Joseph Mayaudon est proposé comme commissaire belge [23] et fait d'ailleurs part aux autorités de sa perplexité devant le fait que les services compétents ne possèdent plus de cartes de la ligne de navigation de 1891 [24]. Divers documents existent cependant qui permettraient de la reconstituer tant bien que mal. Ce problème sera résolu dans les mois qui suivent, suite à une consultation du commandant Bouriez, hydrographe principal dans le Bas-Congo jusqu'en 1915 et ayant commencé à naviguer sur le bief maritime en 1891 précisément. Celui-ci indiqua sur une carte le chenal suivi à l'époque (voir carte 1) [25]. Puis ce seront les Portugais, conduits par le 1<sup>er</sup> lieutenant Alphonse Dias, qui seront attendus et les travaux ne débiteront effectivement





Carte 1. – La ligne de navigation de 1891 rétablie par le commandant Bouriez.



Carte 2. — Le tracé rectiligne proposé par Mayaudon et Dias.

qu'au cours de la saison des pluies 1932-1933. Joseph Mayaudon a reçu des instructions précises de l'ingénieur en chef de la Colonie. Il faut rechercher la ligne du chenal de 1891, en retrouver les repères et éventuellement les reconstituer, voir comment se situent les îles, chercher une solution satisfaisante en cas de partage et enfin prévoir une solution pour l'avenir. Ces instructions font suite à une note de l'hydrographe de décembre 1931 et à une réaction du ministère à cette note. Dans celle-ci, Joseph Mayaudon qui n'avait pas eu connaissance de la carte établie par le commandant Bouriez, proposait que l'on suive, comme ligne frontière, le chenal de 1932. Or, celui-ci laissait au nord l'île des Oiseaux qui ainsi serait devenue belge dans l'esprit de l'hydrographe alors que la convention de 1891 l'attribuait définitivement au Portugal. Le ministère des Colonies estima que pareille conclusion était en contradiction avec le texte de 1891 et ne pouvait être suivie [26]. Or, si elle était incorrecte en ce qui concerne le statut de l'île attribuée définitivement au Portugal en 1891, elle était parfaitement conforme à ce texte en ce qui concerne la frontière. Le ministère persistait donc dans l'erreur en ce qui concerne cette dernière.

Le 6 mai 1933, Mayaudon et Dias, à l'initiative de ce dernier, proposent un tracé en ligne droite de Kissanga à Fetish Rock car il est «très difficile de matérialiser la frontière par suite des changements continuels» [27]. Aux deux techniciens la droite semble donc le tracé le plus court... Considérée objectivement, la frontière ainsi définie n'était globalement pas tellement défavorable aux Belges si on la compare au traité de 1891 (voir carte 2). L'essentiel du chenal de navigation tel qu'il se présentait à l'époque était souvent situé bien au nord du nouveau tracé si on excepte une petite boucle en fin de parcours vers la mer. Le 13 juin, le gouverneur général a.i. Louis Postiaux marque son accord sur la proposition Dias-Mayaudon [28]. Le 7 août 1933, le département des Colonies refuse le tracé proposé faisant remarquer que le tracé ainsi défini «ne tient aucun compte des nécessités de la navigation» puisqu'aussi bien, tel qu'il est défini, il coupe des terres ; de plus, est-il possible qu'une «ligne séparative des eaux» telle qu'elle est prévue au traité passe par la terre ferme ? [29]. En outre, quelques jours plus tard, une note complémentaire [30] précise que si les échanges de territoires résultant du tracé rectiligne pouvaient sembler équitables (ceux-ci étaient par ailleurs infimes), le tracé était «désastreux» pour le Congo car il laissait l'eau aux Portugais. Or, celle-ci et les facilités de navigation étaient ce qui comptait, les terres étant sans intérêt. Sans doute cela était-il vrai et l'inclusion définitive de la passe Nisot en territoire portugais inquiétait-elle les autorités coloniales belges malgré les garanties prévues par l'Acte de Berlin



en ce qui concerne la liberté de navigation. En outre, leur raisonnement était juridiquement fondé au départ du texte de 1891 puisque celui-ci définissait la frontière comme un chenal de navigation ; il ne pouvait donc être question de franchir des terres.

On en revient ainsi une première fois à la case de départ, bien que Joseph Mayaudon ait défendu son point de vue dans une note du 28 août 1933 [31] en soulignant que la ligne droite proposée était globalement plus favorable à la Belgique que la ligne de 1891, ce en quoi il a raison. Il propose en outre que les îles traversées par la nouvelle frontière se trouvent sous l'autorité de l'un ou l'autre pays en fonction de leurs mouvements éventuels de part et d'autre de la ligne et sous l'autorité des deux lorsque cette ligne les traverse ; cette disposition ne modifierait cependant pas le statut des îles expressément prévues dans le texte de 1891, soit Bulicoco et Mateba.

Enfin, il allait bien plus loin que sa mission en prévoyant dans son accord avec Dias que chaque pays aurait le droit d'entreprendre tous les travaux de dragage et de régularisation de la partie divagante du bief maritime qu'il estimerait utiles. La seule différence entre les dragages et les autres travaux serait que ces derniers exigeraient l'accord préalable de l'autre partie. Enfin, les parties auraient le droit d'établir sur le territoire de l'autre tous signaux et repères utiles à la navigation, ceci n'impliquant en aucune façon une occupation territoriale ou administrative.

Le 31 octobre 1933 [32], le ministre des Colonies précise au gouverneur général que le commissaire belge doit s'occuper exclusivement de sa mission de détermination de la frontière. Il ne doit en aucun cas s'occuper du problème des travaux effectués pour assurer la navigabilité ; le ministre estime en effet qu'amorcer la discussion sur ce point serait susceptible d'entraîner une limitation d'un droit que la Belgique estime posséder au regard du droit international et qu'elle exerce dans la région depuis plus de quarante ans. Enfin, le ministre marque son accord pour la formule de condominium sur les îles qui, *à l'avenir*, se trouveraient à cheval sur la frontière. Sur ce point, les juristes divaguent à nouveau. En effet, admettre que des îles puissent se trouver sur le tracé d'une frontière définie par un chenal de navigation, est pour le moins étonnant. Les juristes s'en étaient d'ailleurs aperçu quelque temps auparavant lorsqu'ils avaient repoussé l'idée de la ligne droite.

C'est alors que le ministère belge des Affaires étrangères intervient dans le scénario en proposant que les négociations, en raison des problèmes qu'elles posent (il s'agit davantage de définir une nouvelle frontière que de préciser une ligne préexistante), se déroulent en Europe au plus haut niveau

plutôt que de les abandonner à des techniciens sur le terrain [33]. Aussi bien le ministère des Colonies que le gouvernement portugais sont réticents. Mais finalement, le second nommé insistant particulièrement pour que les travaux soient repris, les deux parties reprennent le chemin de la table des négociations. Elles se retrouvent à Lisbonne en mars 1935.

Mais cette rencontre a été précédée par divers contacts. Tout d'abord, dans une note au ministre des Colonies datée du 20 février 1934 [34] et couvrant 9 annexes, le gouverneur général Tilkens propose cinq variantes pour la frontière entre Kissanga et le roc du Fétiche. A l'origine de ces propositions se trouve le capitaine-commandant Liégeois, adjoint de Joseph Mayaudon dans la mission de délimitation ; ce dernier est en effet mort inopinément le 15 janvier 1934, le jour même de l'ouverture officielle de la passe portant son nom. Ces cinq solutions diffèrent par des points de détail et aboutissent selon les cas à des avantages territoriaux soit pour la Belgique soit pour le Portugal ; ceux-ci ne dépassent jamais 15 km<sup>2</sup>. La note du gouverneur général insiste cependant sur les avantages d'une solution qui correspond le mieux à la fois à «la droite adoptée, en principe, par les délégués portugais» et «aux desiderata du service des Travaux Publics» ; en effet, ces derniers envisageaient de sacrifier la passe Nisot au bénéfice du «chenal réouvert». Il s'agit de la solution que l'on peut appeler celle de la ligne brisée.

Le 24 juillet 1934, la délégation du Portugal à Bruxelles saisit du problème le ministère des Affaires étrangères et, dans un memorandum [35], mit en évidence les deux solutions proposées par son gouvernement : soit une ligne droite, soit une ligne brisée fondée sur trois alignements, l'une et l'autre solution aboutissant à des échanges de territoire à peu près équivalents. La Belgique se montra d'accord pour entamer la discussion sur cette base et proposa qu'elle se tint en Europe. Le Portugal accepta le 22 novembre 1934. A ce moment, le ministère des Colonies estime d'une part qu'il ne faut plus trop se soucier du fait que la passe Nisot serait entièrement en eaux portugaises puisque aussi bien la liberté de navigation est garantie et les dragages ont toujours été faits sans objections du Portugal. Mais il est tout aussi clair que cette solution, en attendant la réouverture du «chenal réouvert», abandonne la définition de la frontière comme étant la ligne du chenal de navigation. Il importe donc, en principe, de modifier la convention de 1891 et de rechercher «une nouvelle frontière». C'est ce qui justifie la position belge de faire négocier en Europe et de ne pas laisser le problème «à l'appréciation d'une commission de techniciens travaillant sur place».

Le 7 décembre 1934, dans une note au ministre des Colonies [36], A. Dumont, directeur au ministère, s'oppose toujours à la solution de la ligne

droite, mais se rallie à celle de la ligne brisée pour peu que celle-ci «n'offre, pour la Belgique, pas d'inconvénient». Il est également d'avis que l'on profite de l'occasion pour aborder, de manière large, la définition des droits respectifs des deux pays en matière de travaux fluviaux. Ce dernier point ne fut pas retenu et c'est donc exclusivement avec mission de redéfinir la frontière qu'A. Dumont et l'ingénieur en chef Maury partirent pour Lisbonne. C'est à ce moment d'ailleurs que les juristes se rendirent compte de la difficulté de procéder à la définition d'une nouvelle frontière par des voies simplifiées ; c'est pourquoi la mission Dumont-Maury fut soigneusement qualifiée de mission chargée de préciser «une frontière ancienne» telle qu'elle était définie dans la convention de 1891, même si chacun sait que, par la force des choses, il ne peut plus s'agir de cela, au moins dans la partie du fleuve comprise entre l'île des Oiseaux et celle de Mateba.

Il ne fallut pas une semaine aux négociateurs pour s'entendre et le 13 mars 1935 fut signé le protocole de Lisbonne [37] consacrant la solution de la ligne brisée (voir carte 3). Celle-ci avait l'avantage, par rapport à la ligne droite, de présenter un tracé épousant le trajet d'un éventuel chenal de navigation et de ne plus passer à terre. Mais il est tout aussi clair que ce tracé s'éloignait davantage que la ligne droite du chenal de 1891. A deux kilomètres près, il laissait la totalité du chenal de navigation en territoire portugais. En outre, tout autant que le tracé en ligne droite, il laissait la quasi-totalité des eaux en territoire portugais, alors que c'est précisément ce fait qui a conduit à déclarer la ligne droite «inadmissible». Mais il est vrai que la ligne brisée passait par le «chenal réouvert» entre l'île des Oiseaux et celle des Hippos (amont) et permettait donc d'abandonner éventuellement la passe Nisot au bénéfice d'une route plus courte. Personne ne soulevait évidemment la perte de l'investissement consenti pour creuser et entretenir la passe Nisot pendant quelque vingt ans et les montants à investir pour assurer la navigabilité du «chenal réouvert».

Très rapidement, une mission de délimitation sur le terrain fut désignée. Le 28 mai 1935, le capitaine-commandant A. Massart devenait délégué belge à la délimitation avec, comme assistant, l'hydrographe Jean Triquet ; la délimitation intervenait le 20 août 1935 [38]. Ainsi le problème, pendant depuis 1891, était apparemment réglé.

Restait cependant celui de la ratification par le gouvernement belge du protocole de Lisbonne ; mais y avait-il là un problème ? Il semble bien que le ministère des Affaires étrangères n'ait pas tardé à le soulever [39]. Ce ministère estime en effet qu'en substituant au *Thalweg* une frontière fixe, indépendante des variations du lit du fleuve, le ministère des Colonies a fait



# MISSION DE DÉLIMITATION DE LA FRONTIÈRE DANS LE BAS FLEUVE

Croquis annexé au rapport mensuel de Juillet 1935

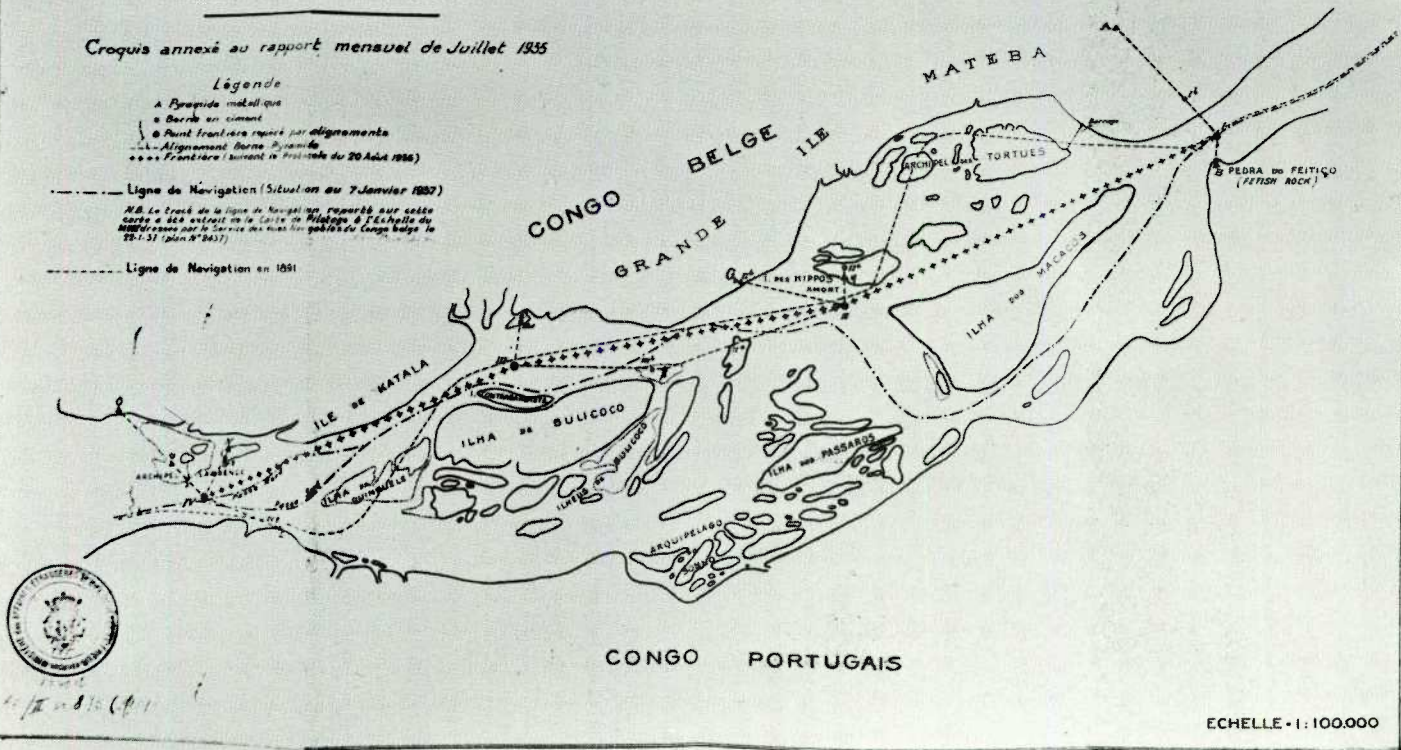
## Légende

- A Boussole métallique
- o Barre en ciment
- Point frontière repéré par alignement
- - - Alignement borne triangulaire
- \*\*\* Frontière suivant le Protocole du 20 Août 1935

----- Ligne de Navigation (Situation au 7 Janvier 1937)

N.B. Le tracé de la ligne de Navigation rapporté sur cette carte a été extrait de la Carte de Nilgogo à l'Echelle de 1:500,000 dressée par le Service des cartes hydrographiques du Congo belge la 25-1-31 (plan N° 8437)

----- Ligne de Navigation en 1891



ECHELLE - 1 : 100.000

Carte 3. — La ligne brisée adoptée dans le protocole de 1935.

bien davantage que préciser une frontière ancienne. En outre, les Affaires étrangères lisent la convention de 1891 sans estimer, comme les Colonies, que cette convention crée en fait deux frontières, l'une mobile divisant les eaux, l'autre fixe divisant les terres. De toute évidence, la lecture des premières est correcte, celle des secondes ne tenant pas. Les juristes du département des Colonies tirent en outre argument de la non-utilisation du mot *Thalweg* et de l'utilisation du mot tracé pour estimer qu'il ne peut s'agir d'une frontière mobile. En tout état de cause, ajoutent les Colonies, s'il s'agissait d'un *Thalweg*, cette notion ne serait pas applicable au fleuve Congo qui à proprement parler n'en a pas. De plus, il est impensable que si le chenal de navigation venait à se déplacer, certaines îles deviennent enclaves dans les eaux de l'autre partie. Sur tous ces points, je crois que les juristes de la Place Royale divaguent et témoignent d'une profonde méconnaissance du droit et de la pratique internationaux. Les deux départements confronteront leurs points de vue pendant le printemps et l'été 1936 et la conclusion en sera que la Belgique refusera en décembre 1937 de ratifier le protocole de Lisbonne qui, par là même, deviendra caduc. En juillet 1938, à l'occasion d'un entretien avec le chargé d'affaires portugais, O. Louwers aura l'occasion de lui préciser les motifs du refus de ratification par la Belgique. Mais il estime néanmoins qu'il pourrait être utile de régler le sort des îlots non attribués en 1891. Cette suggestion belge ne sera pas reprise par le gouvernement de Lisbonne. On en reste donc au texte de 1891, lequel lie encore aujourd'hui et sans problèmes apparents l'Angola et le Zaïre.

Au moment où la Belgique renonce à la ratification, l'ingénieur dirigeant le Service spécial du Bas-Congo au moment où les premières missions étaient annoncées à Boma a quitté cette ville. Il est devenu directeur des Voies navigables à Léopoldville et le problème de la fixation de la frontière est bien le dernier de ses soucis. Pour l'instant, il travaille, avec l'ingénieur en chef de la Colonie, à un ouvrage consacré au Bas-Congo, «artère vitale» comme disait le gouverneur général Henry, de la Colonie. Quant à l'enfant que sa femme attendait, il avance vers ses six ans et pédale avec énergie à ses côtés sur son premier vélo à deux roues. Mais ni le père ni l'enfant ne peuvent un seul instant imaginer que le second aura un jour le privilège d'entretenir une aussi auguste assemblée du temps où les juristes, comme le fleuve, divaguaient.

## NOTES

- [1] Sur Joseph Mayaudon (1895-1934), voir *Biographie coloniale belge*, 3, col. 608.
- [2] La convention a été publiée notamment au *Bulletin officiel de l'État Indépendant du Congo*, 1891, 217.
- [3] Voir PARRY, C., *Consolidated Treaty Series*, 95 : 223.
- [4] *Idem*, 165, 485.
- [5] Cette définition du Congo dans sa partie divagante est empruntée à une note non datée et non signée sur «La frontière belgo-portugaise dans le Bas-Congo», Archives africaines, Archives du Service cartographique (2069), dossier 341.
- [6] Voir PARRY, C., *op. cit.*, 64, 453.
- [7] *Annuaire de l'Institut de Droit international*, 24 : 365-366.
- [8] Ce point est mis en évidence par le gouvernement portugais dans une lettre du haut-commissaire en Angola Da Camara au gouverneur général du Congo belge, remise à celui-ci au début en février ou mars 1930 : «Nao tem falizmente tombeur, no Congo decurso de quasi quarenta anos surgido incidentes...». Archives africaines, Archives du Service cartographique (2069), dossier 341.
- [9] Voir la correspondance sur ce point aux Archives africaines, *idem*.
- [10] Voir note de 1 D.G., 2 D. en date du 7 janvier 1935 in Archives africaines, Archives des Affaires étrangères/II (2969), dossier 875.
- [11] *Idem*, dossier 35/2/e où il fait référence à un article publié le 1<sup>er</sup> mars 1930 dans la revue *African World*, article critiquant les travaux belges de rattachement de l'île Mateba à l'une des Tortues et barrant donc l'un des chenaux du fleuve. Ce point sera repris dans une note de la délégation du Portugal à Bruxelles datée du 11 mars 1935.
- [12] *Recueil général des Traités*, 59 (1884-1886) : 381.
- [13] Sur ce point, voir notamment une note du gouverneur général Henry au ministre des colonies en date du 10 janvier 1920 (Archives africaines, Service cartographique, (2069), dossier 339). Dans cette note, le gouverneur général revendique la primeur de l'idée du franchissement du fleuve à Matadi qui «n'offre pas, m'assure-t-on, à l'art de l'ingénieur des difficultés insurmontables».
- [14] Voir LOUIS, W. 1963. Ruanda-Urundi 1884-1919, Oxford.
- [15] Archives africaines, A.E./II (2969), dossiers 872 et 873.
- [16] *Ibidem*.
- [17] *Biographie belge d'Outre-Mer*, 7A, col. 64.
- [18] Archives africaines, A.E./II (2969), dossier 871.
- [19] Il s'agit de la note citée *supra* note 7.
- [20] *Ibidem*.
- [21] Archives africaines, Service cartographique (2069), dossier 341.
- [22] *Idem*.
- [23] *Idem*.



- [24] *Idem*, pièce 22 où la seule solution envisagée est d'essayer d'obtenir des cartes auprès des Portugais.
- [25] *Idem*, pièce 32. Cette pièce contient une indication erronée en décrivant Bouriez comme le chef du service hydrographique en 1891. Voir MOULAERT, G. 1951. Bouriez (Daniel-Emile-Joachim-Servais). *Biographie coloniale belge*, 2, col. 82.
- [26] L'ensemble de ces documents se trouve dans le dossier 876, Archives africaines, A.E/II (2969).
- [27] Archives africaines, Service cartographique (2069), dossier 341.
- [28] *Ibidem* et *Biographie belge d'Outre-Mer*, 6, col. 831.
- [29] *Idem*.
- [30] *Idem*.
- [31] *Idem*.
- [32] *Idem*.
- [33] *Idem*.
- [34] *Idem*.
- [35] *Idem*.
- [36] *Idem*.
- [37] Archives africaines, Service cartographique (2078).
- [38] *Idem*.
- [39] Voir sur ce point, VAN ZUYLEN, P. 1959. L'échiquier congolais ou le secret du roi. Bruxelles, p. 493.

### ÉLÉMENTS BIBLIOGRAPHIQUES

Le problème des frontières a fait l'objet d'une abondante littérature spécialisée qu'il est inutile de répéter. J'attire seulement l'attention sur un article, relativement récent, qui a plus spécifiquement trait aux frontières fluviales :

BOUCHEZ, L. L. 1963. The Fixing of Boundaries in International Boundary Rivers. — *International and Comparative Law Quarterly*, 12 : 789-817.

Sur la frontière fluviale du Zaïre le travail le plus récent est une thèse non publiée, soutenue à l'Université de Paris :

BUKASSA, J. 1972. Le régime international du fleuve Congo.

A côté de ce travail existent les mises au point factuelles de :

BROWNIE, I. 1979. African Boundaries. — London,

et les deux études de P. JENTGEN :

JENTGEN, P. 1937. La Terre belge au Congo. — Bolyn, Bruxelles ;

JENTGEN, P. 1952. Les frontières du Congo belge. — Institut royal colonial belge, Bruxelles.

Enfin existe le mémoire de licence en Sciences politiques et Relations internationales présenté à l'Université libre de Bruxelles :  
POLTORAK, V. 1986. Les frontières entre le Congo/Zaïre et l'Angola. — Bruxelles.

Aucune de ces diverses études n'offre une description complète des problèmes rencontrés dans les années trente à l'occasion de la délimitation de la frontière dans la zone divagante du Bas-Fleuve ; seul un traitement exhaustif des Archives belges et portugaises le permettrait. La présente étude se fonde uniquement sur une première approche des archives belges.

*Symposium*  
«L'Accès maritime au Zaïre»  
(Bruxelles, 5 décembre 1986)  
Académie royale des Sciences  
d'Outre-Mer  
pp. 69-76 (1988)

*Symposium*  
„De Maritieme Toegang tot Zaïre”  
(Brussel, 5 december 1986)  
Koninklijke Academie voor Overzeese  
Wetenschappen  
pp. 69-76 (1988)

## ÉTUDES DE LA NAVIGABILITÉ

PAR

A. STERLING \*

129712

RÉSUMÉ. — Dans la région divagante, des seuils sablonneux se forment, qui entravent la navigation ; des dragages permettent d'établir un chenal de navigation. Néanmoins, ce chenal a subi diverses modifications depuis le début du siècle. La dernière a eu lieu en avril 1986. Actuellement, on cherche à mieux comprendre le mécanisme d'ensablement, le transport solide étant dû à la force érosive de l'eau lors des crues. Pendant ces vingt dernières années, les études effectuées sur modèle réduit, et les missions de collecte de données et de formation de personnel effectuées *in situ* ont permis de mieux prévoir les évolutions futures et donc d'accroître la sécurité de la navigation.

SAMENVATTING. — *Studies van de bevaarbaarheid.* — In de beddingveranderende zone vormen zich zandige drempels, die de scheepvaart bemoeilijken ; baggerwerken laten toe een vaargeul tot stand te brengen. Nochtans heeft de vaargeul sinds het begin van de eeuw verschillende veranderingen ondergaan. De laatste dateert van april 1986. Momenteel probeert men het verzandingsmechanisme beter te begrijpen, vermits het zandtransport te wijten blijkt te zijn aan de erosieve kracht van het wassende water. De laatste 20 jaar hebben de studies op schaalmodel, samen met de studiezendingen en die van personeelsvorming *in situ*, toegelaten de toekomstige evolutie beter te voorzien en dus de veiligheid van de scheepvaart te verhogen.

SUMMARY. — *Studies of the navigability.* — In the “divagant” region, sandy sills are formed, which obstruct the navigation ; dredging permits the establishment of a navigation channel. Nevertheless, this navigation channel has been subject to different modifications since the beginning of the century. The last one has taken place in april 1986. Nowadays, one is trying to understand better the mechanism of sanding up, knowing that the transport of sand is due to the erosive force of the water during the swelling. During these last 20 years, not only the studies done on scale model, but also the fact-finding explorations and the training courses of personnel *in situ* allow for a more accurate prediction of the future evolutions and so increase the security of the navigation.

\* Membre titulaire de l'Académie ; Ministère des Travaux publics, Résidence Palace, Rue de la Loi 155, B-1040 Bruxelles (Belgique).





Comme l'a rappelé M. Charlier, au siècle passé, la route de navigation dans la région divagante passait au nord de l'île des Oiseaux et de l'île Bulikoko. Le tirant d'eau avoisinait 15' (4,50 m).

Deux dépliants (fig. D1 et D2), illustrent l'évolution des routes de navigation en fonction de la répartition des bancs de sable (le côté d'un carré représente 1 km).

De 1900 à 1923, une seconde route de navigation fut balisée le long de la plaine de Congo Yela, dans le pool de Tumbimbi (ex-Camoëns) et la passe Sud. Cette seconde route, située au sud de l'île des Oiseaux, était réservée aux grands navires. Des dragages effectués dès 1905 y avaient porté le tirant d'eau à 21' (6,40 m). En 19 ans, on avait dragué environ 6 millions de m<sup>3</sup> (fig. D1).

Les études menées par l'hydrographe Nisot de 1918 à 1921 eurent pour conclusion l'adoption d'un nouveau tracé, en 1923. Le nouveau chenal empruntait le pool Ditadi Dia M'Vingu (ex-Fetish Rock), entre l'île des Oiseaux et les îles Pay (ex-Penfold). Il remplaçait les deux passes précédentes.

La passe Nisot (actuellement appelée passe Kindu), longue de 5,2 km, nécessita le dragage de 3,5 millions de m<sup>3</sup> de sable. Trois dragues suceuses-porteuses furent utilisées : *Mateba*, d'une capacité de 300 m<sup>3</sup> ; *Boma*, d'une capacité de 500 m<sup>3</sup> ; *Longa*, d'une capacité de 500 m<sup>3</sup>. Elles furent mises en service respectivement en 1905, 1911 et 1922.

La passe Kindu (ex-Nisot) fut ouverte à la navigation en juillet 1924. Elle était large de 200 m à l'amont, de 125 m à l'aval, présentait un mouillage de 22' (6,71 m) et reliait la grande fosse ouest de Ditadi Dia M'Vingu à la fosse de l'île des Oiseaux.

La nouvelle route de navigation suivait alors, en aval de Ditadi Dia M'Vingu, la grande fosse Ouest, la passe Kindu (ex-Nisot) et la fosse des Oiseaux, puis contournait le banc du pool de Tumbimbi (ex-Camoëns) en une large courbe bordée à l'ouest et au nord par les îles des Oiseaux et de Nguvu (ex-Hippos) et rejoignait la grande fosse de la passe Sud par la passe Bulikoko ou la passe Monroë [passes situées entre la pointe Nkonko Kiombe (ex-Claeyssens) et la grande île Bulikoko]. Cette situation se maintint pendant trois ans.

En 1927, suite à la division par érosion de l'île de Nguvu en deux groupes d'îlots, un large chenal s'ouvrit et mit en communication la fosse des Oiseaux avec celle qui longeait le sud de la grande île Mateba et le nord de l'île Bulikoko.

En 1930, le chenal navigable s'était établi dans les grandes lignes tel qu'il devait subsister jusqu'en 1962. Malgré les évolutions du thalweg qui, en

1933, rendirent indispensable l'ouverture de la passe Bunia (ex-Mayaudon) pour joindre la passe Kindu à la fosse des Oiseaux, malgré l'obligation constante d'effectuer des dragages pour améliorer les mouillages offerts, redresser la passe Tumbimbi et ouvrir les nouveaux seuils de Ziamanganga (ex-Convensaingh), Bulikoko et Kondo, la route de navigation resta stabilisée dans le pool Ditadi Dia M'Vingu, le pool Tumbimbi et le pool de Mateba aval le long des îles Mateba, Bulikoko et Katala (fig. D1).

Le mouillage offert, c'est-à-dire le tirant d'eau maximum autorisé à marée basse aux navires de mer dans la région divagante, fut porté progressivement de 22' (6,71 m) en 1924 à 30' (9,15 m) à partir de 1954 par un dragage constant, porté de 1 300 000 m<sup>3</sup>/an à 4 400 000 m<sup>3</sup>/an, par des dragues suceuses-porteuses stationnaires de capacité moyenne (500 et 800 m<sup>3</sup>).

Entre 1937 et 1957, la répartition du débit moyen du fleuve Zaïre en aval de Boma fut plus favorable pour le pool de Ditadi Dia M'Vingu que pour le pool de Mateba amont :

Boma 100%					
Chenal Loango M'Zambi (ex-Maxwell)		Pool N'Tua N'Kulu (ex-Banc d'Anvers)			
1937/38	1956/60	1937/38	1956/60		
15%	13,5%	85%	86,5%		
		Pool de Mateba amont		Pool de Ditadi Dia M'Vingu (ex-Fetish Rock)	
		1937/38	1956/60	1937/38	1956/60
		38%	35%	47%	51,5%

A cette augmentation du débit dans le pool de Ditadi Dia M'Vingu correspondait un approfondissement constant et une période de stabilisation du chenal navigable, où le mouillage offert à marée basse avait été porté par dragage de 22' en 1924 à 30' à partir de 1954.

Cependant, la crue exceptionnelle de décembre 1961, la plus forte connue à ce jour, devait modifier profondément cet équilibre. Elle transforma la configuration du banc N'Tua N'Kulu (ex-Banc d'Anvers), ce qui provoqua une variation du courant dans le pool de N'Tua N'Kulu et eut pour conséquence la création d'une fosse profonde dans le pool de Mateba amont.

Cette modification naturelle, à l'amont immédiat de l'endroit où le fleuve se divise en deux bras, influença fortement la répartition du débit entre le bras Nord (le pool de Mateba amont), et le bras Sud (le pool de Ditadi Dia M'Vingu) qu'empruntait la route de navigation (fig. 1).

Le tableau ci-dessous illustre la répartition du débit de 1937 à 1967 :

	1937/38	1956/60	1966/67
Pool de NTua NKulu	85%	86,5%	87%
Pool de Mateba amont	38%	35 %	45%
Pool de Ditadi Dia M'Vingu	47%	51,5%	42%
		- 10%	

Après la crue de 1961-1962, la passe Sud enregistra une perte importante, d'environ 10% du débit total, au détriment du pool de Tumbimbi. Cette situation provoqua un ensablement important de la passe, et il fut impossible à la Régie des Voies Maritimes de lutter efficacement pour garder ouvert le pool de Tumbimbi, le matériel de dragage étant insuffisant.

Entre 1959 et 1970, soit pendant douze années consécutives, des crues supérieures à la moyenne de 3,00 m au-dessus de l'étiage de Boma devaient se produire en décembre et influencer fortement le thalweg (fig. 2).

Cette suite inhabituelle de crues précédée et suivie de faibles décrues maintint à Boma un niveau moyen d'eau plus élevé d'environ 0,50 m que la moyenne.

Juxtaposée aux bouleversements engendrés par la crue de décembre 1961 qui avait modifié la répartition du débit en faveur du pool de Mateba amont, cette augmentation de la masse d'eau a favorisé le creusement dans le pool de Mateba amont d'une fosse de plus de 10 m de profondeur et d'environ 500 m de largeur, tandis que s'affirmait l'ensablement des pools de Ditadi Dia M'Vingu et Tumbimbi, où en 1966 le mouillage offert à la navigation était réduit à 25' (fig. 3).

En 1967, pour faire face à cette situation défavorable fort préjudiciable à l'économie nationale, les responsables ne pouvant plus garantir un mouillage suffisant dans les passes traditionnelles ont transféré la route de navigation dans le pool de Mateba amont, où une passe favorable s'était établie par évolution naturelle (fig. 4).

Diverses aides furent sollicitées et obtenues : la Communauté Économique Européenne finança l'achat de deux nouvelles dragues. Le Gouverne-



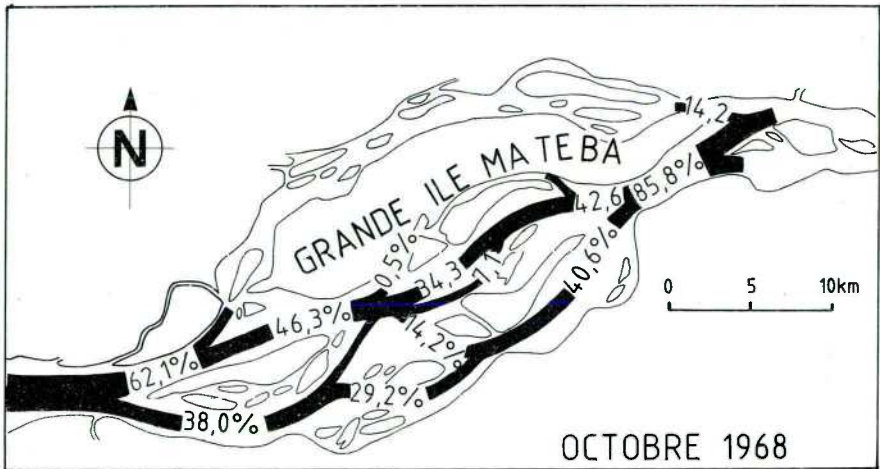


Fig. 1. Répartition du débit en 1968

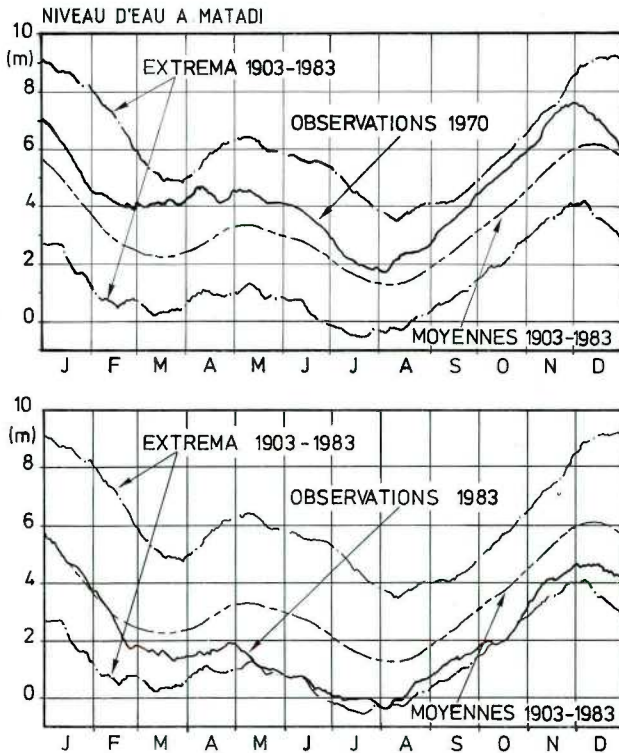


Fig. 2. Crue : enveloppe 1903-1983 et moyennes 1970-1983

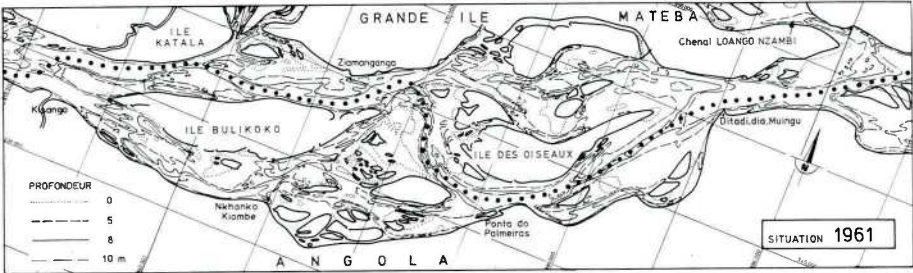


Fig. 3. Route de navigation 1961

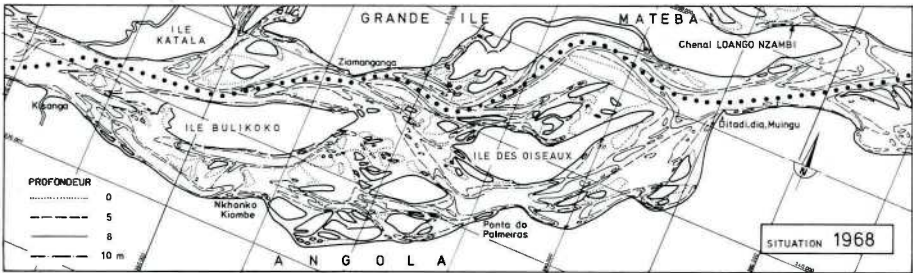


Fig. 4. Route de navigation 1968

ment belge fournit l'aide technique nécessaire pour la réalisation de l'étude de la région divagante du fleuve Zaïre et la formation des techniciens de la Régie zaïroise des Voies Maritimes. Une convention fut établie entre l'Administration Générale de la Coopération au Développement (A.G.C.D.) et le Ministère des Travaux Publics. L'U.S.A.I.D. prit en charge la location d'une drague de grande capacité destinée à ouvrir les seuils central et aval dans la nouvelle route de navigation (fig. 5).

En 1967, on abandonna donc la route de navigation inaugurée en 1924 par le creusement de la passe Kindu (ex-Nisot), dont les fonds étaient plus stables. En effet, la situation était devenue intenable dans le pool de Tumbimbi, où le «ripage» latéral de la passe navigable couvrait plus de 2 km (fig. 6). On profita alors du chenal qui s'ouvrit naturellement dans Mateba amont et offrait une solution immédiate aux problèmes de navigation dans le bief maritime.

Il est intéressant de remarquer qu'il existe une certaine analogie entre le coude aval du fleuve Zaïre dans le pool de Tumbimbi (ex-Camoëns) et le coude de Bath de l'Escaut (fig. 7 et 8). Nous constatons en effet une similitude dans la profondeur naturelle, la largeur du lit majeur, les vitesses du courant et les formes du méandre. Nous sommes cependant en présence de fleuves totalement différents ; l'un, l'Escaut, en aval d'Anvers, étant un fleuve à marée, à régime purement maritime, avec un débit d'amont quasi nul. L'autre, le Zaïre, en aval de Boma, étant un fleuve à fort débit d'amont et à courant simple fluctuant légèrement sans renversement de courant sous l'influence de la marée.

Le pool de Mateba amont fut donc ouvert à la navigation ; le thalweg s'y était établi le long du banc Blessure, de l'archipel des Tortues et de la grande île Mateba, puis entre les bancs Ziamanganga (ex-Convensaingh) aval et Kintelente (ex-Fraudeurs) et le long de l'île Bulikoko, pour enfin s'appuyer sur l'île Katala et rejoindre la grande fosse géologique le long de Kisanga (fig. D1).

Le banc de Kintelente (ex-Fraudeurs) se trouvait depuis de nombreuses années totalement en dehors et au nord de la route de navigation.

En 1961-1962, sous l'action de la grande crue, le seuil de Ziamanganga fut balayé, et la fosse qui s'appuyait sur l'île Bulikoko, s'incurvant vers le nord-ouest, coupa la pointe aval du banc de Kintelente pour s'y creuser un chenal de plus de 32' (10 m) (fig. 9).

Suite à l'ensablement du pool de Tumbimbi et à l'ouverture du pool de Mateba amont en 1967, le courant a modifié une nouvelle fois la configuration du banc de Kintelente, car au lieu de s'appuyer sur l'île de Bulikoko



comme en 1961-1962, en 1968 il s'appuie principalement sur l'île Mateba, ce qui lui fait attaquer le banc de Kintelente par l'est.

Cet angle d'attaque changera d'ailleurs au fur et à mesure que la boucle aval de sortie du pool de Mateba amont s'incurvera vers le sud, au détriment de la rive nord-ouest de l'île des Oiseaux qui s'érode, tandis que l'îlot aval de Tshiongo s'engraisse de plus en plus (fig. D1).

Quand la direction du courant principal sortant du pool de Mateba amont sera parallèle à la rive ouest de la grande île Mateba, le banc de Kintelente se sera engraisé au point de rejoindre l'île Bulikoko en la débordant à l'est, et le thalweg se sera établi autour du banc Kintelente en le tournant par le nord (fig. 9).

Actuellement, la route de navigation passe au nord du banc, ce qui correspond à un déplacement de plus de 3 km. A l'aval, le banc Diambote créant périodiquement le seuil de Kondo a été éliminé dès que le courant principal du thalweg s'est appuyé à la rive est de l'île Katala, et le seuil de Kondo a disparu (fig. 10).

Dans la région divagante, la nouvelle route de navigation a connu deux périodes distinctes et vient d'entrer dans une troisième.

#### *1967 à 1973*

Durant cette première période, dans la partie aval, les seuils de Ziamanganga (ex-Convensaingh), Mpuasi, Longo et Kondo ont disparu, provoquant ainsi un important appel d'eau qui a ouvert dans le pool de Mateba aval un chenal profond de plus de 32' (10 m). Une route de navigation sûre et aisée s'est maintenue dans ce chenal.

Grâce à l'appel d'eau créé en 1967 par le creusement des seuils de Mateba amont, Mateba central et Mateba aval, le thalweg s'est établi le long de l'archipel des Tortues à l'amont, le long de l'île des Flamants au centre, et le long de la grande île Mateba à l'aval.

Pendant cette période, les trois seuils de la nouvelle route de navigation sont restés relativement stables. Nous remarquerons cependant qu'à l'amont, la fosse centrale s'est incurvée de plus en plus en érodant la plus grande île de l'archipel des Tortues au point de la faire disparaître quasi totalement ; à l'aval, le seuil aval, qui en 1973 deviendra le seuil Nguvu (ex-Hippos), s'est déplacé vers le sud-est.

#### *1973 à 1985*

Cette seconde période se caractérise par le déplacement du banc Blessure qui, en s'engraissant, a bloqué l'entrée du pool de Mateba amont, car le banc

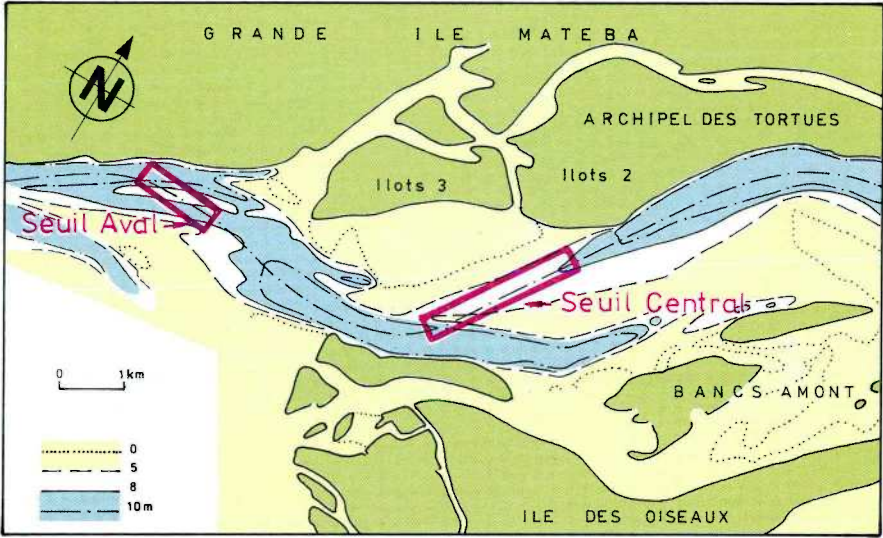


Fig. 5. Creusement des seuils "Central" et "Aval"

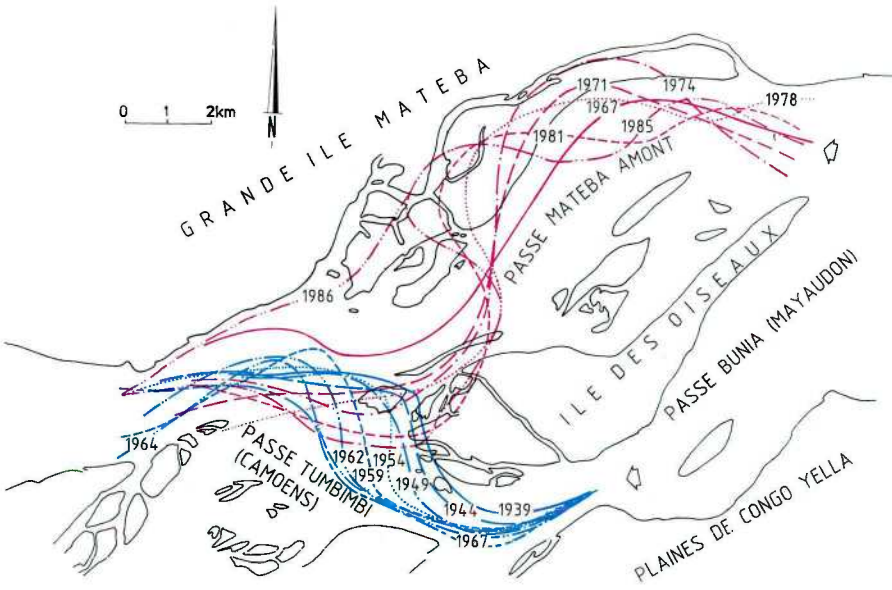


Fig. 6. Divagation de la route de navigation 1939 à 1985

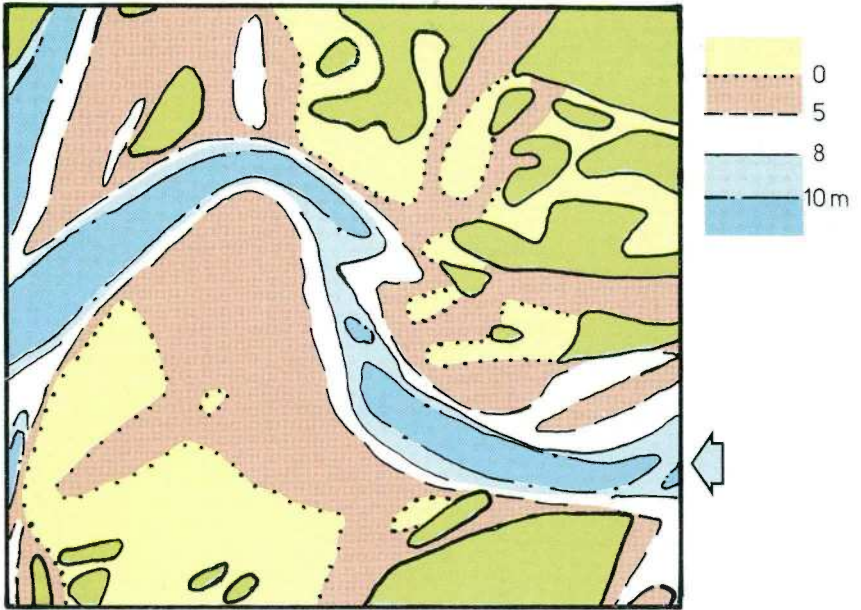


Fig. 7. Coude aval de la passe Camoëns (Zaire)

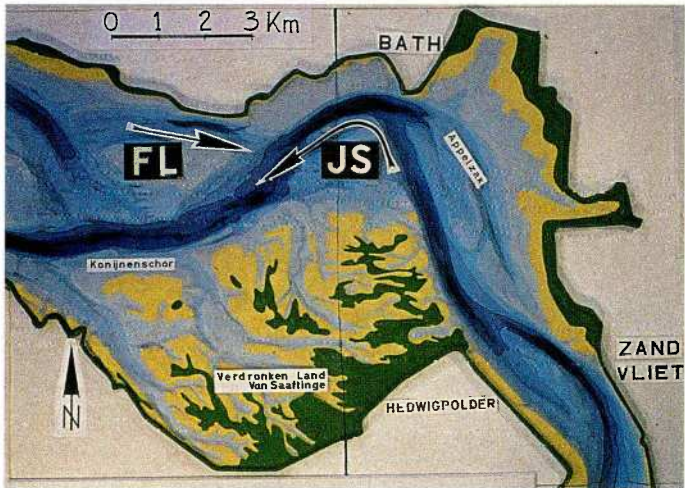


Fig. 8. Coude de la passe de Bath (Escaut)



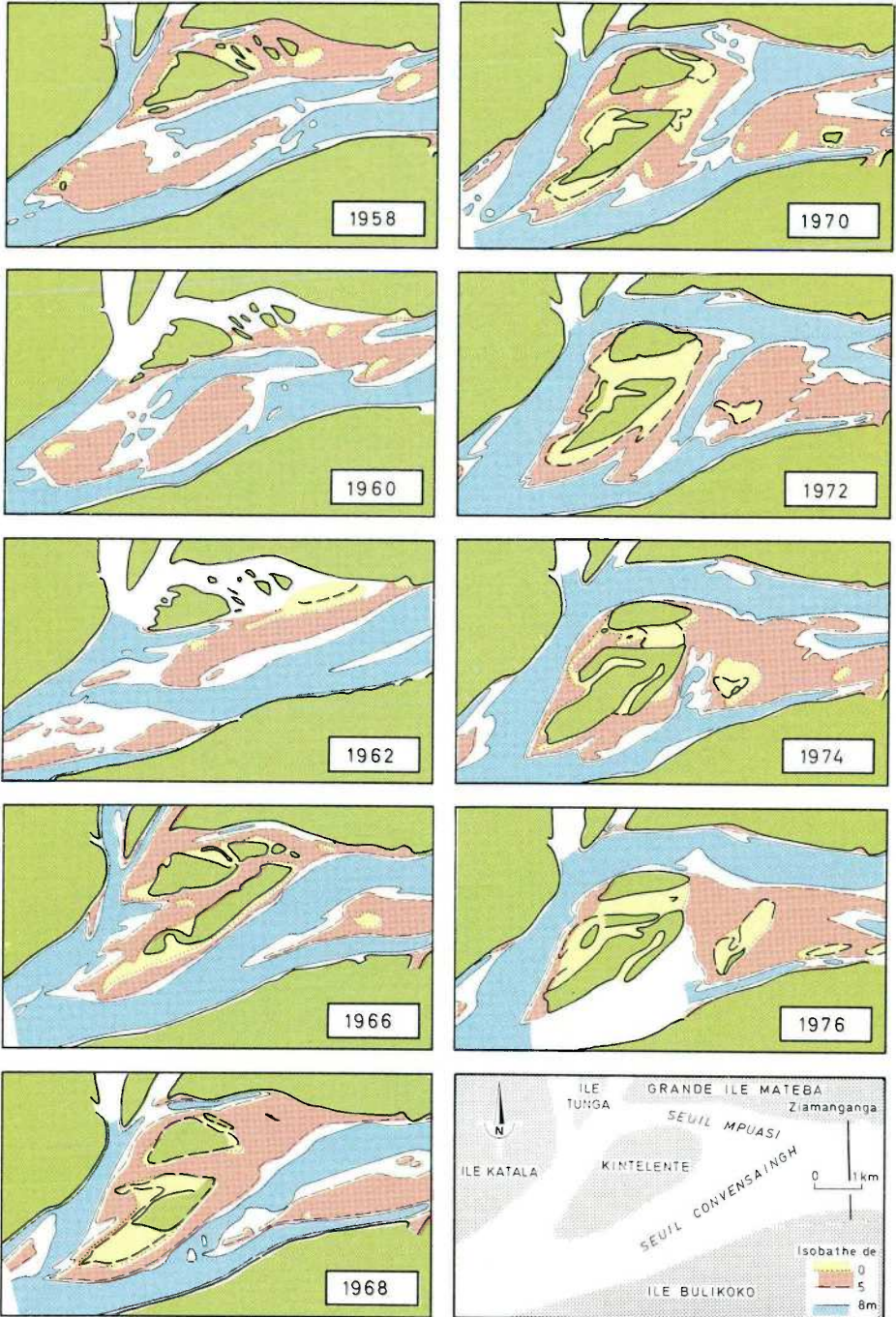


Fig. 9. Evolution du banc de Kintelente 1958-1976

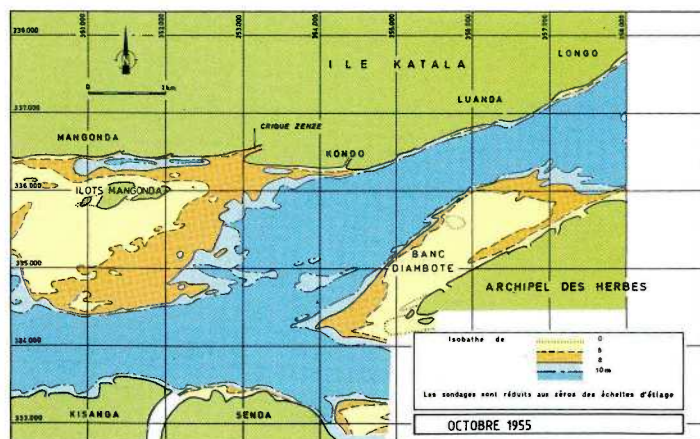
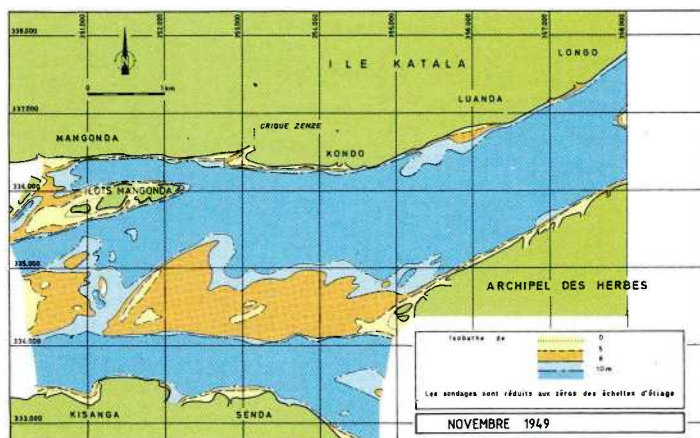
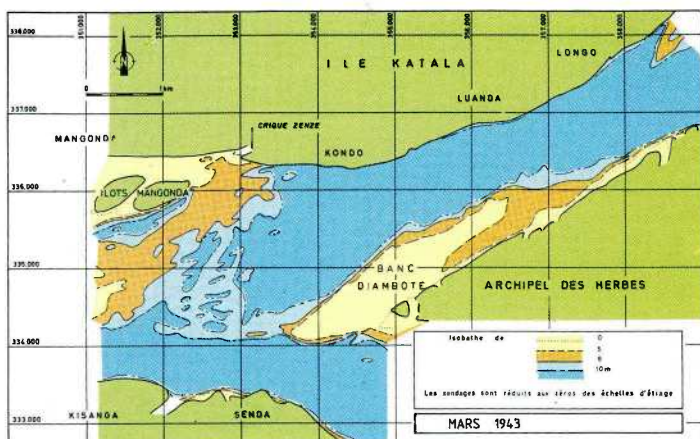


Fig. 10. Evolution du banc Diambote 1943-1955



rocheux Mandefu (qui lui fait face) empêche toute érosion des bancs situés au nord de l'île des Oiseaux (fig. D2).

Cet ensablement eut pour conséquence la création de deux seuils à l'entrée du pool ; au centre, l'oscillation du thalweg sur environ 3 km dans les sens Nord-Sud/Sud-Nord pour le seuil Mateba amont Sud, et dans le sens Est-Ouest pour la boucle Nord du seuil central (fig. 11). En aval, à la jonction des pools de Mateba amont et de Mateba aval, l'approfondissement progressif du seuil Nguvu au fur et à mesure de l'augmentation de la courbure du thalweg en aval du point d'inflexion (seuil central).

#### *De 1985 à ce jour*

Cette troisième période se caractérise par l'ouverture du Faux bras de Mateba Village (que l'on peut comparer à une corde sous-tendant l'arc du méandre).

Suite à l'érosion de la rive ouest de l'île Mateba, l'aval du Faux bras de Mateba s'est trouvé de plus en plus dans la direction générale du courant d'amont.

La nouvelle configuration était plus favorable à l'écoulement des eaux, qui ont choisi la voie de moindre résistance. Elle a raccourci la distance entre l'aval et l'amont, ce qui a augmenté la pente et la vitesse du courant ainsi que sa capacité de transport ; l'érosion (ou auto-dragage) ainsi produite a créé un appel d'eau qui a accru le débit dans ce chenal appelé aujourd'hui Faux bras de Mateba Village.

En effet, de 14% en 1981, le débit d'amont qui l'emprunte est passé à 59% en 1986, soit une augmentation de 45% au détriment de la route de navigation employée début 1986 (fig. 12). En avril 1986, la R.V.M. a donc décidé de draguer ce Faux bras et de l'ouvrir à la navigation. Le thalweg est ainsi plus régulier et la navigation y est plus aisée (fig. 13).

Comme en 1899, la route de navigation traverse maintenant le pool de Mateba amont d'est en ouest et s'appuie sur l'île Mateba en aval (fig. D1).

Cependant, si l'ouverture du Faux bras de Mateba Village à la navigation a amélioré la facilité de manœuvre des navires avalant, la situation générale des passes dans le pool de Mateba amont est toujours préoccupante. Les dernières mesures de répartition du débit font en effet apparaître une nette augmentation du débit dans le bras du fleuve longeant l'île des Oiseaux par le sud, et ce au détriment du débit du pool de Mateba amont.

En juillet 1985, suite à l'ensablement général de son amont, la route de navigation actuelle n'absorbait plus que 36% du débit au pool de N'Tua N'Kulu (ex-banc d'Anvers), contre 42% en octobre 1968, tandis qu'au sud



de l'île des Oiseaux, le débit passait à 53%, pourcentage qui n'avait jamais été atteint précédemment, contre 40% en 1968 (fig. 14).

Le débit dans le pool de N'Tua N'Kulu est passé de 86 à 89%, ceci au détriment du chenal Loango Nzambi (ex-Maxwell) dont le débit, de 14% en 1968, est tombé à 10% en 1985, chiffre le plus bas à ce jour, le débit du chenal Loango Nzambi étant stabilisé depuis environ 50 ans entre 15 et 13% du débit du fleuve (fig. 14).

Parallèlement à cette modification de la répartition du débit dans les chenaux à l'aval de Boma, qui semble indiquer une évolution naturelle en faveur de l'installation du thalweg au sud de l'île des Oiseaux, un autre sujet d'inquiétude concerne la configuration des bancs de sable à l'amont et à l'aval du chenal du Faux bras de Mateba Village.

Ces dernières années, les débits sont restés inférieurs à la moyenne, mais il est possible qu'à l'occasion de la crue de ce mois de décembre, que l'on prévoit forte, compte tenu de la modification de la répartition du débit, on soit obligé de reconsidérer totalement la question de la meilleure localisation des passes navigables.

Grâce aux études exécutées pendant ces vingt dernières années, nous comprenons mieux les phénomènes, nous pouvons mieux prévoir les évolutions futures et donc assurer la sécurité de la navigation. Un des buts de l'étude de la région divagante est donc atteint.

Un autre but, et non des moindres, était la formation du personnel technique zairois. Ce but a lui aussi été atteint. En effet, le travail effectué actuellement lors des missions ne se fait plus dans le sens de la formation continue, car les techniciens belges qui vont au Zaïre travaillent en complète collaboration avec les services zairois, qui se montrent motivés et compétents.

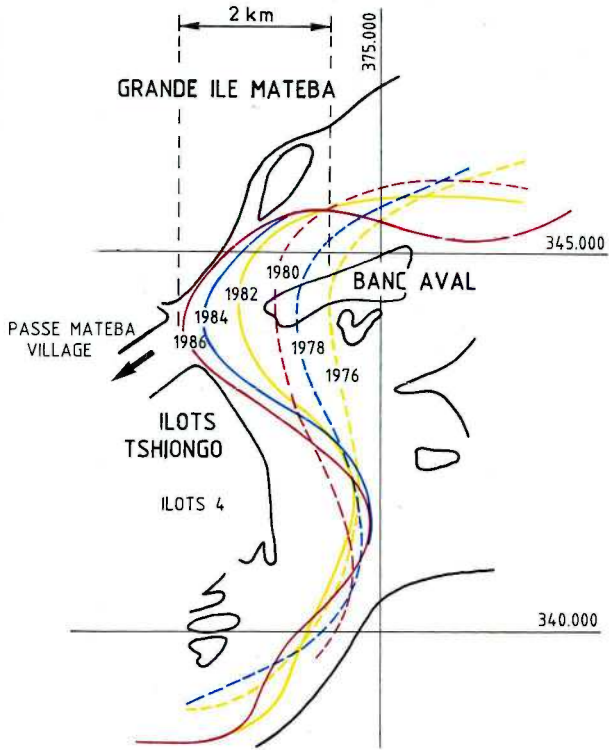


Fig. 11. Divagation de la route de navigation dans le seuil "Central" 1976-1986

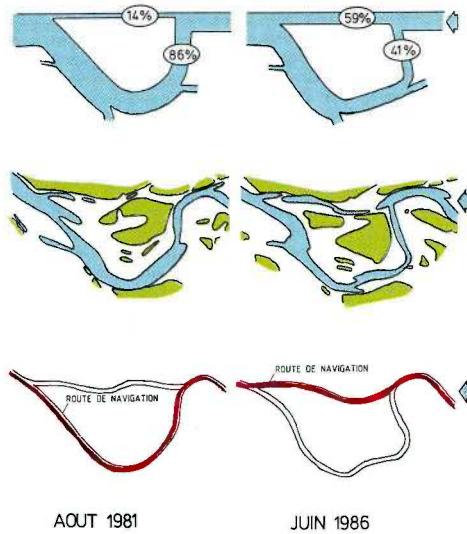
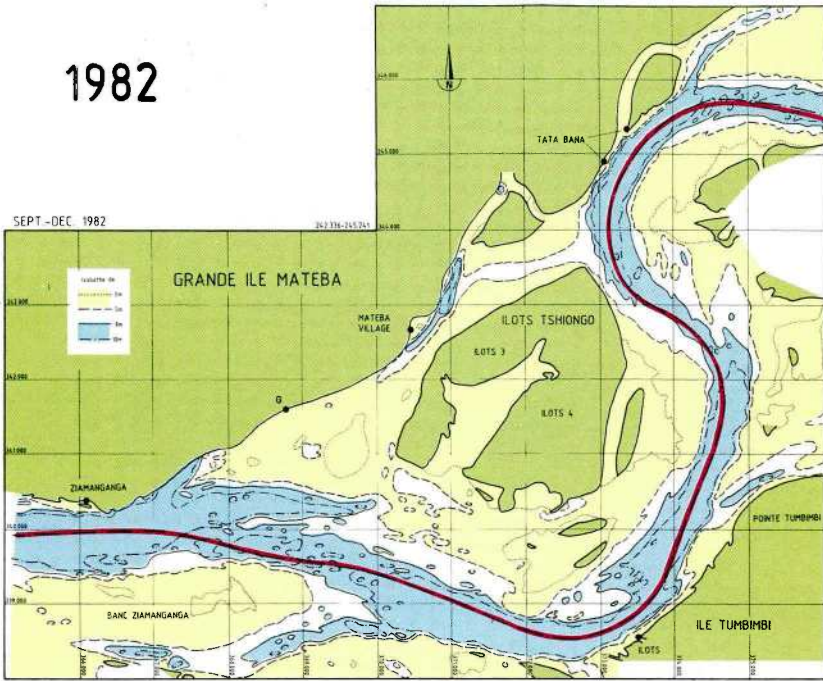


Fig. 12. Ouverture de la passe "Mateba Village"

1982



1986  
au moment de  
l'ouverture

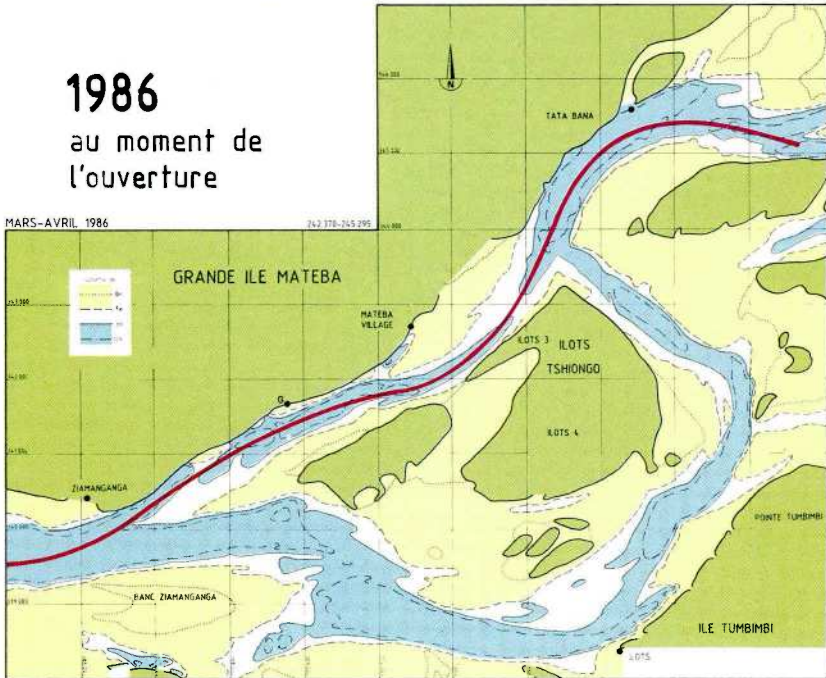


Fig. 13. Transport de la route de navigation dans la passe Mateba Village



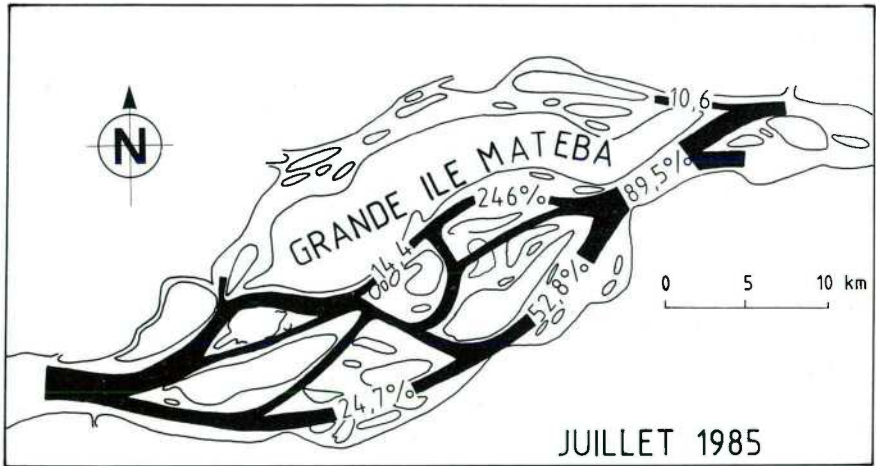
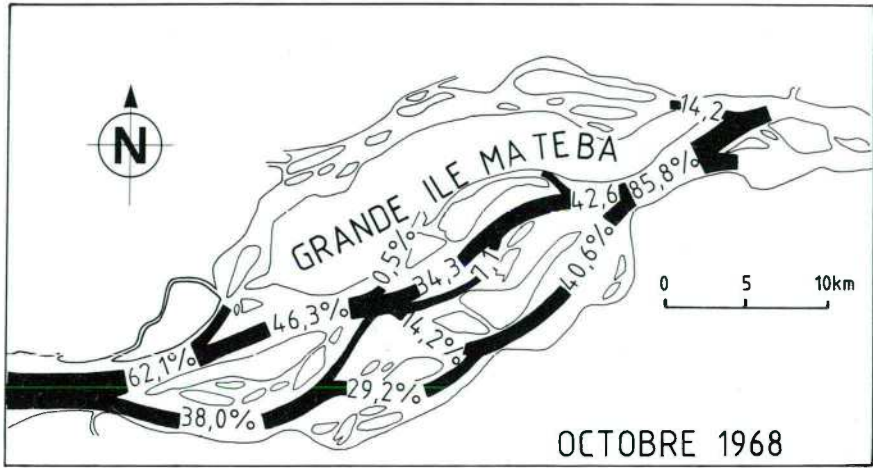


Fig. 14. Variation de la répartition du débit



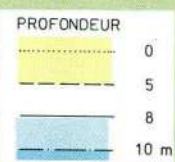
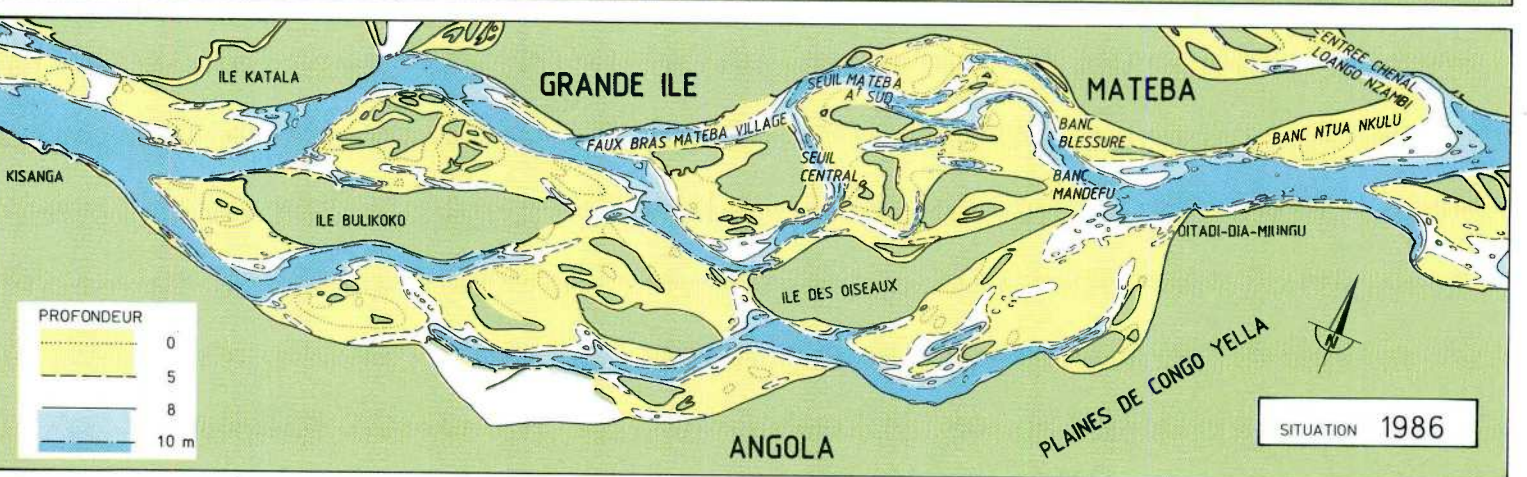
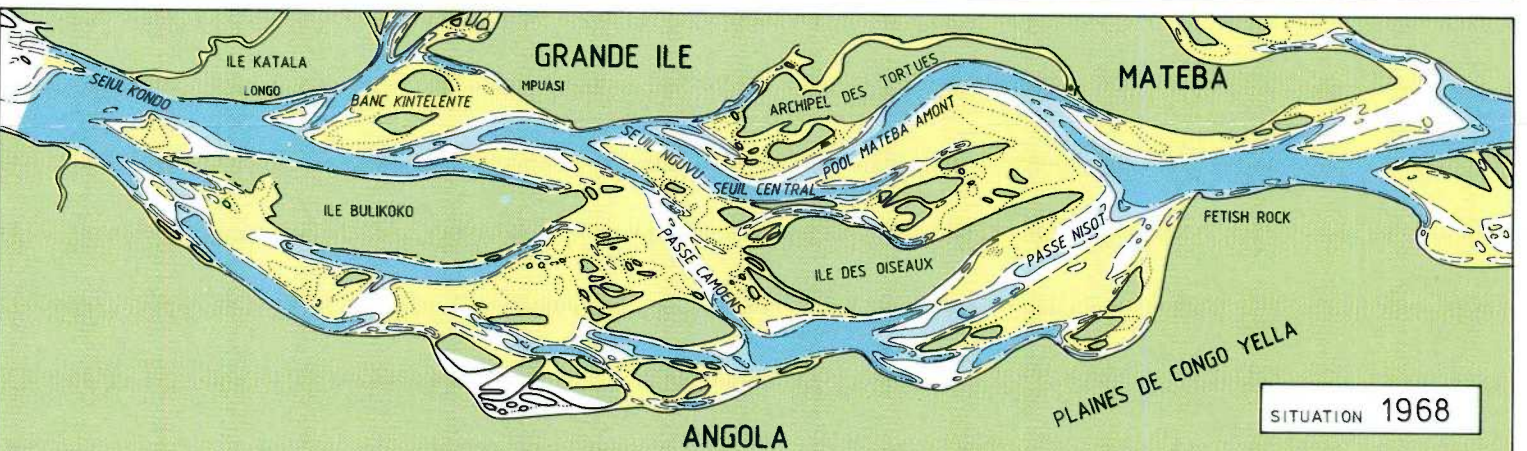
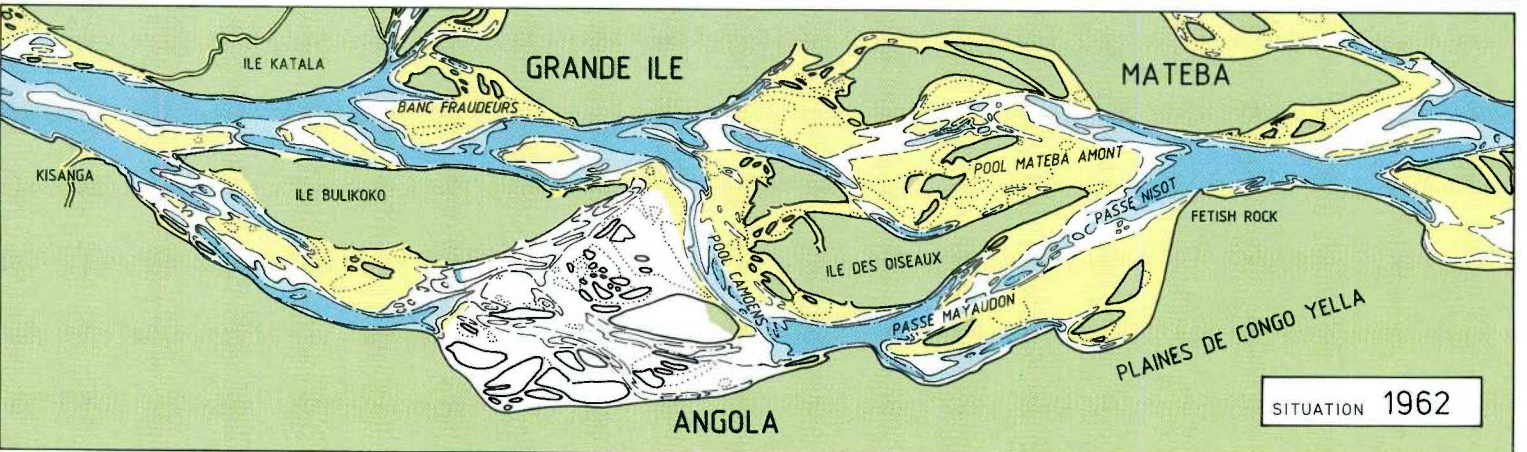
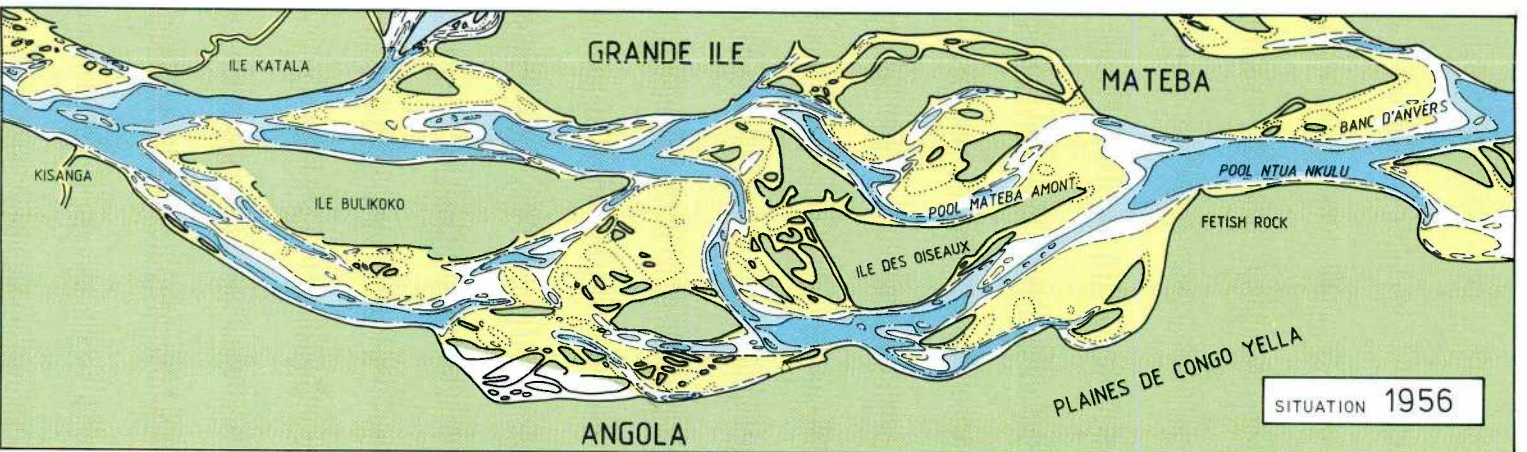
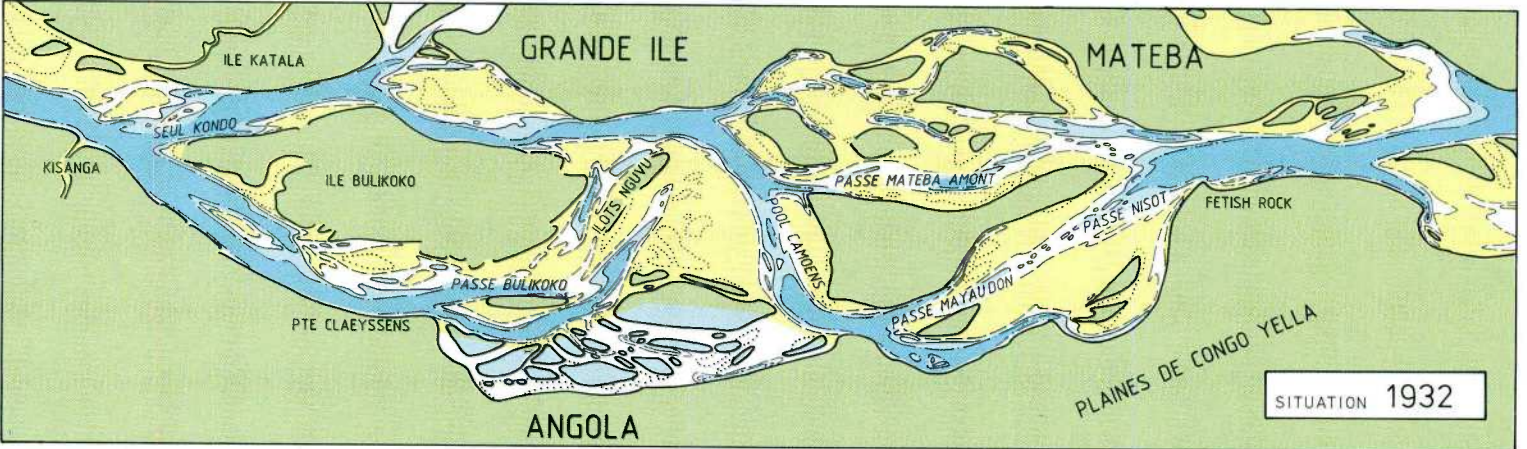
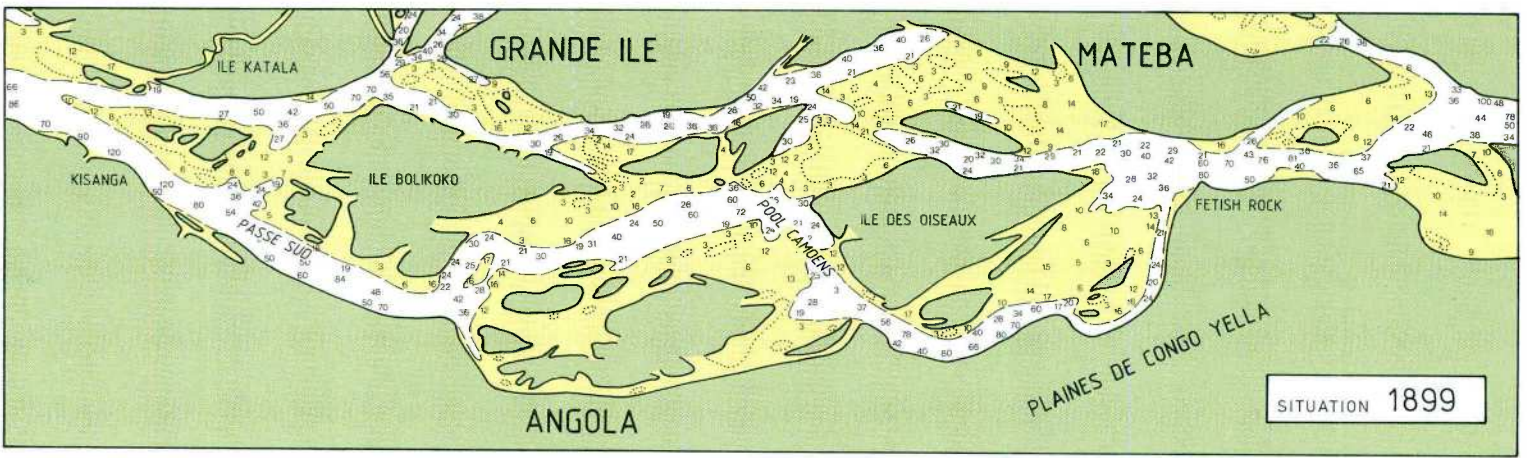


Fig. D1. Evolutions dans la région divagante



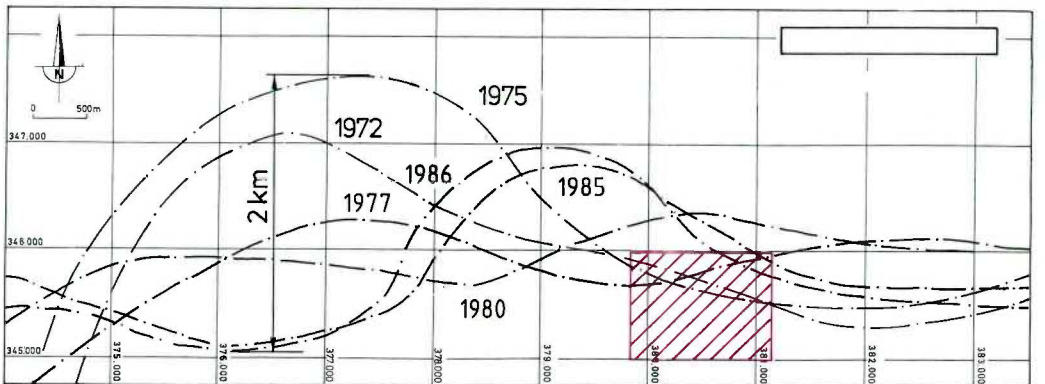
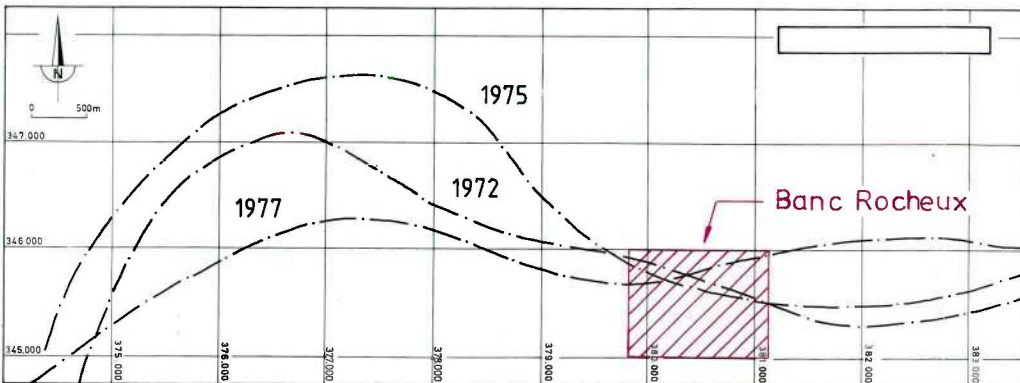
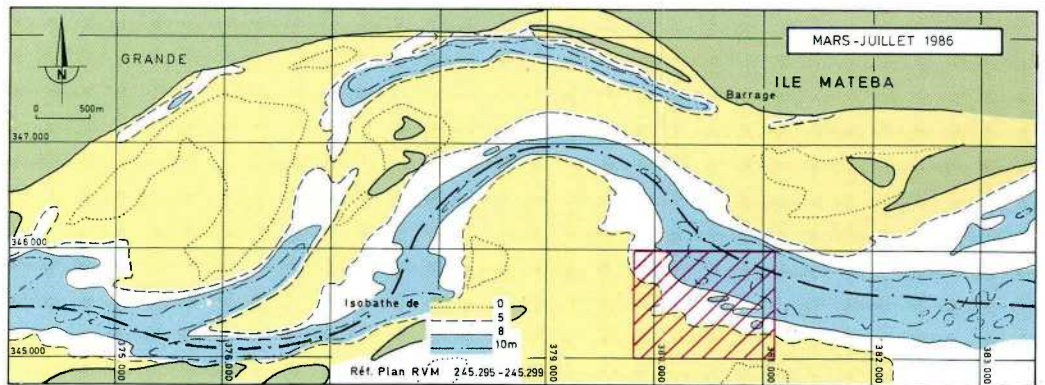
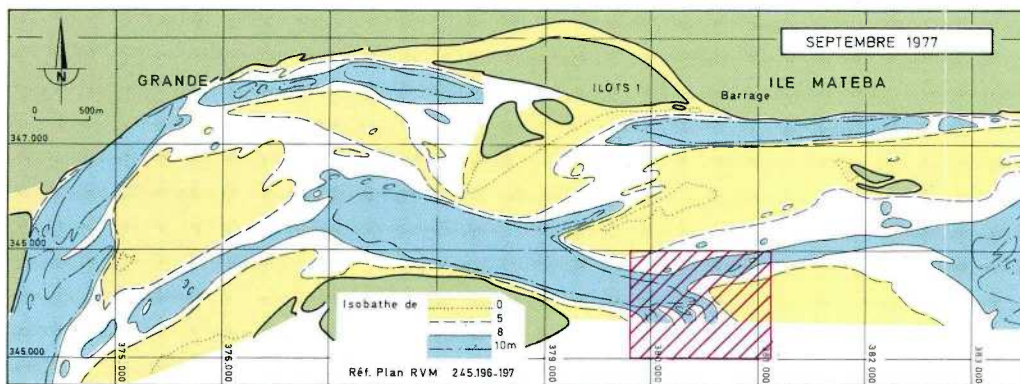
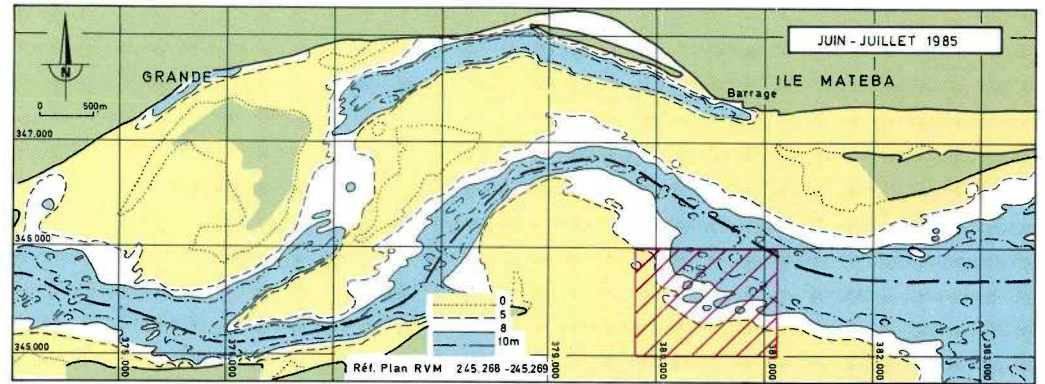
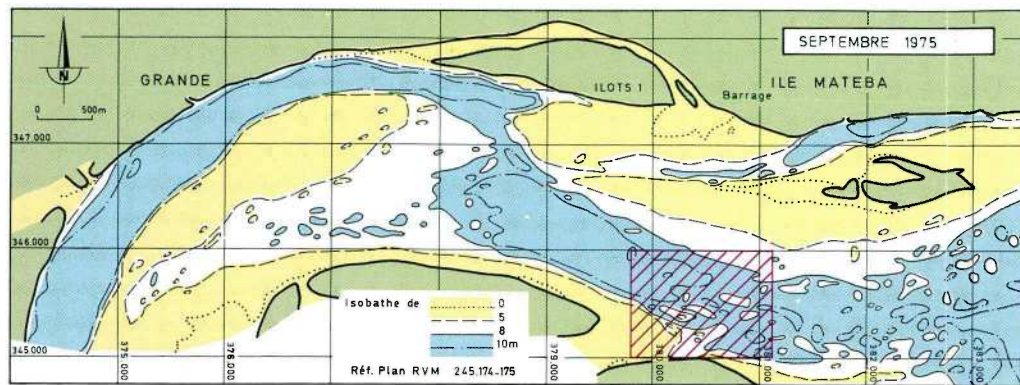
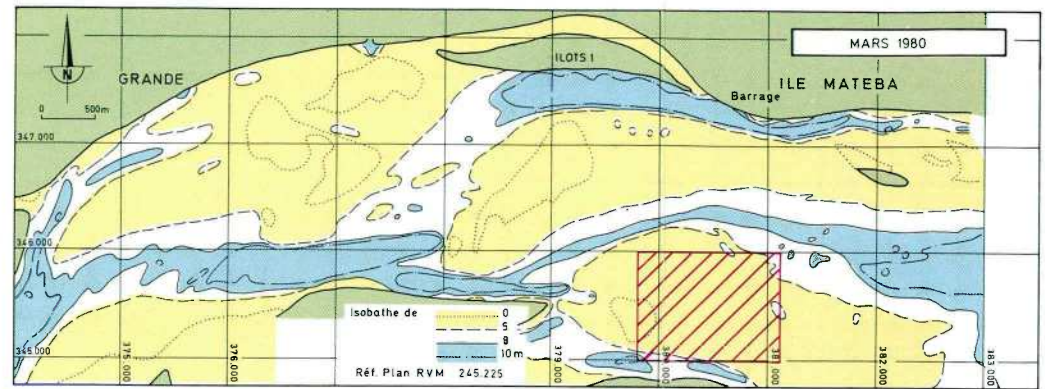
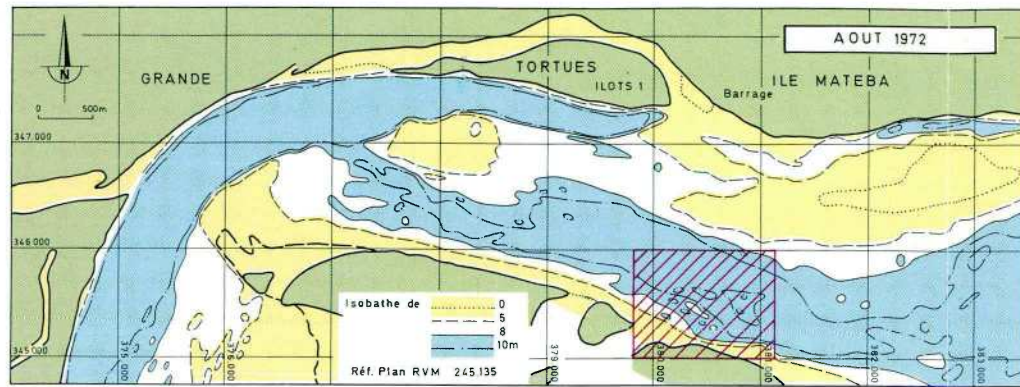


Fig. D2. Evolutions dans le "Pool de Mateba Amont"



*Symposium*  
«L'Accès maritime au Zaïre»  
(Bruxelles, 5 décembre 1986)  
Académie royale des Sciences  
d'Outre-Mer  
pp. 77-87 (1988)

*Symposium*  
„De Maritieme Toegang tot Zaïre”  
(Brussel, 5 december 1986)  
Koninklijke Academie voor Overzeese  
Wetenschappen  
pp. 77-87 (1988)

## MODELSTUDIES MATEBA

DOOR

129710

I. COEN \*

**SAMENVATTING.** — In het kader van het samenwerkingsprogramma met de „Régie des Voies Maritimes” te Boma werd in 1967 in het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout de algemene studie van de brede zone van de Zaïrestroom, afwaarts Boma aangevat, met de bouw en opeenvolgende uitbreidingen van hydraulische modellen. Op deze modellen, op schaal van 1/500 (lengten) en 1/100 (diepten), werden de bodemtransportbanen en sedimentatiezones waargenomen in de omgeving van Mateba. Ook werd onderzoek verricht naar het rendement en de eventuele nadelige invloed op het behoud van de vaargeul van een aantal mogelijke stortplaatsen der onderhoudsbaggerspecie afkomstig van drempels in deze omgeving. Deze proeven werden uitgevoerd op een model met vaste bodem. Op het daartoe aangepast model met erodeerbare (= „beweegbare”) bodem, werden natuurlijke evoluties nagegaan. Later werd een bijkomende langshelling aan het model gegeven en werd de invloed bestudeerd van een dijkconstructie gelegen te Bancs-Amont (rots Mandefu), op de debietverdelingen en stromingen in de verschillende rivierarmen. Thans wordt de bouw van twee nieuwe modellen aanbevolen, die samen bijna het volledige gebied Mao - Kinsanga zullen voorstellen. Naast inzicht in de segregatiemechanismen van de sedimenten in het opwaarts gebied kunnen ze belangrijke informatie geven over de bodemevoluties, de stortplaatsen der baggerspecie, enz. De modelstudies vormen aldus een nuttig instrument voor de wetenschappelijke begeleiding van de baggerwerken. Parallel hiermede zullen wiskundige modellen ontwikkeld worden.

**RÉSUMÉ.** — *Études sur modèle Mateba.* — Dans le cadre du programme de coopération avec la Régie des Voies Maritimes, à Boma, le Laboratoire de Recherches hydrauliques, à Borgerhout, a commencé, en 1967, l'étude générale de la région divagante du fleuve Zaïre, en aval de Boma, par la construction et l'extension successive d'un modèle réduit. Sur ce modèle, dont les échelles étaient 1/500 (longueurs) et 1/100 (profondeurs), on a observé, dans la région de Mateba, les trajectoires du transport solide sur le fond et les zones de sédimentation. Des recherches ont été effectuées sur le rendement et l'effet néfaste, éventuel, qu'aurait sur le maintien de la passe, le déversement, à certains endroits, des produits de dragage d'entretien des seuils de la région. Des premiers essais ont été effectués sur un modèle à fond fixe. Ensuite des évolutions naturelles ont été étudiées sur un modèle à fond affouillable,

\* Hoofdingenieur-directeur van Bruggen en Wegen ; Bestuur der Waterwegen, Waterbouwkundig Laboratorium, Berchemlei 115, B-2200 Borgerhout (België).

dit «mobile». Après quoi, une pente supplémentaire ayant été donnée au modèle, on a étudié l'influence qu'aurait la construction d'une digue, située à Bancs Amont (rocher Mandefu), sur les répartitions des débits et sur les courants dans les différents bras du fleuve. Actuellement, la construction de deux nouveaux modèles, représentant l'ensemble de la région de Mao à Kisanga, a été proposée. Ils pourront fournir des renseignements utiles sur : la ségrégation des sédiments dans la partie amont, les évolutions du lit, le choix des endroits de déversement des produits de dragage, etc. Ainsi, les études sur modèle réduit sont un instrument important d'accompagnement des travaux de dragage. Des modèles mathématiques seront développés parallèlement.

**SUMMARY.** — *Mateba model studies.* — In the context of the programme of co-operation with the "Régie des Voies Maritimes" at Boma, the Hydraulic Laboratory at Borgerhout started in 1967 the study of the braided zone of the Zaire river, downstream Boma, with the construction and successive extensions of hydraulic models. On these models with scales of 1/500 (length) and 1/100 (depth), the paths followed by the sand at the bottom and the zones of sedimentation were observed in the region of Mateba. Also the efficiency and the possibly harmful influence on the preservation of the navigation channel of some possible dumping areas for the spoil from the dredging operations on the different bars were studied. The natural evolutions were studied on the modified model with erodable (= "movable") bottom. Next was studied the influence of a dam construction near the "Bancs-Amont" (Mandefu rock) on the distribution of the discharges and of the currents in the different concerned river branches. This study was executed on a tilted model. At present, the building of two new models is recommended, which together will represent the almost complete area Mao-Kisanga. Both models can provide information about the segregation mechanisms of the sediments in the upstream region, and about the evolution of the bottom, the choice of the dumping areas for dredging spoil, etc. The scale model studies form in this way an important instrument with regarding to the scientific accompaniment of the dredging operations. Parallel to these, also one- and two-dimensional mathematical models will be developed.

## 1. Hydraulische modellen

### 1.1. *Algemene basisprincipes*

Hierna volgt een beknopte samenvatting van de belangrijkste basisprincipes die ten grondslag liggen aan het hydraulisch modelonderzoek.

In principe kunnen de stromingsverschijnselen in de rivierhydraulica wiskundig beschreven worden. De toepassing van deze formuleringen op een concreet geval kan evenwel zodanig complex worden dat een fysische modelstudie aangewezen of noodzakelijk wordt. Onderzoek op een fysisch model maakt de directe observatie van de stromingsverschijnselen en de gevolgen ervan mogelijk, wat uiteraard belangrijke voordelen biedt. Om een natuurgetrouwe weergave te verkrijgen op een model moeten zekere gelijkvormigheidsvereisten vervuld worden. Volledige gelijkvormigheid tussen

prototype en model veronderstelt geometrische (met betrekking tot de lengten), kinematische (met betrekking tot de tijdsintervallen) en dynamische (met betrekking tot de krachten) gelijkvormigheid. Door de bouw op een constante schaal van een reproductie van de natuurlijke geometrie met een constante tijdschaal is voldaan aan de geometrische en kinematische gelijkvormigheid. De dynamische gelijkvormigheid veronderstelt een constante verhouding tussen de verschillende, in corresponderende punten optredende krachten. Bij stroming in rivieren zijn de voornaamste krachten de zwaartekracht, de inertiekrachten en de viscositeit.

Men dient bij de modelonderzoekingen onderscheid te maken tussen modellen met vaste cementbodem en modellen met beweegbare bodem, waarbij de cementbodem in de zone die men nader wil onderzoeken, vervangen wordt door een bed van beweegbare korrels (bijvoorbeeld plastic- of bakelietkorrels) om de beweeglijke zandbodem na te bootsen.

Voor een model van een rivier met vaste bodem geeft de voorwaarde van constante verhouding tussen zwaartekracht en inertie (Froudegetal =  $Fr$ ), de zogenaamde Froudegelijkvormigheid, een verband tussen snelheids- en lengteschaal. Als  $n$  de schaalfactor voorstelt,  $v$  de snelheid en  $l$  de lengte, geldt :

$$n_v = \sqrt{n_l} \quad (\text{voor zelfde zwaartekrachtversnelling } g \text{ in model en natuur : } n_g = 1)$$

Deze betrekking volgt uit het Froudegetal :  $Fr = \frac{v}{\sqrt{gl}}$  voor  $n_{Fr} = 1$

Als de lengteschaal gekozen is, liggen de andere schalen (snelheden, debieten, drukken, enz.) vast.

De voorwaarde van constante verhouding tussen inertie en viscositeit (Reynoldsgetal =  $Re$ ), de zogenaamde Reynoldsgelijkvormigheid levert een ander verband tussen snelheids- en lengteschaal :

$$n_v = n_l^{-1} \quad (\text{voor zelfde vloeistoffen met dichtheid } \rho \text{ en dynamische viscositeit } \eta \text{ in natuur en model = } n_p = n_\eta = 1)$$

Deze relatie volgt uit het Reynoldsgetal :  $Re = \frac{\rho v l}{\eta}$  voor  $n_{Re} = 1$

Aan de Froude- en Reynoldsvoorwaarde kan theoretisch slechts voldaan worden voor  $n_l = 1$ , dus voor het prototype.



Deze theoretische beperking zal niet beletten om in de praktijk toch aan de dynamische gelijkvormigheidseis te voldoen. Ter verklaring hiervan het volgende :

De waterstroming in een natuurlijke rivier ondervindt weerstanden die energieverliezen veroorzaken door wrijving van het water over de bodem, meandering, vernauwingen, verbredingen, zandtransport, inwendige wrijving...

Algemeen worden deze weerstanden met de term „ruwheid” omschreven. De bodemoneffenheden met een hoogte  $k$  bepalen ook een „relatieve ruwheid” ( $k/H$ , met  $H$  = waterdiepte).

In het algemeen geldt overigens dat bij voldoende turbulente stroming de ruwheid onafhankelijk is van de grootte van het Reynoldsgetal (voor gelijkblijvende relatieve ruwheid). De stroming heet dan niet visceus of ook volledig ruw en turbulent. Van deze eigenschap wordt in de praktijk gebruik gemaakt om aan de vereiste dynamische gelijkvormigheid te voldoen door een grotere verticale schaal te nemen dan de horizontale. Hierdoor ontstaat een zogenaamde distorsie tussen de horizontale en verticale schalen maar verkrijgt men grotere modelsnelheden, grotere Reynoldsgetallen, voldoende turbulentie en eventueel meer sedimenttransport en ook grotere meetnauwkeurigheid.

Bij gedistordeerde modellen verlaat men dus de strikte geometrische gelijkvormigheid. De schaalfactoren zijn dan afhankelijk van de horizontale en de verticale schaal. Men kiest praktisch een lengte- en een hoogteschaal en controleert of de stromingen op model voldoende turbulent zijn (voldoende hoge Reynoldsgetallen).

Theoretisch kan men voor het beweegbare materiaal in relatie tot de stromingscondities, op een analoge wijze, gelijkvormigheidsvoorwaarden bepalen die met de voornaamste korrelkarakteristieken (diameter, soortelijk gewicht) en stromingskarakteristieken (turbulente snelheid aan de bodem bijvoorbeeld) rekening houden. Op deze wijze verkrijgt men Froudekorrel- en Reynoldskorrelgetallen, die in functie van de modelschalen ook de theoretische diameter en het soortelijke gewicht van het beweegbare materiaal bepalen, wat niet zelden tot fysisch onmogelijk te realiseren resultaten leidt.

Bij de keuze van een geschikt beweegbaar materiaal voor het model, dat het natuurlijk zand moet voorstellen, moet men ook rekening houden met de praktische bewegingsmogelijkheden en met de beschikbare bodemmaterialen. Voor een bepaald materiaal zijn in het model bij de gekozen schalen, het criterium voor begin van de beweging, de transporthoeveelheden in functie van de watersnelheden en de bodemconfiguraties die in het model optreden

van belang. Afzonderlijk en voorbereidend onderzoek hierover in een speciaal hiertoe ontworpen experimentenkanaal is hierbij onmisbaar.

Er kan hier niet nader ingegaan worden op de overigens interessante maar zeer complexe problemen die zich hierbij kunnen voordoen en de oplossingen die hiervoor gevonden worden. De bodemvormen zelf, maar in belangrijker mate het zeer intens zandtransport, hebben een aanzienlijk aandeel in de energieverliezen die de waterstroming ondervindt. Op model zijn deze bodemvormen niet op schaal weer te geven. Ook hier moet men een zekere „distorsie” aanvaarden.

### 1.2. *Ijking van een model*

Een belangrijk onderdeel van de modelonderzoeken betreft de ijking van het model. Bij de ijking of regeling van het model wordt ernaar gestreefd een zo goed mogelijke overeenkomst te bekomen tussen de natuur en het model wat betreft stromingen, debieten, waterstanden en dus verhanglijnen. In het model moet men hiertoe de ruwheid zodanig aanbrengen dat de energieverliezen op model tot gelijkvormige verhanglijnen leiden met de natuurlijke. Voor riviermodellen met vaste bodem zal men hiervoor meestal grint of stenen aanbrengen, geplaatst in regelmatige hoeveelheden per m<sup>2</sup> om de naar verhouding te gladde cementbodem ruwer te maken. Voor riviermodellen met beweegbare bodem moet men de keuze van het bodemmateriaal zoveel mogelijk aanpassen aan de ruwheidsvereisten. Naargelang de beschikbaarheid van een gepast materiaal met bepaalde diameter en dichtheid, zijn hierbij afwijkingen van de theoretische vereisten onafwendbaar, zodat men wel vrede moet nemen met een zekere „materiaal-distorsie”.

Het bodemmateriaal dat in model het natuurlijke zand moet voorstellen is niet direct op schaal te reduceren. Men gebruikt meestal produkten met gereduceerde densiteit zoals polystyreen, gemalen bakeliet, enz. Voorafgaandelijk onderzoek in een speciaal experimentenkanaal naar het begin van beweging, ruwheid, ribbel- of duinvorming, de beweeglijkheid, enz. begeleidt meestal de keuze van een geschikt bodemmateriaal.

Bij de uiteindelijke keuze van de schalen voor een model met al of niet beweegbare bodem, spelen dus naast theoretische aspecten ook de praktische mogelijkheden een grote rol, zoals beschikbaar bodemmateriaal, snelheden en diepten boven de beweegbare bodem, ruwheid van het bodemmateriaal, en niet in het minst de beschikbare ruimte en installaties en de financiële mogelijkheden.

De sediment-tijdschaal die bij modellen met beweegbare bodem verschillend is van de hydraulische tijdschaal kan bepaald worden door een in

de natuur vastgestelde evolutie van de rivierbodem over een bepaald tijdsverloop, op model na te bootsen volgens de zogenaamde historische ijking.

Men kan in de praktijk, binnen zekere grenzen, zonodig ook de snelheidsschaal „forceren” om bijvoorbeeld een betere beweging van het materiaal te verkrijgen, waarbij echter de transportschaal constant blijft. Men past dan een zogenaamde snelheidsdistorsie toe. Ook kan men de vloeistofeigenschappen wijzigen, door bijvoorbeeld de dichtheid ervan te verhogen, om de beweeglijkheid van het bodemmateriaal te bevorderen. De snelheden kunnen in het model ook „geforceerd” worden, door tijdens de bouw een algemene bijkomende langshelling aan het model te geven (zogenaamd „tilted model”). Voor een relatief korte onderzoekingszone is deze methode aanvaardbaar.

Kortom : men wendt verschillende technieken aan om de gelijkvormigheid zoveel mogelijk te benaderen, ondanks de „distorsies” van de schalen.

## 2. Wiskundige modellen

Wiskundige modellen worden de laatste jaren meer en meer aangewend door de uitgebreide mogelijkheden die door de computerontwikkeling geboden worden.

Vele hydraulische problemen werden reeds, met succes, op deze wijze tot een oplossing gebracht. De mathematische formulering van de erosie- en sedimentatieverschijnselen wordt tot op heden echter nog als onvoldoende beschouwd. Om deze reden blijft de intrinsieke geloofwaardigheid van een fysisch/hydraulisch model primeren.

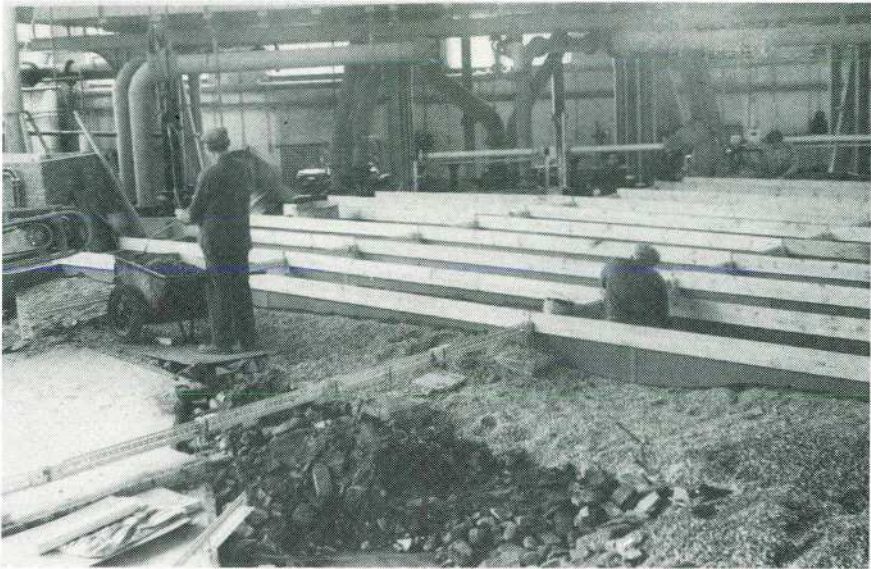
Een wiskundig model blijft voor de bestudering van de uitermate complexe erosie- en aanzandingsproblemen, zoals ze zich voordoen in de brede zone van de Zaireestroom afwaarts Boma, meer aangewezen als begeleidend hulpmiddel voor bepaling van ruwheden en nacalculaties van rivierevoluties, gevolgen van rivierverbeteringen in vergelijking met de fysisch/hydraulische modelresultaten, enz.

Op de specifieke technieken van de wiskundige modelprogrammering wordt hier niet ingegaan, omdat ze voor de hier besproken brede zone nog slechts fragmentair en summier werden aangewend.

## 3. De Mateba-modellen

De bouw van een schaalmodel, zoals voor Mateba, vangt aan met de constructie van een waterdichte kuip. Hierin wordt dan de rivierbodem op schaal weergegeven. Voor de reproductie van de juiste bathymetrie paste men





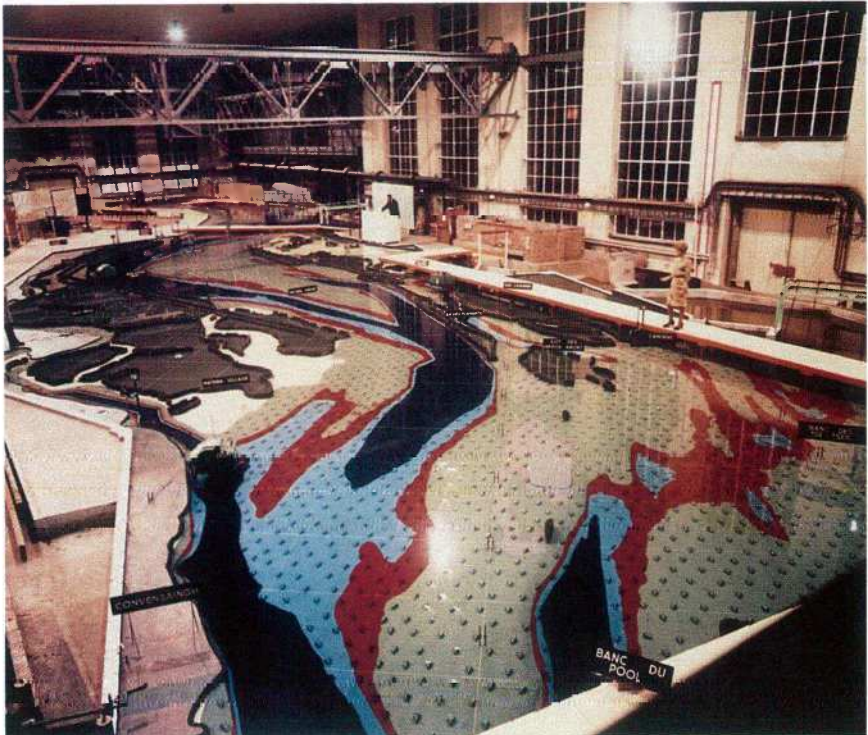
*Fig. 1a. Bouw model met dwarsprofielen  
Emplacement des profils en travers*



*Fig. 1b. Afwerking bodem tussen de dwarsprofielen  
Achèvement du lit entre les profils en travers*



*Fig. 2. Bouw van het model met niveaulijnen  
Construction du modèle à l'aide de lignes de niveau*



*Fig. 3. Algemeen zicht op het model  
Vue générale du modèle*



voor de Mateba-modellen naast de methode der dwarsprofielen, ook deze der niveaulijnen toe. De dwarsprofielen worden, uitgaande van de hydrografische kaarten, op schaal gemaakt (bijvoorbeeld in unalut) en op regelmatige afstanden op de modelommuring geplaatst (fig. 1).

Bij de methode der niveaulijnen worden de niveaulijnen die voorkomen op de hydrografische kaarten, na dia-opname ervan, op schaal geprojecteerd op de (horizontale) bodem en door middel van stalen banden (omringd door plastic) op de juiste hoogte gerealiseerd (fig. 2). Tussen de niveaulijnen of onder de dwarsprofielen wordt een aanvulling met grint aangebracht, waarna de modelbodem met cementmortel wordt afgewerkt.

De op- en afwaartse zijde van het model wordt uitgerust met voorzieningen die toelaten willekeurig waterdebieten en waterhoogten in te stellen. Het water wordt in principe vanuit ondergrondse reservoirs in gesloten circuit opgepompt, aan de opwaartse zijde in het model gebracht en aan de afwaartse zijde terug naar de reservoirs afgevoerd. Een algemeen zicht op het model dat geschilderd werd om het bodemreliëf beter te doen uitkomen is op de foto te zien (fig. 3).

De schalen van het Mateba-model, waren :

Voor de lengten 1/500 ;

Voor de hoogten 1/100, de verticale schaal werd dus vijfmaal groter gekozen dan de horizontale (distorsie 5) ;

Voor de snelheden 1/10 ;

Voor de tijden 1/10 ;

Voor de debieten 1/500 000.

De Zairedebieten van 25 000 tot 60 000 m<sup>3</sup>/s gaven dus in het model 50 tot 120 l/s.

#### *Begrenzing van het model.*

Het model werd in drie opeenvolgende fazen gerealiseerd. Het overzichtplan toont de opeenvolgende modelgrenzen aan (fig. 4). Alleen de noordelijke geulen en eilanden werden voorgesteld. Uiteindelijk omvatte het model een zone van ongeveer 30 km op 5 à 10 km, t.t.z. ongeveer 60 op 10 à 20 m modelafmetingen.

#### *De regeling en ijking.*

Waterdebieten werden in het model ingebracht opwaarts van Ditadi en ter hoogte van Camoëns (thans Tumbimbi) via een overlaat en een aanvoerkanaal. Aan het afwaartse modeleinde en ter hoogte van Ditadi werden



debieten uit het model afgevoerd, omdat de Passe Nisot (thans Passe Kindu) niet op model was weergegeven. Bij de ijking van het model werden de waterhoogten geregeld door aanpassing van de bodemruwheid, door het plaatsen van kleine blokjes in cement (fig. 5).

De nodige hoeveelheid blokjes per  $m^2$  werd via stroomonderzoek op een speciaal experimenteerkanaal bepaald. De ruwheid van de begroeiing op de eilanden die onder water kunnen komen, werd nagebootst door strippen doorstroombare vezelmatten op het model aan te brengen. De regeling geschiedde voor drie debieten, namelijk een klein, gemiddeld en groot rivierdebiet t.t.z. 33 000, 41 000 en 51 000  $m^3/s$  waargenomen in augustus, oktober en december 1968. Hierbij diende telkens de ruwheid van de te gladde cementbodem op model aangepast om aanvaardbare verhanglijnen te verkrijgen op model (zie fig. 6, waarop ook de verhanglijnen voor de ijking van de beweegbare bodems zijn aangegeven). Controle van beschikbare snelheids-, debiets- en stromingsmetingen toonde aan dat de overeenstemming natuur-model zeer behoorlijk was, met een lichte neiging tot te grote snelheden in de geulen en te kleine snelheden op de zandplaten.

#### *De modelstudies.*

Op het geijkte model werden in eerste instantie de problemen die zich stelden in verband met het behoud van de vaargeul door baggerwerken bestudeerd.

#### *De proeven op het model met vaste bodem*

Op het model met vaste bodem werd het sedimenttransport langs de bodem onder invloed van de waterstroming onderzocht. De bodemtransportbanen werden door middel van polystyreenkorrels bepaald (dit zijn licht beweegbare plastic korrels) (fig. 7), die op de bodem werden neergelegd en waarvan het traject dat ze onder invloed van de waterstroming volgden werd vastgelegd.

De polystyreenkorrels werden voorafgaandelijk aan een speciale behandeling onderworpen die in het Laboratorium werd op punt gesteld. Deze bestaat erin de korrels te mengen met in een oplosmiddel gedrenkt fijn zagemeel, zodat ze een ruw oppervlak verkrijgen.

De trajecten van het bodemtransport werden voor de hoger vermelde verschillende debieten bepaald. Op deze wijze verkreeg men een globaal beeld over de bodemstromingen die bepalend waren voor het zandtransport in de omgeving van Mateba Amont (fig. 8).

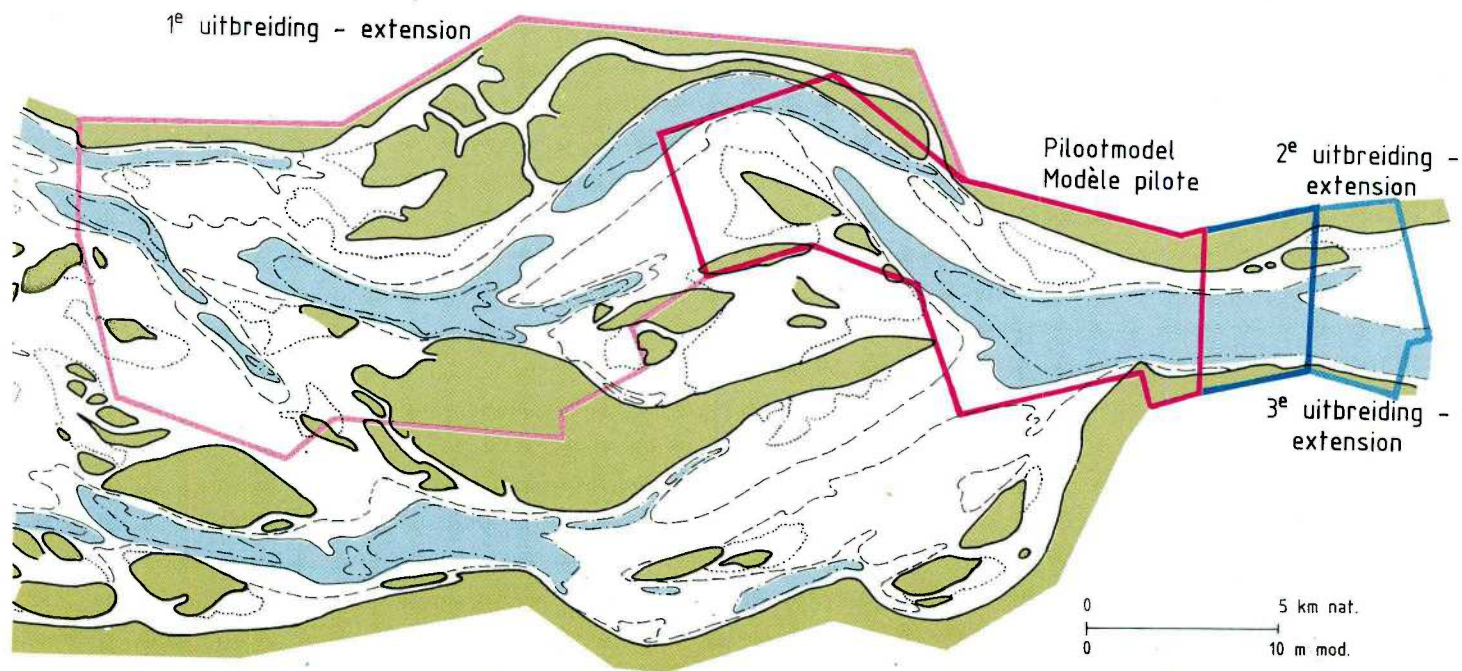
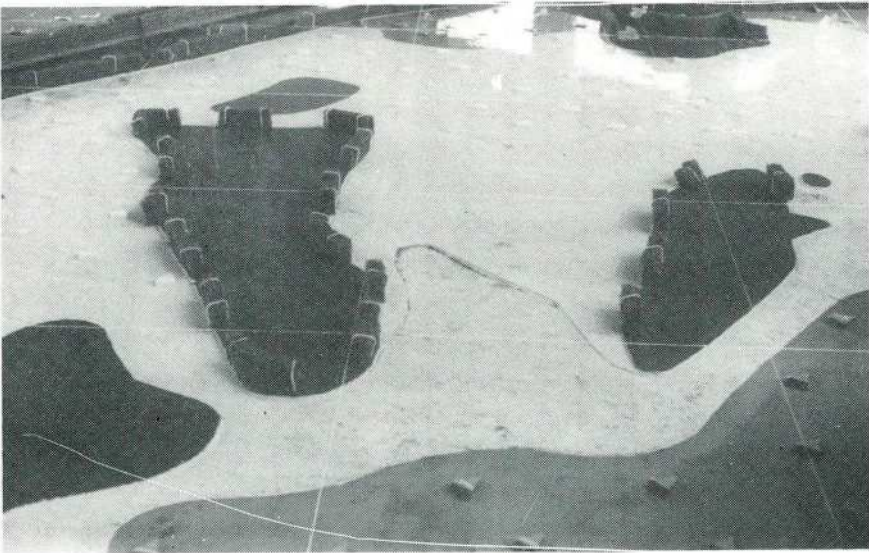
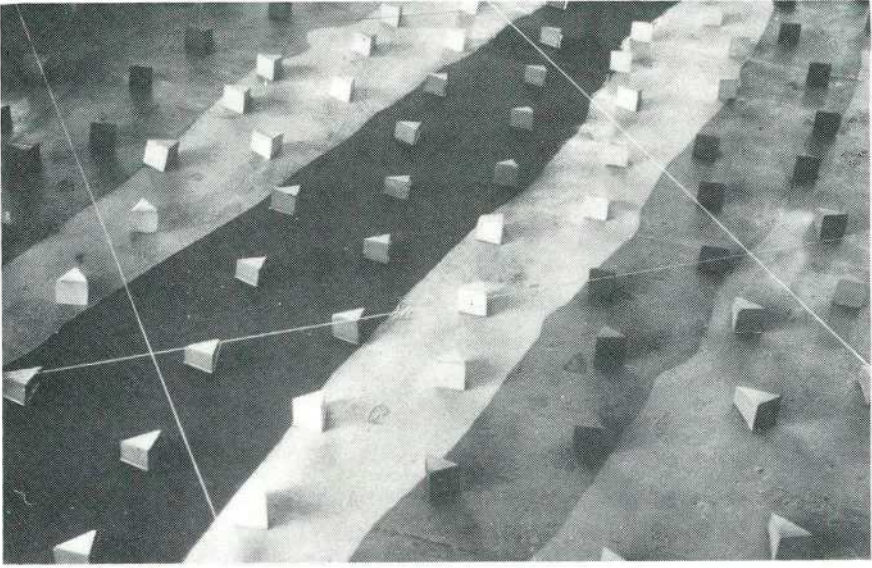


Fig. 4. Modeluitbreidingen  
Extensions du modèle



*Fig. 5. Ruwheidsijking met cementblokjes en met doorlaatbaar weefsel  
Réglage réalisé par des blocs en ciment et des bandes perméables*





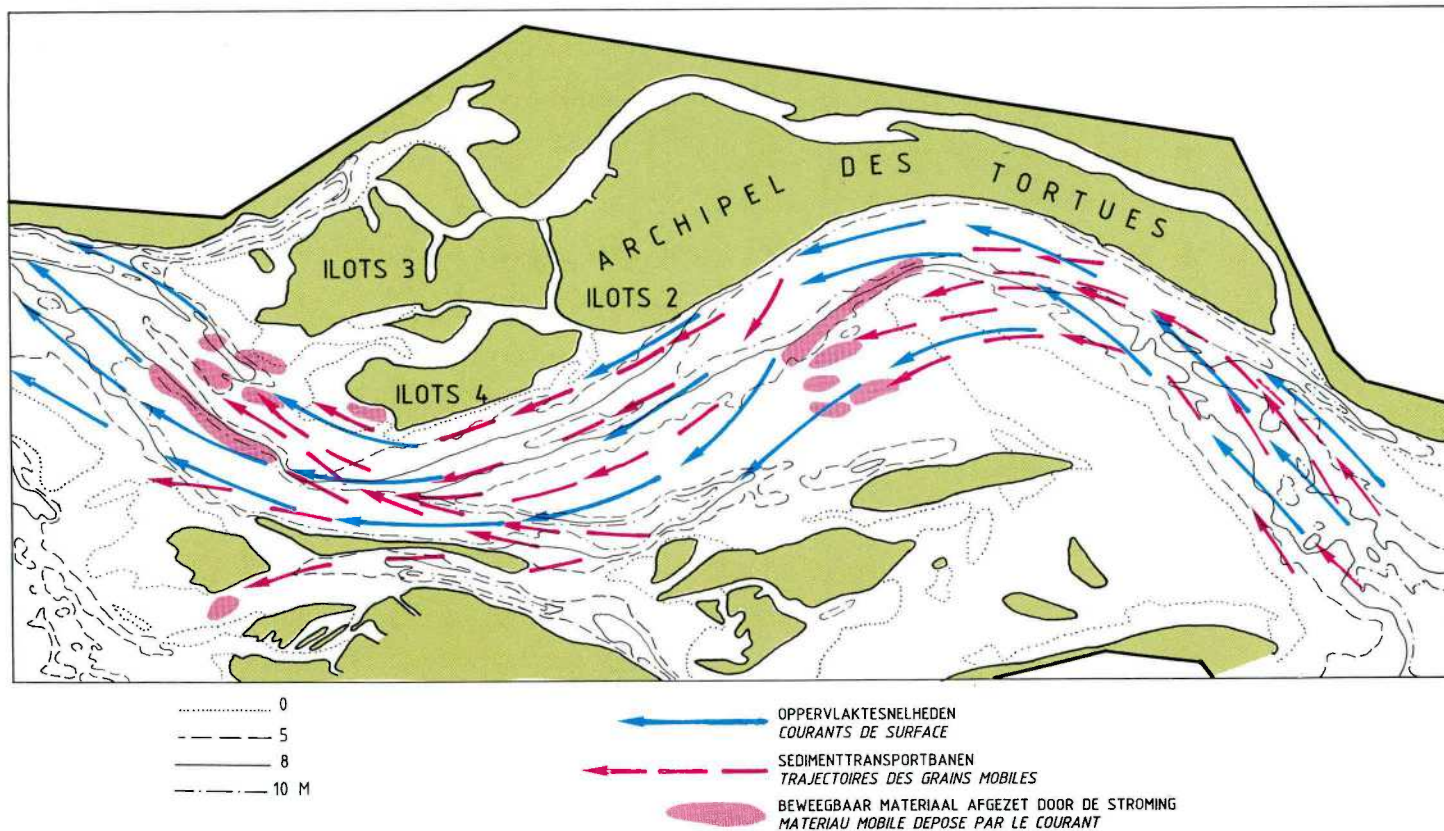


Fig. 8. Bodemtransportbanen en afzettingzones  
Trajectoires des grains mobiles et zones de dépôt

Ook de plaatsen waar zich sedimentatie voordeed werden waargenomen. Men merkte hierbij twee sedimentatiezones op waar de watersnelheden gering waren namelijk Archipel des Tortues en Ilots 2 en 3. De transportbanen situeerden zich voornamelijk op de zandplatenranden, met vorming van sedimentatiezones aan de afwaartse zijde ervan. De richting van de stroombanen aan de wateroppervlakte en aan de bodem bleken soms erg verschillend te zijn, wegens helicoïdale stromingen in de bochten, later door natuurwaarnemingen bevestigd (vergelijk de groene pijlen, die oppervlaktestroming, met de rode pijlen die bodemstromen weergeven en soms bijna haaks op elkaar staan). De centrale drempel waar in 1968 aanzienlijke baggerwerken werden uitgevoerd bleek volgens de modelproeven een zeker evenwicht te vertonen. Volgens deze proeven deden zich inderdaad geen aanzandingen voor op deze drempel. Wel werd een zeer intens zandtransport over de drempel heen waargenomen. Dit verschijnsel verklaarde de in die periode *in situ* opgemerkte vorming van grote zandduinen op de rivierbodem, die de scheepvaart hinderden.

Ten behoeve van de baggerwerken op de Seuil Central en de Seuil Aval werden op model ook proeven gedaan om de stortplaatsen van de baggerspecie op rendement en eventueel nadelig effect voor de nabijgelegen vaargeul te onderzoeken. De fig. 9 toont naast de zones waar deze baggerwerken werden uitgevoerd, de stortplaatsen die werden onderzocht. Voor iedere plaats werd met de drie hogervermelde debieten gestroomd en werden de stroombanen en depotvormingen geregistreerd.

Op fig. 9 worden voorbeelden gegeven van goede, half-goede en slechte stortplaatsen :

Zones 1, 2, 3 (blauwe cirkels) waren half-goede stortplaatsen : een intens transport langsheen de drempel en geen nadelige invloed op de vaargeul.

Zones 4, 5, 6 (rode cirkels) waren slechte stortplaatsen : een intens transport langsheen de drempel, transversaal transport over de drempel met duinenvorming, nadelig voor de scheepvaart.

Zones 7, 9, 10 (groene cirkels) waren goede stortplaatsen, omdat het materiaal vrijwel onbeweeglijk bleef tenzij bij hogere debieten of omdat een hoog percentage zich van de vaargeul weg bewoog.

De modelstudies met vaste bodem zoals hier beschreven werden, brachten belangrijke informatie over de zandtransporten in het algemeen, en de vorming van sedimentatiezones. Ook droegen ze, bij de keuze van geschikte stortplaatsen, in belangrijke mate bij tot een gefundeerd inzicht in het rendement ervan en in de weerslag van het storten op het behoud van de vaargeul.



### *De proeven op het model met beweegbare bodem*

Het model met vaste bodem werd vervolgens gedeeltelijk door een beweegbare bodem vervangen, die de zandbodem van de rivier voorstelde. Hiertoe werd ter hoogte van l'Ile des Flamants eerst een laag van 10 à 20 cm polystyreen, later van gemalen bakeliet, als beweegbaar materiaal op het model geprofileerd volgens de natuurlijke situatie 1968, in een kuip waar het cement en de grintaanvulling waren weggenomen. Een zogenaamde historische ijking werd uitgevoerd waarbij een natuurlijke evolutie over een zekere tijd, in het model werd gereproduceerd.

Natuurlijke verschijnselen tussen 1968 en 1969 waargenomen zoals de erosie van het Ile des Flamants, het behoud van de Seuil Central (na baggerwerken) en de aanzandingen van de platen vóór de Ilots 3 en 4 deden zich op vergelijkbare wijze op model voor, na 20 uur stromen (fig. 10).

De modelstudie met beweegbare bodem is aldus een belangrijk hulpmiddel gebleken bij de bestudering van de erosie- en sedimentatiemechanismen en van de evoluties van platen en geulen die hiermede samenhangen.

### *Het model met langshelling*

De rots Mandefu speelt een belangrijke rol bij de debietsverdelingen van water en sediment tussen de noordelijke en zuidelijke geulen. Om hierover meer inzicht te verkrijgen werd in 1975-1976 het model aangepast aan de natuurtoestand 1974.

Om de snelheden op te voeren in model en tegelijk de distorsie te reduceren tot 3 in plaats van 5 werd aan het model bij de bouw een algemene bijkomende langshelling gegeven. Het model werd op dezelfde wijze als voorheen geijkt, waarna werd nagegaan hoe men de debietsverdelingen voordelig zou kunnen beïnvloeden door de aanleg van kunstwerken zoals dijken of panelen (zie als voorbeeld op fig. 11 een dijklichaam dat de rots Mandefu verbindt met het Ile des Oiseaux, om een concentratie van de stroming te verkrijgen in de hoofdgeul).

Een dergelijke modelstudie laat toe vóór de constructie van een kunstwerk, met geringe kosten die slechts een fractie van de kostprijs van het kunstwerk bedragen, de gevolgen ervan op de stromingen en debietsverdelingen na te gaan.

## **4. Toekomstige modelstudies**

Thans wordt de bouw van twee nieuwe hydraulische modellen voorgesteld (fig. 12). Een eerste model zal begrensd worden tussen Mao en de

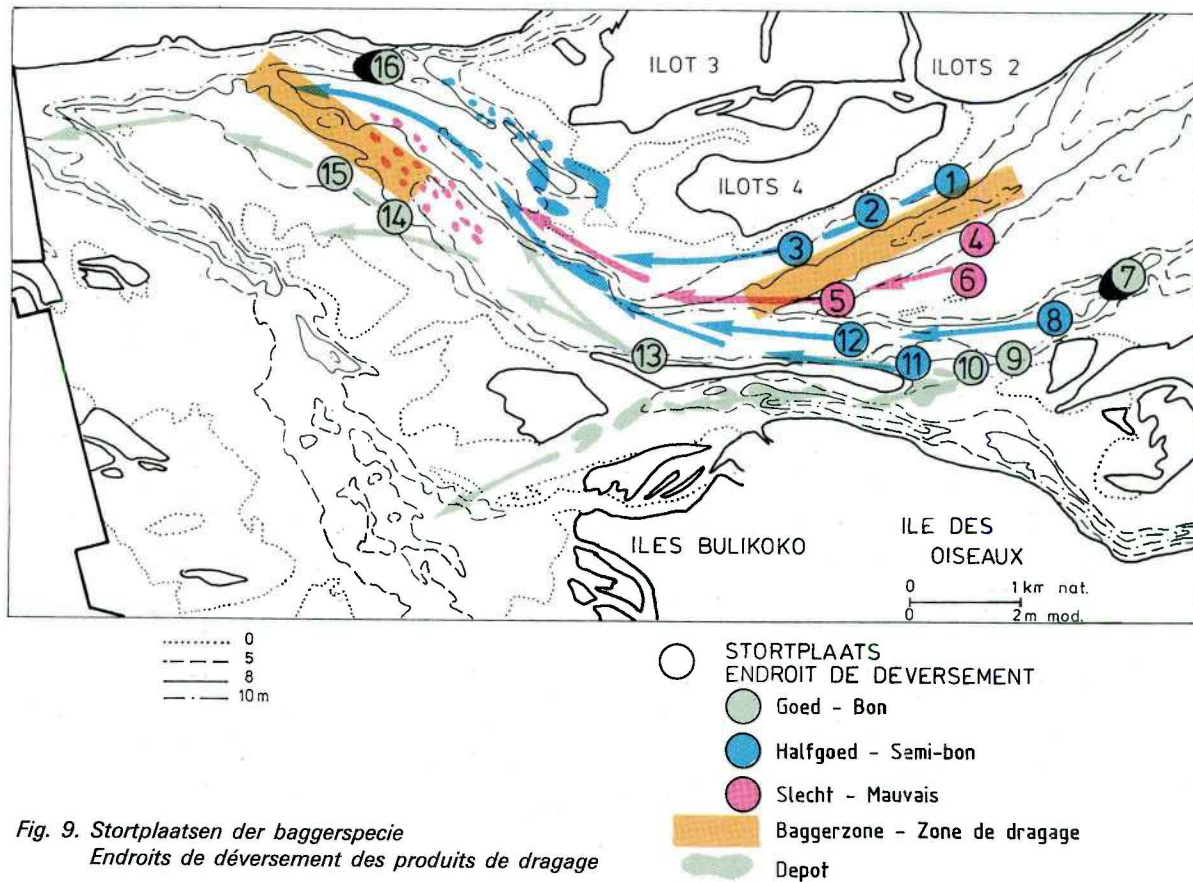
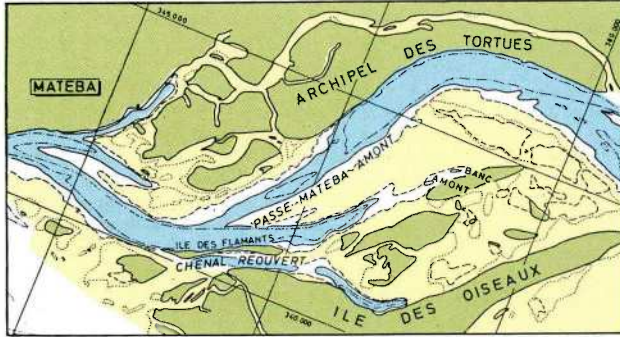
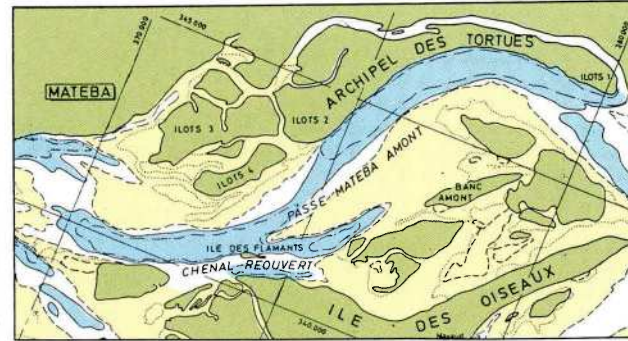


Fig. 9. Stortplaatsen der baggerspecie  
Endroits de déversement des produits de dragage

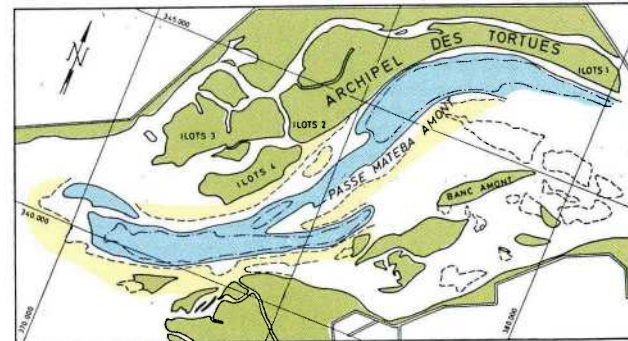
Toestand natuur  
*Situation en nature*



Toestand natuur  
*Situation en nature*



1969



Toestand model na 20 uur stromen

$$Q_{\text{Banc d'Anvers}} = 4.1123 \text{ m}^3/\text{s}$$

*Situation modèle après 20 heures d'essais*

Fig. 10. Vergelijking bodemevolutie model/natuur  
*Evolution du lit modèle/nature*



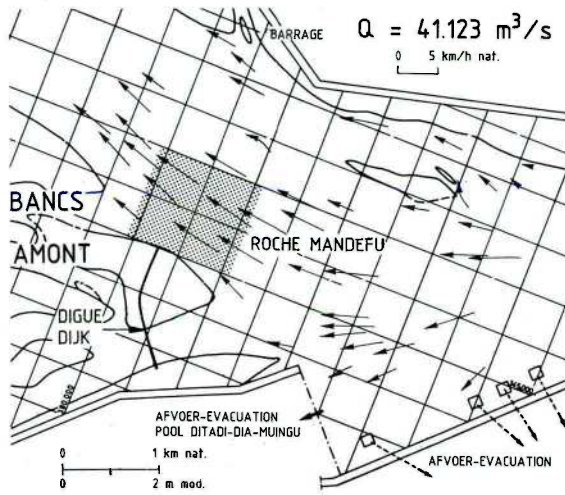


Fig. 11. Stroommeting - dijk te Bancs Amont  
 Courants de surface - digue à Bancs Amont

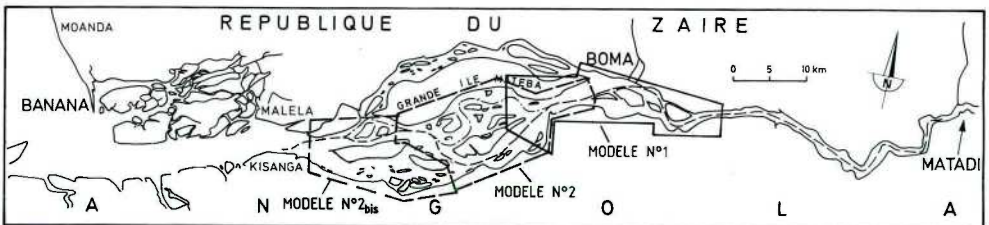


Fig. 12. Toekomstige modellen  
 Modèles proposés

Pool Mateba Amont en te Châtelet gebouwd worden met als voornaamste objectief de bestudering van de transporten en de sedimentverdelingen in functie van de debieten in het gedeelte opwaarts de brede zone, om de segregatie van het sediment zoals het zich in de natuur voordoet te verklaren.

Een tweede model zal ongeveer de volledige brede zone omvatten en zal te Borgerhout gebouwd worden. Het model moet toelaten zoals in het verleden informatie te verschaffen over de bodemtransportbanen, de erosie en aanzandingen, de effectiviteit van stortplaatsen, de mogelijke gevolgen van ontwikkelingen van rivierarmen, de beïnvloeding door storten van nadelige of voordelige ontwikkelingen van de geulen, gevolgen van baggerwerken, enz.

Deze modelstudies zullen begeleid worden door wiskundige modellen, die thans in het Waterbouwkundig Laboratorium ontwikkeld worden.

Uit hetgeen voorafging blijkt duidelijk dat de uitermate complexe verschijnselen die gepaard gaan met de erosie- en aanzandingsmechanismen van de Zaire in de brede zone, op een zeer geloofwaardige manier kunnen bestudeerd worden op een fysisch model. Ten bewijze hiervan de goede overeenkomsten tussen de hiervoor beschreven modelproeven en de natuurwaarnemingen.

Een mathematisch model dient bij deze studies eerder als een hulpmiddel voor de fysische modelstudie opgevat.

\*  
\* \*

De modelstudies die tot hiertoe werden uitgevoerd hebben belangrijk bijgedragen tot een beter inzicht in het sedimenttransport en de erosie- en sedimentatieverschijnselen van de erg onstabiele zandbodem van de Zaire-stroom in de brede zone afwaarts Boma.

Het belang van deze fysische modelstudies kan niet genoeg onderstreept worden. Ze kunnen de baggerwerken op een wetenschappelijke wijze begeleiden en aldus tot financieel belangrijke besparingen leiden. Ze kunnen tot op zekere hoogte ook toekomstige evoluties evalueren. Ze kunnen, indien gewenst, de gevolgen van normalisatiewerken aangeven en verklaren. De in het verleden uitgevoerde modelstudies bevestigen dit volkomen. Een volgehouden inspanning is evenwel vereist om hier enig resultaat te bereiken, wegens de snel wisselende rivierevoluties.

De toekomstige modelstudies kunnen deze lijn doortrekken ten bate van het behoud van een behoorlijke vaargeul in dit gebied.

*Symposium*  
*«L'Accès maritime au Zaïre»*  
(Bruxelles, 5 décembre 1986)  
Académie royale des Sciences  
d'Outre-Mer  
pp. 89-110 (1988)

*Symposium*  
*„De Maritieme Toegang tot Zaïre”*  
(Brussel, 5 december 1986)  
Koninklijke Academie voor Overzeese  
Wetenschappen  
pp. 89-110 (1988)

## ÉTUDES RÉCENTES DE LA NAVIGABILITÉ

PAR

J.-J. PETERS \*

129713

RÉSUMÉ. — Depuis longtemps, les hydrographes du bief maritime du Zaïre ont compris l'importance d'une exploitation judicieuse des observations hydrographiques pour tenter d'améliorer le rendement du dragage. La «méthode des dragages dirigés» suggérée par E.-J. Devroey en 1957, développée ensuite notamment par A. Khokhloff, a été examinée au Laboratoire de Recherches hydrauliques sous l'impulsion de ce dernier. Parallèlement aux études sur modèle réduit, la «méthode de prévisions des évolutions (morphologiques)» a été mise au point et appliquée avec un certain succès à la Régie des Voies Maritimes. Le principe et les grandes lignes de la méthode sont exposés ici et illustrés par quelques exemples. Il est décrit comment la Régie des Voies Maritimes a été amenée à adapter son programme d'observations et quelles nouvelles techniques de mesures ont été introduites pour en faciliter l'exécution. L'application de la méthode, au cas de la nouvelle passe navigable «Mateba Village» ouverte en août 1986, est également présentée succinctement, permettant d'en démontrer l'efficacité. La méthode est comparée à d'autres techniques complémentaires, telle celle du modèle réduit. Il est finalement montré comment le dragage peut, grâce à la méthode de prévisions des évolutions, être utilisé comme moyen (ou «agent morphologique») pour influencer les évolutions naturelles dans un sens favorable.

SAMENVATTING. — *Recente studies van de bevaarbaarheid.* — Reeds vele jaren terug beseften de hydrografen van het maritiem deel van de Zaïre het belang van een oordeelkundige uitbating van hydrografische waarnemingen met het oog op een verbetering van het baggerrendement. De „methode van de geleide baggerwerken” voor het eerst voorgesteld door E.-J. Devroey in 1957 en nadien ontwikkeld door onder andere A. Khokhloff werd, onder de impuls van deze laatste onderzocht op het laboratorium. Parallel met modelproeven werd de „methode ter voorspelling van de (morfologische) evoluties” op punt gesteld. Deze werd met een zeker succes toegepast door de Régie des Voies Maritimes. Het principe en de hoofdlijnen van de methode worden hier uiteengezet en toegelicht aan de hand van enkele voorbeelden. Daaruit blijkt op welke manier de Régie des Voies Maritimes ertoe werd gebracht haar meetprogramma te wijzigen en welke nieuwe meettechnieken werden ingevoerd. De toepassing op de nieuwe vaarpas „Mateba Village”, geopend in augustus 1986, wordt eveneens

\* Ingénieur en chef-directeur des Ponts et Chaussées, directeur du Laboratoire de Recherches hydrauliques, rue de l'Abattoir 164, B-6071 Châtelet (Belgique).

ren  
verkt



voorgesteld. Zij bewijst de doeltreffendheid van de methode. Deze wordt vergeleken met andere aanvullende technieken zoals schaalmodellen. Dit voorbeeld zal de mogelijkheden aantonen om de baggerwerken te gebruiken als een „morfologisch agens” (morphologic agent) die de natuurlijke evolutie in een gunstige zin kan beïnvloeden.

**SUMMARY.** — *Recent studies in navigability.* — The hydrographers of the maritime reach of the Zaire have long understood the importance of a judicious use of hydrographic observations in the attempt to improve dredging efficiency. The „method of dredging management” suggested in 1957 by E.-J. Devroey and developed by A. Khokhloff was examined in the Hydraulic Research Laboratory under the latter’s impetus. In parallel with scale model studies, the “method for predicting (morphologic) evolutions” was set up and the Régie des Voies Maritimes applied it with a certain success. The principle and major lines of the method are outlined in this paper and illustrated with a few examples. It is shown how the Régie des Voies Maritimes was led to adapt its survey programme and what new measuring techniques were introduced. The application to the case of the new navigation channel “Mateba Village”, opened in August 1986, is also briefly described, showing the efficiency of the method. The method is compared to other complementary techniques, such as scale models. Finally, it is shown how dredging, thanks to the method of predicting evolutions, can be used as a means or “morphological agent” to influence natural evolution in favourable ways.

## 1. Introduction

La «méthode des dragages dirigés» est déjà mentionnée en 1953 par E.-J. Devroey dans son ouvrage intitulé «Les Ressources Portuaires».

Les hydrographes et les dragueurs du bief maritime du fleuve Zaïre, confrontés aux problèmes complexes que leur posait l’entretien d’une route de navigation stable et sûre, ont conçu et aménagé progressivement cette méthode en fonction des expériences vécues au gré des incidents et des accidents de navigation.

Cet ensemble de règles, de lois, de méthodes tirées de l’expérience, souvent non écrites, avait permis de créer une route de navigation répondant, dans les années cinquante, aux exigences de la navigation maritime de l’époque. A partir de 1955 déjà, une dégradation progressive de la voie navigable se dessinait dans la région des bancs de sable en aval de Boma. En 1967, le gouvernement sollicitait l’aide du gouvernement belge pour étudier la création d’une nouvelle route de navigation à la place de celle utilisée depuis plus de quarante années.

L’Administration Générale de la Coopération au Développement a confié au Ministère des Travaux Publics, l’étude de l’amélioration de la navigabilité du bief maritime du fleuve Zaïre, menée depuis bientôt vingt ans par le Laboratoire de Recherches hydrauliques de ce ministère avec l’aide d’autres services de l’Administration des Voies hydrauliques. L’étude a pu

démarrer au début dans de bonnes conditions, grâce à l'apport et à l'expérience d'anciens hydrographes du bief maritime.

Le projet de recherche établi en 1967 prévoyait des essais en modèles réduits. La première mission chargée de recueillir, sur place, les données et mesures nécessaires à la construction du modèle, à son étalonnage et aux essais coïncida avec l'ouverture d'une nouvelle route de navigation intitulée «Mateba», nom donné à l'étude.

L'hydrographe A. Khokhloff, familier du laboratoire puisqu'il fut également expert pour l'étude de l'aménagement hydro-électrique d'Inga, apporta une aide précieuse au cours des premières années par ses conseils et ses écrits, malheureusement non publiés. Cet homme de terrain avait entrepris la rédaction d'une série de notes dans lesquelles il tentait de structurer la méthode des dragages dirigés. Il avait pressenti l'importance de certains phénomènes, de certains mécanismes, notamment les changements des formes des dunes pendant les crues, le rôle joué par les points durs sur l'évolution des méandres, la ségrégation des sédiments en fractions plus fines ou plus grosses empruntant des chemins différents, etc.

Les missions hydrographiques organisées par le Ministère des Travaux Publics ont ainsi pu orienter les recherches sur terrain, confirmer certaines hypothèses émises par A. Khokhloff et montrer que la méthodologie adoptée en 1967 devait être aménagée. Le modèle réduit ne pourrait résoudre à lui seul, ni entièrement ni dans des délais suffisamment courts, les problèmes posés habituellement par l'entretien de la route de navigation (PETERS 1971). L'idée de la méthode des dragages dirigés a dès lors été reprise : il fallait tenter de développer un outil permettant de «diriger» les dragages sur place à l'aide de prévisions des évolutions basées sur des éléments faciles à observer et sur des lois empiriques, notamment déduites des études en modèles. L'objectif était de rendre le dragage plus «préventif» que «curatif». A. Khokhloff soulignait d'ailleurs, dans une de ses lettres, ce caractère préventif de la méthode, établissant un parallèle avec la médecine.

La présente contribution au symposium a pour objectifs de décrire la structure de la méthode, dont certains aspects originaux seront explicités, d'en démontrer l'application à l'aide de deux exemples et finalement de faire apparaître les perspectives d'avenir qu'elle renferme.

## **2. Description de la méthode des dragages dirigés**

### **2.1. GÉNÉRALITÉS**

La méthode des dragages dirigés comportait, dans la version présentée au début de l'étude, le traitement d'un certain nombre d'informations

géométriques et hydrauliques, ainsi que l'application de lois ou règles plus ou moins empiriques.

Les responsables de l'hydrographie et du dragage avaient tenté, par des observations répétées (cartes, mesures de débits, etc.), de déceler des tendances dans les évolutions naturelles. La comparaison avec des évolutions anciennes similaires permettait dans certains cas d'améliorer l'efficacité de ces prévisions et d'organiser les dragages de façon à travailler «avec» la nature plutôt que «contre» elle. C'est seulement plus tard que naquit l'idée d'utiliser le dragage pour modifier le sens de l'évolution morphologique naturelle.

La méthode peut ainsi être scindée en deux phases :

1<sup>ère</sup> phase : Phase d'analyse, au cours de laquelle les tendances d'évolutions naturelles sont recherchées. Appelée actuellement «méthode de prévisions des évolutions», cette phase débouche sur un diagnostic, mais renferme nécessairement des inconnues comme, par exemple, l'évolution future des crues.

2<sup>ème</sup> phase : Phase d'intervention, au cours de laquelle le dragage et le balisage sont utilisés comme moyens d'améliorer la navigabilité en tenant compte des tendances d'évolutions naturelles, mais aussi dans certains cas en tentant de contrer ces évolutions naturelles si celles-ci sont néfastes.

## 2.2. LA MÉTHODE DE PRÉVISIONS DES ÉVOLUTIONS

La structure de la méthode peut être décrite de différentes façons :

a. Suivant la nature des éléments analysés :

- a.1. Géométriques : analyse des cartes en plan, sections en travers, profils en long, méandres, grains de sable, dunes, points durs, etc.
- a.2. Hydrauliques : analyse des courants, débits, pentes, turbulence, régimes d'écoulement, transports solides, etc.

b. Suivant la position des éléments sur l'échelle des temps :

b.1. Le passé.

Comparaison d'un élément géométrique ou hydraulique dans sa perspective historique, par exemple comparaison de cartes bathymétriques, de cartes de courant, etc.

b.2. Le présent.

Analyse comparative de différents éléments géométriques ou hydrauliques entre eux au moment présent, par exemple analyse comparative d'une carte bathymétrique avec la carte des courants, avec la répartition des débits ou avec les pentes.



### b.3. Le futur.

Extrapolation ou projection dans le futur des évolutions observées, en utilisant au maximum des lois hydrauliques ou hydrologiques expérimentales.

Actuellement, la méthode est structurée comme suit :

#### 2.2.1. *Levés bathymétriques*

Les levés bathymétriques sont représentés à différentes échelles géométriques et coloriées suivant certaines conventions : levés généraux et levés de détail.

Les comparaisons de levés sont réalisées de façon simple en coloriant les zones entre deux isobathes réduites (lignes d'égale profondeur relevées par rapport à une même cote de référence) de deux levés consécutifs : vert pour les zones à engraissement (ensablement) et bleu pour les zones à érosion. Cette technique ne donne qu'une information semi-quantitative. Une comparaison quantitative est possible par des moyens informatiques mais n'est pas encore appliquée en routine.

#### 2.2.2. *Les débits liquides et courants*

La comparaison des débits liquides relevés à intervalles de temps variables permet de déceler la fermeture ou l'ouverture de chenaux par lesquels ils transitent. Différentes échelles de temps peuvent être utilisées selon l'objectif fixé. Il est important de tenir compte des effets des marées et des crues. Heureusement, ces dernières sont à ce point lentes que l'on peut considérer leurs effets négligeables pendant un cycle de marée.

L'analyse des courants, principalement de leur concentration dans certaines parties de chenal, donne des indications qualitatives précieuses sur les tendances de creusement ou de comblement.

#### 2.2.3. *Les pentes d'eau*

Les pentes de l'eau (axes hydrauliques) peuvent traduire des effets locaux, tel l'engorgement d'une passe en train de s'ensabler. Il faut pour cela connaître les pentes «normales», relevées en situation d'équilibre à différents moments des crues et tout au long du profil en long. Les pentes décroissent progressivement à l'approche de l'océan mais augmentent ou diminuent respectivement, dans leur ensemble, lors des montées ou baisses des eaux en crue. L'effet des marées doit être pris en considération par le calcul des pentes moyennes sur la journée ou sur une quadrature (14 jours), suivant les cas d'application.

#### 2.2.4. *Les transports solides*

Les modifications de géométrie des chenaux navigables résultent des transports de sable. Ceux-ci modifient la morphologie du fleuve à différentes échelles.

Pendant les crues et selon les caractéristiques locales des écoulements et des sédiments, le fond du fleuve sera modelé sous forme de fond plat, de rides ou de dunes. Bien que les théories à ce sujet soient à ce jour encore fort controversées, certains anciens hydrographes, dont A. Khokhloff, avaient observé le lien existant entre l'apparition de certains types de dunes et les difficultés à maintenir, à ces endroits, une bonne navigabilité. L'observation systématique de ces phénomènes est en cours. Le traitement de ces données a déjà permis d'arriver à certaines conclusions. L'interaction entre l'écoulement, le transport de sable et la nature et les dimensions des dunes joue un rôle important dans la façon dont se modifient les fonds et dont se déplacent les bancs et les méandres.

Les processus de déplacement d'ensemble des méandres sont régis par des mécanismes multiples, pour la plupart encore mal connus. L'observation systématique des mouvements des bancs de sable, la mesure des transports de sable, l'analyse des sédiments en place et transportés, l'étude du rôle joué par des massifs plus durs (argileux ou rocheux) sur les déplacements de méandres ont permis déjà de dégager des lois, des règles expérimentales. Fort utiles, celles-ci sont compliquées et restent difficiles à appliquer.

#### 2.2.5. *Les techniques spéciales*

Les études en laboratoire, à partir des mesures et observations de terrain, ont débouché sur le développement de méthodes d'analyses, d'outils de prédiction d'évolutions.

##### 2.2.5.1. Le modèle réduit

La technique du modèle réduit a été utilisée pour résoudre des problèmes particuliers et concrets, tels le choix de lieux de déversement de produits de dragage, la manière d'ouvrir un nouveau chenal par dragage, l'influence d'une digue submersible sur l'évolution d'un seuil (fig. 1).

L'observation du mouvement des sédiments en modèle réduit a conduit à une méthode d'interprétation des cartes. Suivant la forme des bancs et îles, suivant leur évolution au cours des crues, suivant les trajectoires des courants, un observateur entraîné peut, à l'aide de règles relativement simples, interpréter les évolutions passées et déceler des tendances d'évolutions futures.

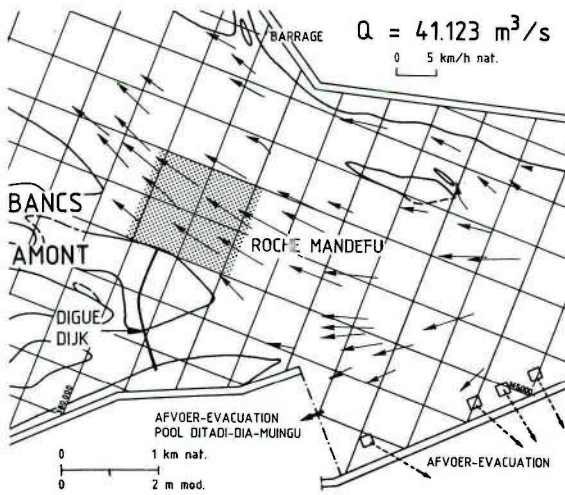


Fig.1 Courants de surface - digue à Bances Amont.



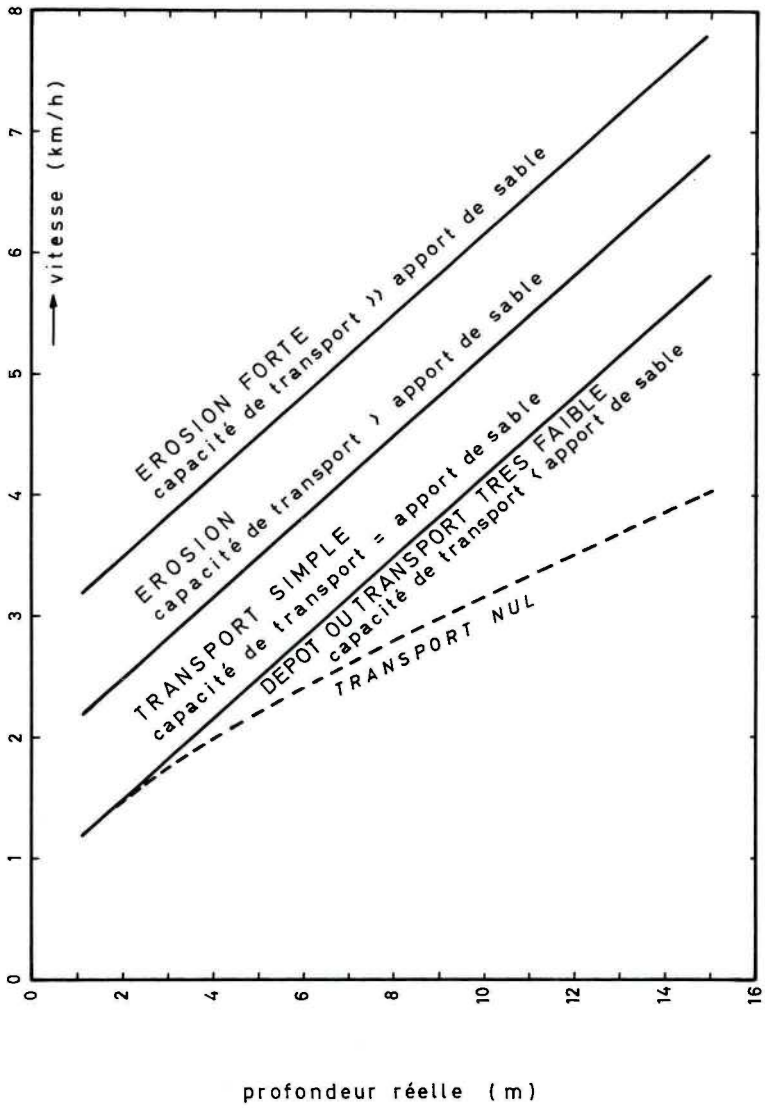


Fig.2 Lois expérimentales de tendances à l'érosion ou à l'ensablement.

### 2.2.5.2. La carte des tendances

Lorsqu'au début des années septante, l'influence d'un massif rocheux se manifesta près de l'entrée des passes Mateba Amont nouvellement ouvertes, des changements rapides de passes se produisirent. L'ouverture et la fermeture alternées des seuils «Mateba Amont» (plus tard appelés Mateba Amont Sud) et «Barrage» démontraient la nécessité de disposer d'un outil complémentaire à la technique du modèle réduit pour la prévision de la tendance à l'évolution à court terme.

Bien qu'elle parût à première vue simpliste, on essaya de créer une technique de prévision de la tendance à l'érosion ou à l'ensablement à un endroit donné, faisant appel à des mesures simples et classiques de la profondeur et du courant de surface.

L'analyse d'un grand nombre de mesures de transport solide, confrontées aux modifications des fonds observés à l'endroit de ces mesures, a conduit à établir un graphique représenté à la figure 2.

Ne tenant compte que des deux paramètres précités, il est évident que la prévision ne se réalisera pas nécessairement. Mais il est tout aussi évident que le renseignement ainsi fourni peut, en combinaison avec les autres outils développés dans la méthode de prévision des évolutions, améliorer grandement la fiabilité de cette méthode.

## 2.3. EXEMPLE D'APPLICATION DE LA MÉTHODE DE PRÉVISIONS DES ÉVOLUTIONS

La structure de la méthode de prévisions des évolutions a été décrite une première fois en 1976, dans le rapport «Mateba 12 ; la méthode des dragages dirigés» (PETERS & STERLING 1976). Ce document fut rapidement suivi par le rapport «Mateba 14 ; la méthode des dragages dirigés ; applications» (PETERS, COEN & ROOVERS 1977) dans lequel se trouvent décrites, dans le détail, les évolutions du pool Mateba Aval. Celui-ci avait connu, au cours de la période 1969-1975, des modifications très importantes et constituait un excellent cas d'application pour vérifier la méthode *a posteriori*. Ci-après, quelques résultats seront décrits à titre d'illustration.

### 2.3.1. Les levés bathymétriques

L'utilisation des couleurs, rendant les cartes plus explicites, est montrée à la figure 3. Cette carte de détail, dont l'original est à l'échelle du 1/10 000, montre l'évolution entre juin 1973 et janvier 1975 et renseigne huit zones différentes suivant la profondeur (pour les parties immergées aux plus basses

eaux) ou suivant la végétation (pour les bancs ou îles émergées aux plus basses eaux).

Par simplification des formes et en limitant le nombre de zones différentes à quatre, il est possible de mieux faire ressortir une tendance générale (fig. 4).

La combinaison de ces cartes simplifiées illustre clairement le processus progressif de fermeture du seuil Convensaingh et du seuil Mpuasi entre 1967 et 1975 (fig. 5).

Poussant encore plus loin la réduction d'échelle et les limites dans le temps, l'évolution du pool Mateba Aval est synthétisée de 1900 à 1976, les cartes se succédant à partir de 1932 toutes les deux années, à l'exception de 1936 et 1964. Cette évolution a servi au vidéofilm projeté à la fin de l'exposé (fig. 6).

La comparaison des levés bathymétriques peut être réalisée de façon simple, par coloriage de zones de recul ou d'avance des rives ou des lignes d'égale profondeur. Bien que qualitative, cette comparaison fournit des informations complémentaires à la comparaison visuelle des cartes coloriées par profondeur. Un exemple de comparaison des cartes de juin 1973 et novembre 1975 (fig. 3) est donné à la figure 7. Une comparaison plus détaillée des levés bathymétriques du seuil Mpuasi, appliquée à une période plus courte (entre octobre et novembre 1975) montre avec plus de précision les changements survenus (fig. 8).

### 2.3.2. *Les débits et courants*

Comme l'indique la figure 6, la région du nouveau seuil Mpuasi ouvert en 1970 lors de l'ensablement du seuil Convensaingh (Bulikoko) avait déjà été empruntée par un chenal, bien que non navigable pendant la période 1930 à 1950. L'île Kintelente s'était alors ressoudée à la grande île Mateba jusqu'à la fin des années soixante, le chenal séparant les deux îles connaissant ensuite un approfondissement et un élargissement spectaculaires. Cette évolution se dessine de façon très claire à la figure 9, le débit de Mpuasi passant d'un ordre de grandeur de 15% dans la période 1930-1950 à environ zéro vers l'année 1960 pour augmenter ensuite rapidement et dépasser les 50% en 1975.

Signalons ici les variations de débit et de courant pendant le cycle de marée, presque négligeables à Boma, plus sensibles dans le pool Mateba Aval. Il en sera question plus loin lors de la description des nouvelles techniques de mesures.



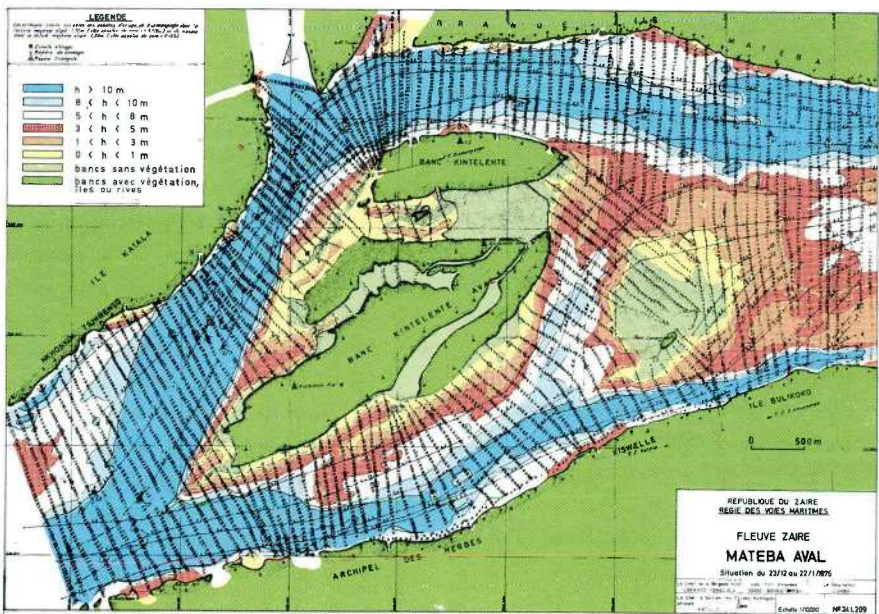
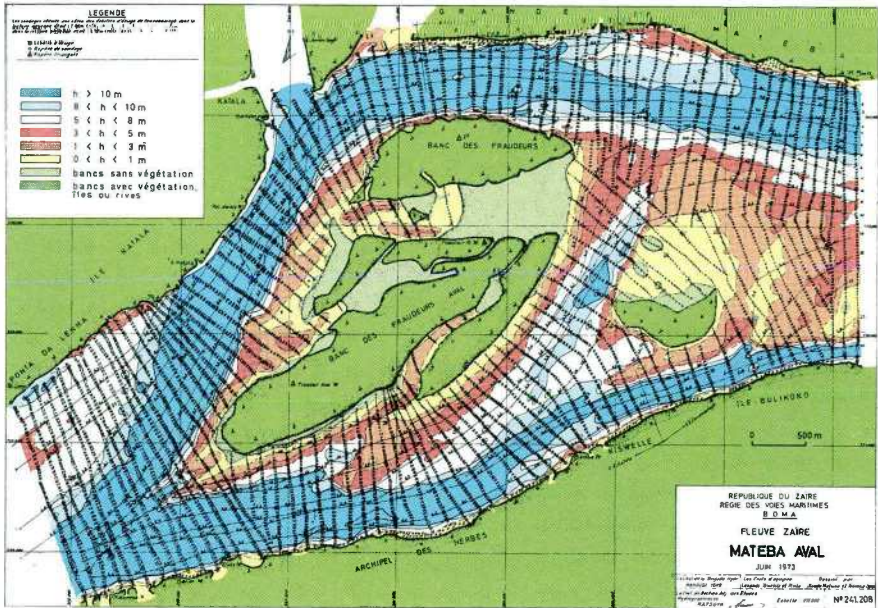
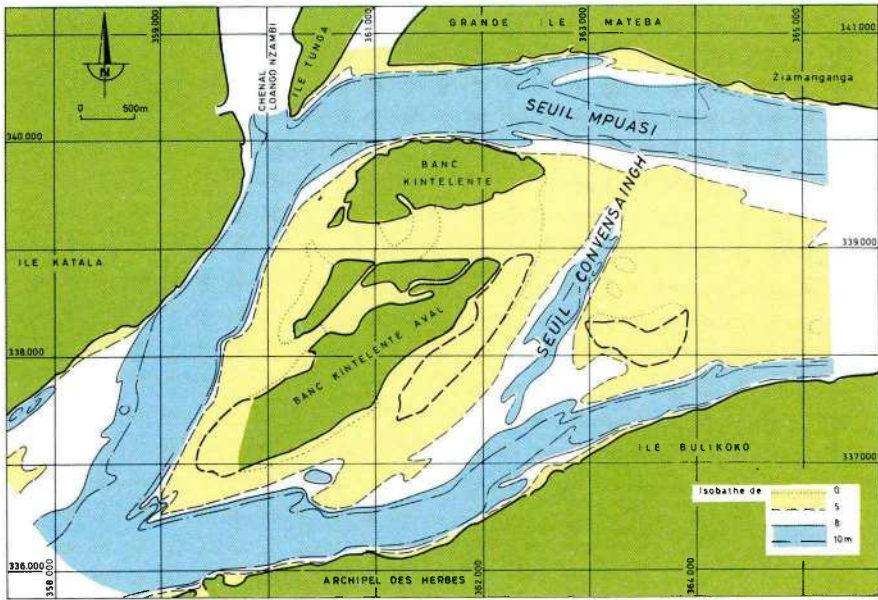


Fig.3 Evolution du pool Mateba Aval de 1973 à 1975 exemple à 8 couleurs.

JUIN 1973

241.208



DEC. 1974...JANV. 1975

241.209

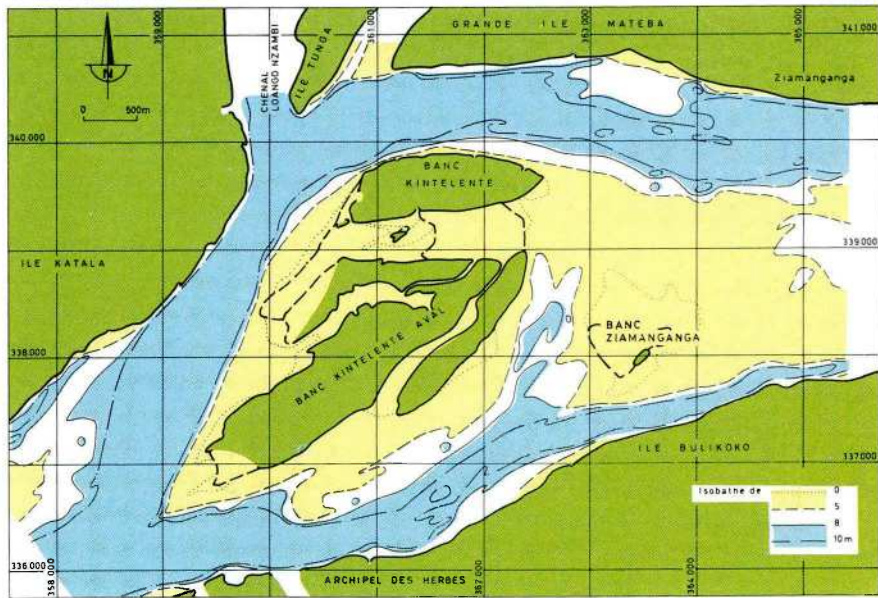


Fig.4 Evolution du pool Mateba Aval de 1973 à 1975 exemple à 4 couleurs.











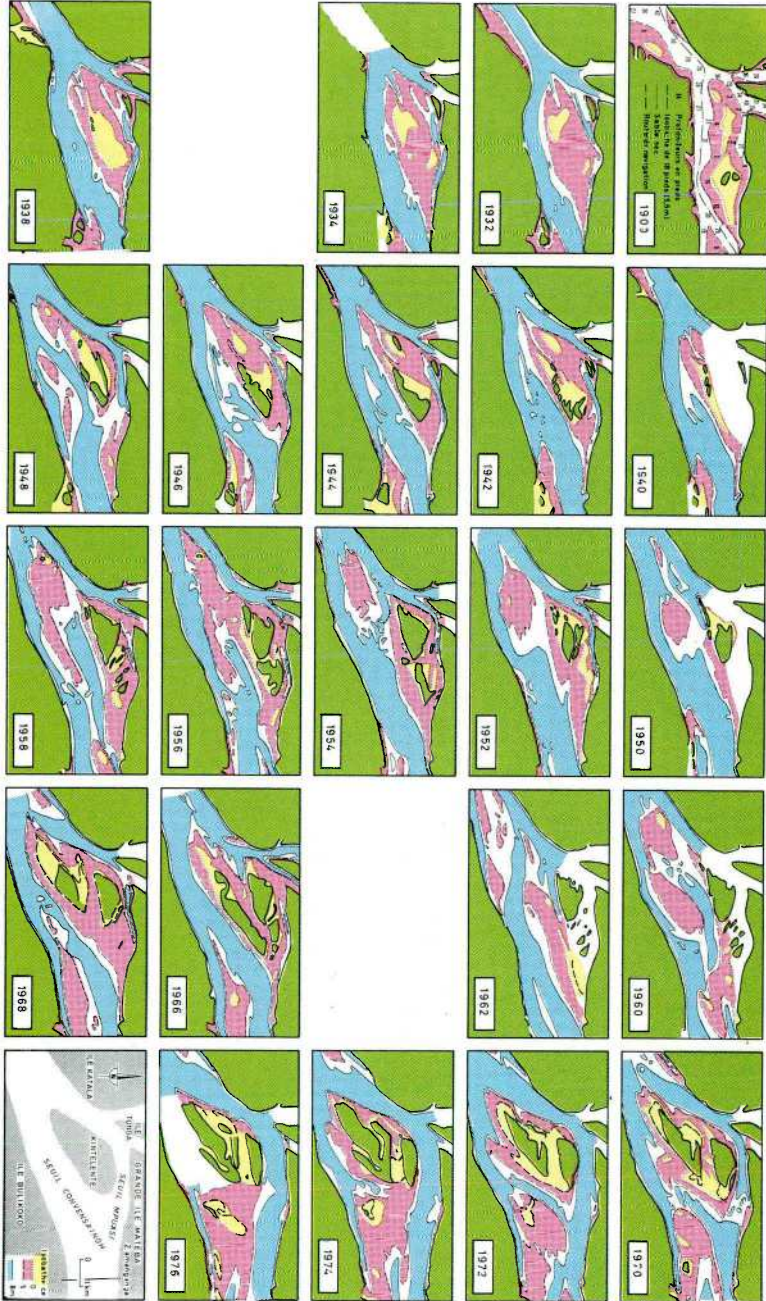


Fig.6 Evolution du pool Mateba Aval de 1900 à 1976. Cartes simplifiées.



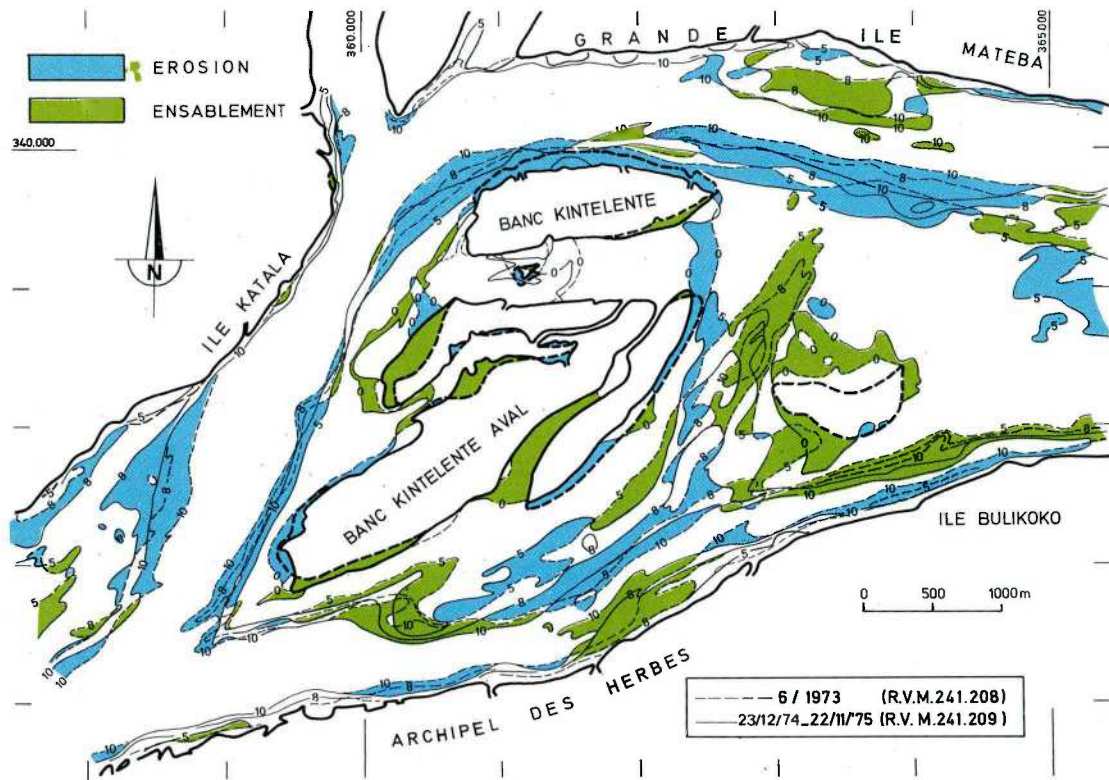


Fig.7 Zones d'ensablement ou d'érosion pour comparaison des levés. (Mateba Aval)

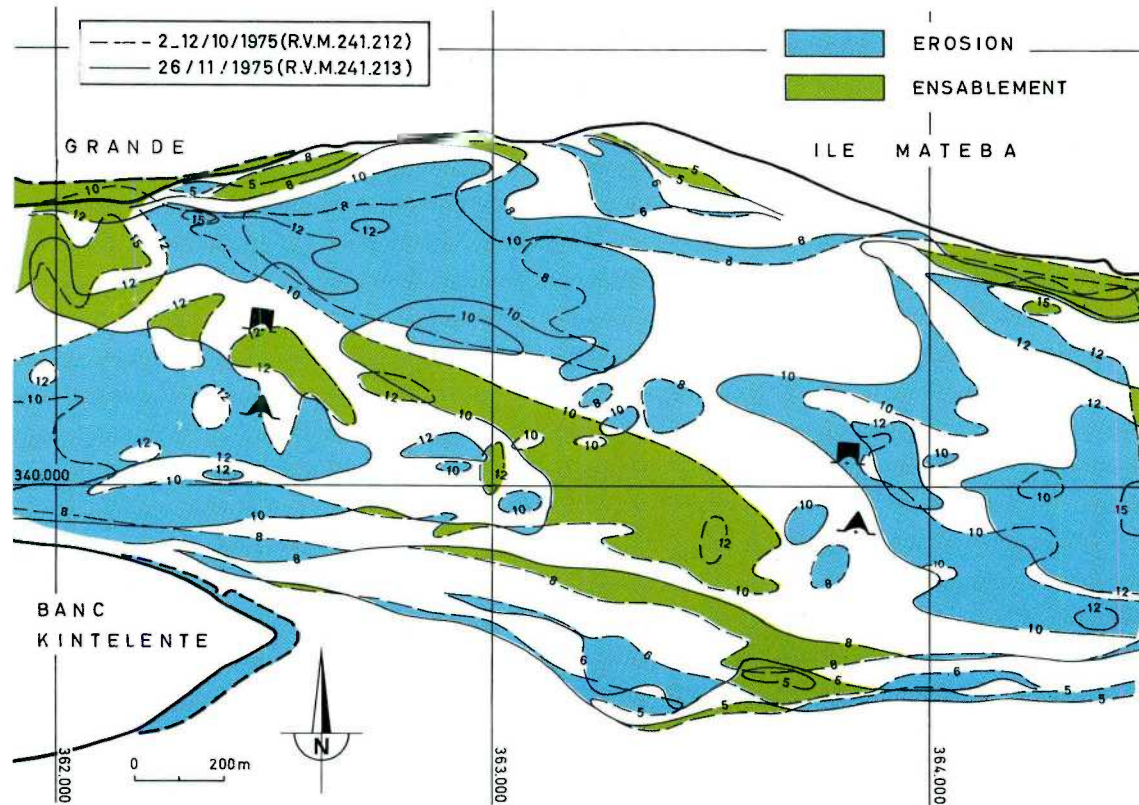


Fig.8 Zones d'ensablement ou d'érosion pour comparaison des levés. (Seuil MPUASI)

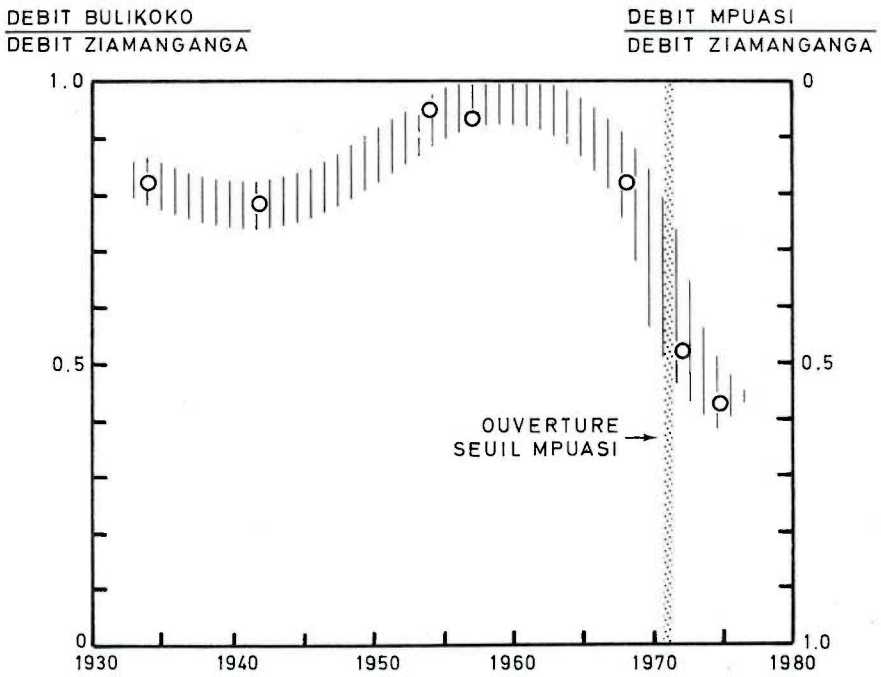
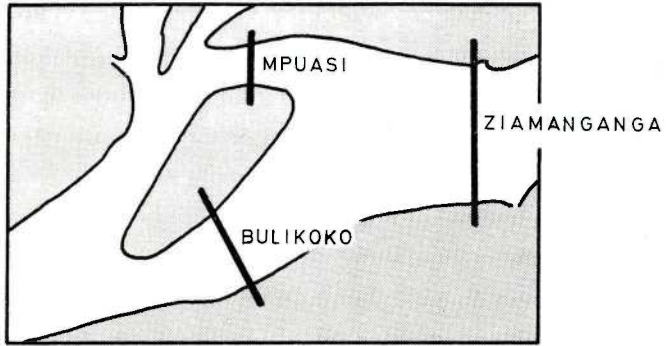


Fig.9 Evolution de la répartition des débits des bras principaux du pool Mateba Aval.



Par ailleurs, soulignons que le débit ou son pourcentage relatif au débit total du fleuve est un paramètre intéressant, mais insuffisant pour décrire l'effet érosif de l'eau, celui-ci dépendant entre autres aussi de la concentration du courant dans le chenal.

### 2.3.3. *Les pentes d'eau*

Sans vouloir la décrire dans tous les détails, illustrons par la figure 10 l'évolution de la pente de la surface de l'eau dans le seuil Mpuasi entre les postes de mesure de Katala et de Ziamanganga. Des changements irréguliers ont été constatés en 1969. La forte augmentation de pente d'eau entre le mois de mai (point 8) et le mois de juillet (point 14) correspond à un relèvement de l'eau à l'amont dû à l'ensablement du seuil Convensaingh créant un effet de barrage. Ces fortes pentes, survenant lors d'eaux basses restées fort hautes (l'année 1969 a été une année hydrologique exceptionnelle avec le débit annuel le plus élevé observé depuis 1902, après 1961 et 1962) (fig. 11 et 12) ont provoqué une érosion rapide de ce seuil dont l'alimentation en sable était devenue relativement faible. Les effets d'ensablements variables sur les pentes d'eau à l'endroit d'un seuil sont renseignés de façon schématique à la figure 22.

L'ouverture du seuil Mpuasi, réduisant l'effet de barrage, se marque nettement entre août et novembre (respectivement points 15 et 21 de la figure 10). Les périodes de l'année auxquelles correspondent les points indiqués aux graphiques de la figure 10 y sont renseignés sous forme de tableaux. Pour éviter une surcharge, seuls certains points ont été numérotés.

La situation des pentes au cours de l'année 1973 est tout à fait normale. En effet, les points représentatifs se placent dans le graphique le long d'une droite du faisceau, traduisant un degré d'ensablement faible.

### 2.3.4. *Les transports solides*

Il n'est pas possible, dans le cadre d'un exposé fort général, de commenter dans le détail les résultats des mesures de transport solide dans la région du pool Mateba Aval. Il est cependant intéressant d'illustrer la complexité des phénomènes par l'évolution du tracé du fond de la rivière relevé en 1972 et 1973 le long de l'axe de la route de navigation sur le seuil Mpuasi (fig. 13). Le profil, long de 5 km, montre dans sa partie amont des affleurements argileux (facilement repérables à cause d'un deuxième écho des ondes ultrasoniques). Lors du maximum de crue en décembre 1972, le fond est couvert de petites dunes qui traduisent un régime appelé «perturbé» par

certaines hydrographes. Longues de quelques dizaines de mètres et d'une hauteur voisinant le mètre, ces petites dunes disparaissent à la décrue pour faire apparaître un fond lisse sous lequel apparaissent des dunes plus grandes, dont la longueur diminue alors que leur hauteur augmente. A l'étiage, l'ordre de grandeur de leurs longueurs et hauteurs avoisine respectivement 100 m et 200 m.

### 2.3.5. *Les techniques spéciales*

#### 2.3.5.1. Application des lois déduites des essais en modèle réduit

Que ce soit pour décrire ou expliquer la façon dont évoluent, à moyen terme, certains bancs et seuils (fig. 14) ou pour choisir des lieux de déversement de dragages (fig. 15), le modèle réduit constitue une aide appréciable.

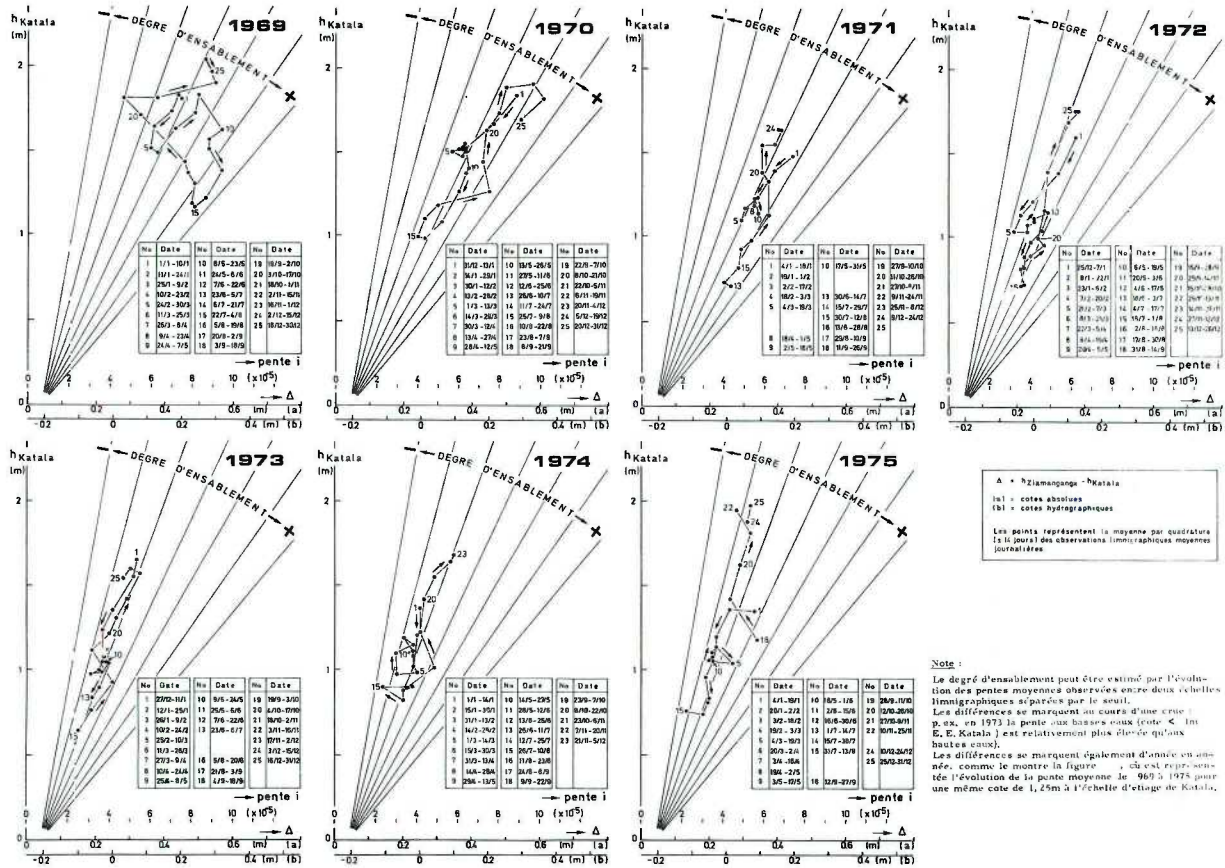
Cependant, s'il s'agit de prédire, à court terme, les changements d'un seuil, le modèle réduit devient un outil lourd à manier, d'autant plus que les situations de départ reproduites en modèle sont trop vite dépassées, leur évolution dépendant fortement de l'évolution de la crue. C'est la raison pour laquelle la carte des tendances présente un tel attrait.

#### 2.3.5.2. La carte des tendances

La carte des tendances est illustrée aux fig. 16 à 18. Elle se base sur deux cartes de détail du seuil Mpuasi levées en octobre et novembre 1975 (fig. 16). La comparaison quantitative de ces cartes (fig. 17), différente de la comparaison qualitative décrite aux paragraphes 2.2.1. et 2.3.1. (fig. 7 et 8), montre qu'en six semaines environ, les fonds se sont érodés ou engraisés, par endroits, de plusieurs mètres. Il se dessine nettement une zone d'engraissement obliquement transversale (fig. 17).

A partir de la situation des fonds en octobre 1975 (fig. 16, haut) et du diagramme servant à déterminer les tendances à l'érosion (bleu) ou à l'engraissement (vert) à partir des profondeurs et des courants (fig. 18, gauche), on obtient la carte des tendances sous forme d'une mosaïque de couleurs (fig. 18, droite). La comparaison de la prédiction et du résultat réel est saisissante. Il ne faut pas en conclure que la méthode est parfaite. Comme il a déjà été signalé plus tôt, certains phénomènes peuvent rendre difficile l'application de la carte des tendances et son application. Elle constitue néanmoins un outil intéressant et original.

Fig. 10 Loi des pentes.



Note:  
 Le degré d'ensablement peut être estimé par l'évolution des pentes moyennes observées entre deux échelles limnigraphiques séparées par le seuil.  
 Les différences se marquent au cours d'une crue : p. ex. en 1973 la pente aux basses eaux (cote « (a) hZ. E. Katala) est relativement plus élevée qu'aux hautes eaux.  
 Les différences se marquent également d'année en année, comme le montre la figure 10, où est représentée l'évolution de la pente moyenne le 9/9/1974 pour une même cote de 1,25m à l'échelle d'étage de Katala.



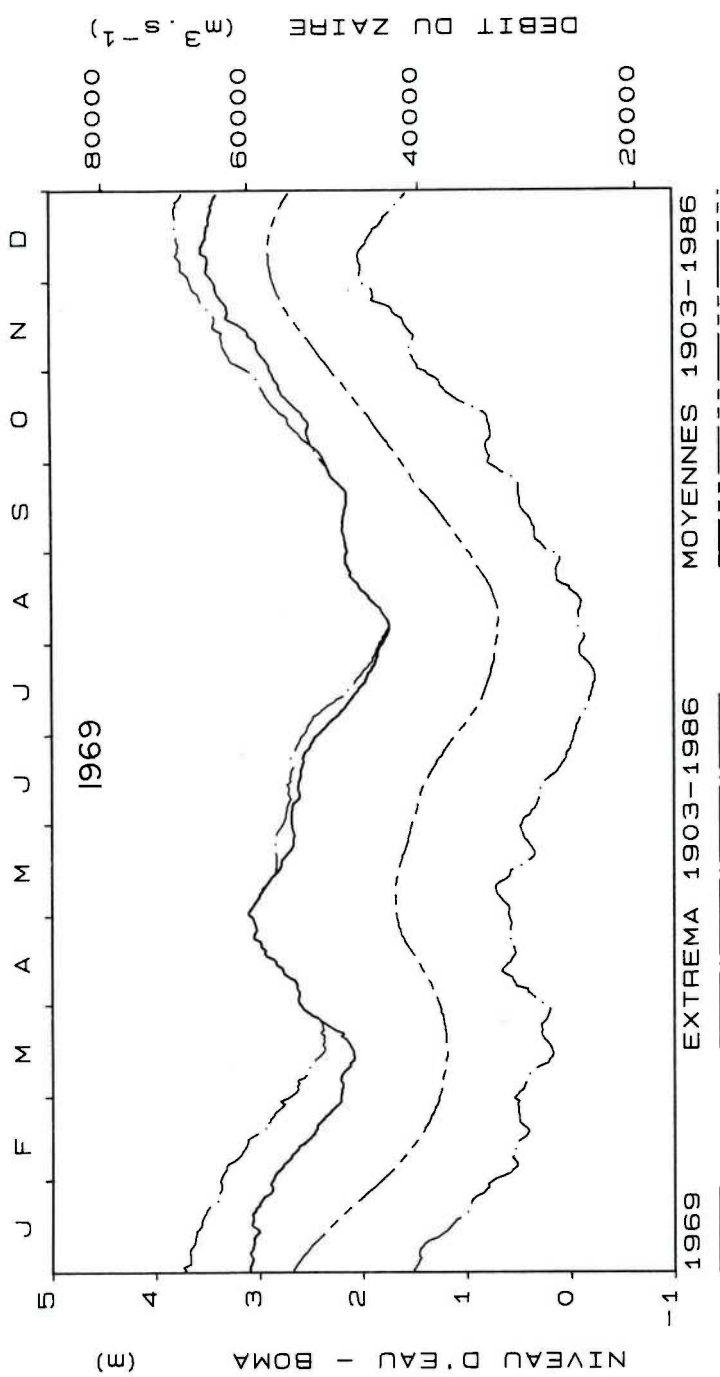


Fig.11 Crue à Boma de janvier à décembre 1969.



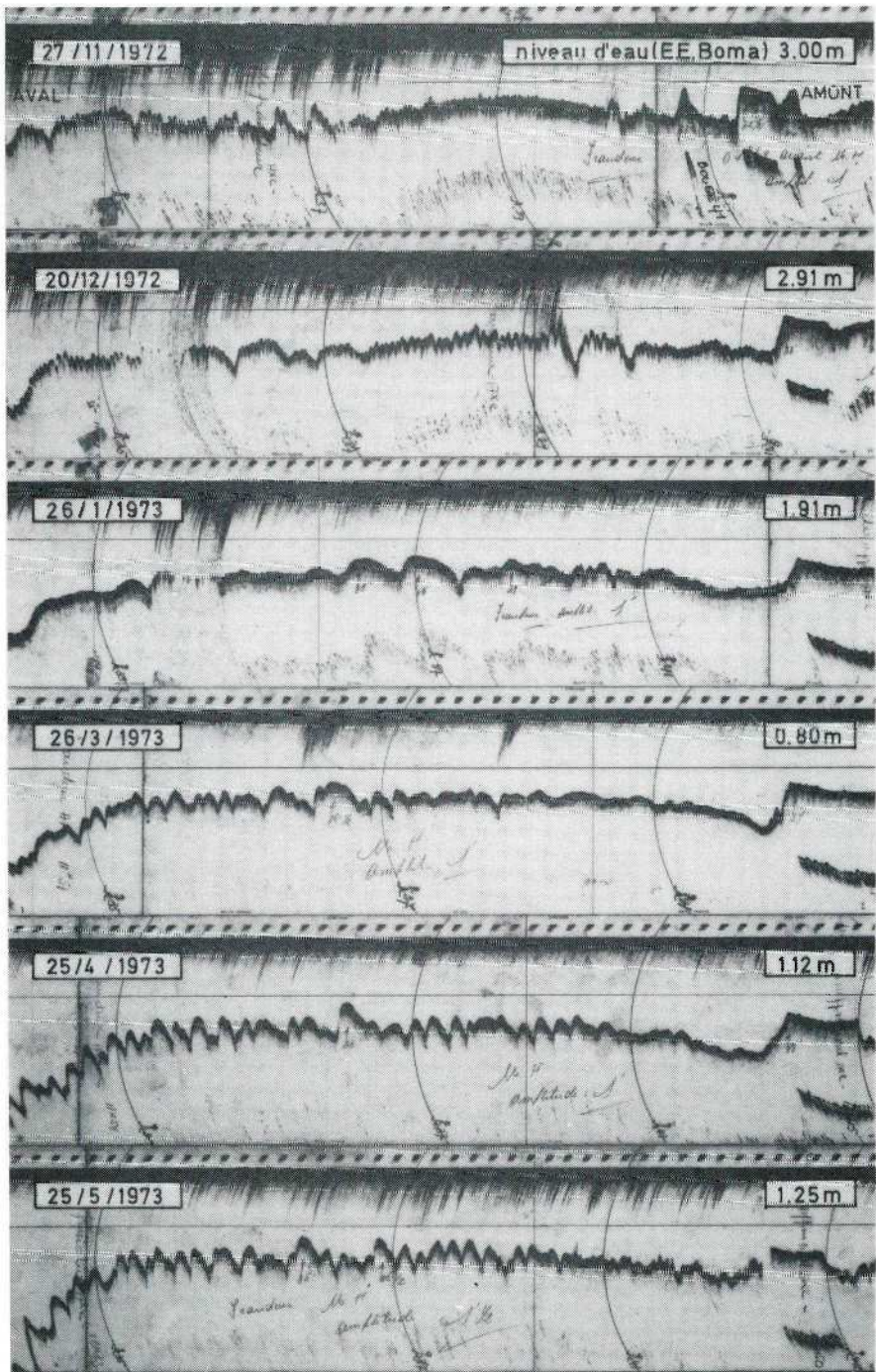
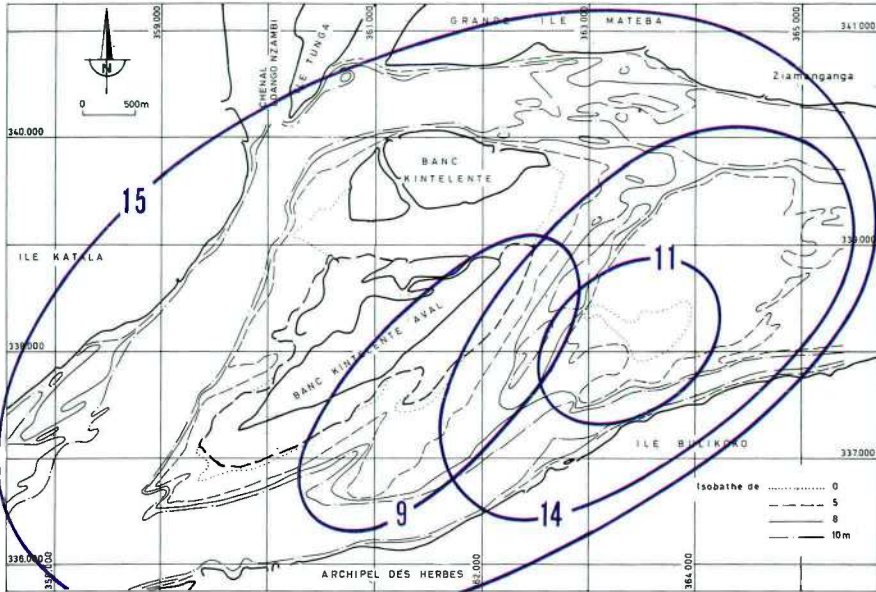
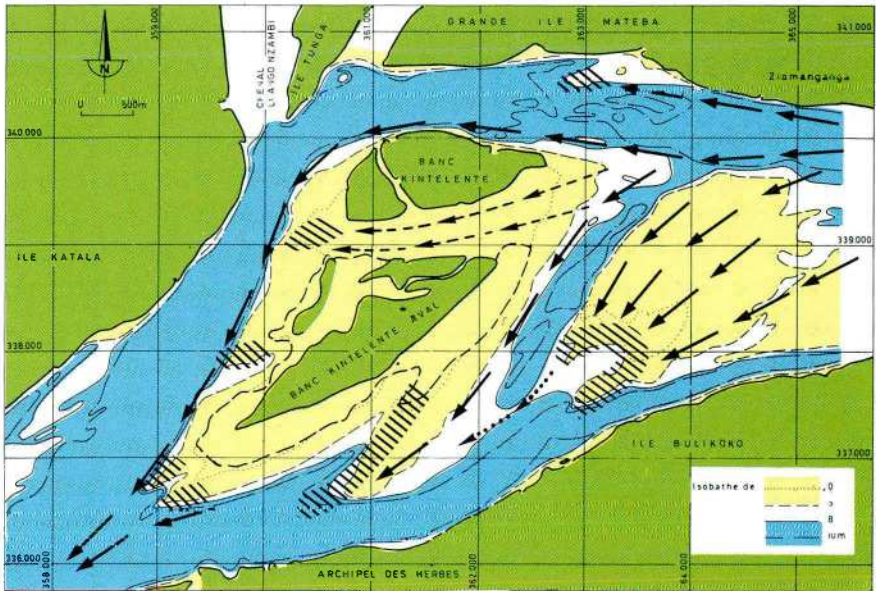


Fig.13 Profils en long du fond du fleuve. Seuil MPUASI.





Exemples de la configuration de bancs tels qu'ils sont décrits dans le rapport Mateba 12. Les chiffres renvoient aux numéros des figures de ce rapport.



← axe suivant lequel se fait le transport de sable (axe de charriage)  
 \\\\\\\ zone de dépôt

Fig.14 Application des lois déduites du modèle réduit.  
 Transport solide et formation des dunes.

DEC. 1974 - JANV. 1975

241.209

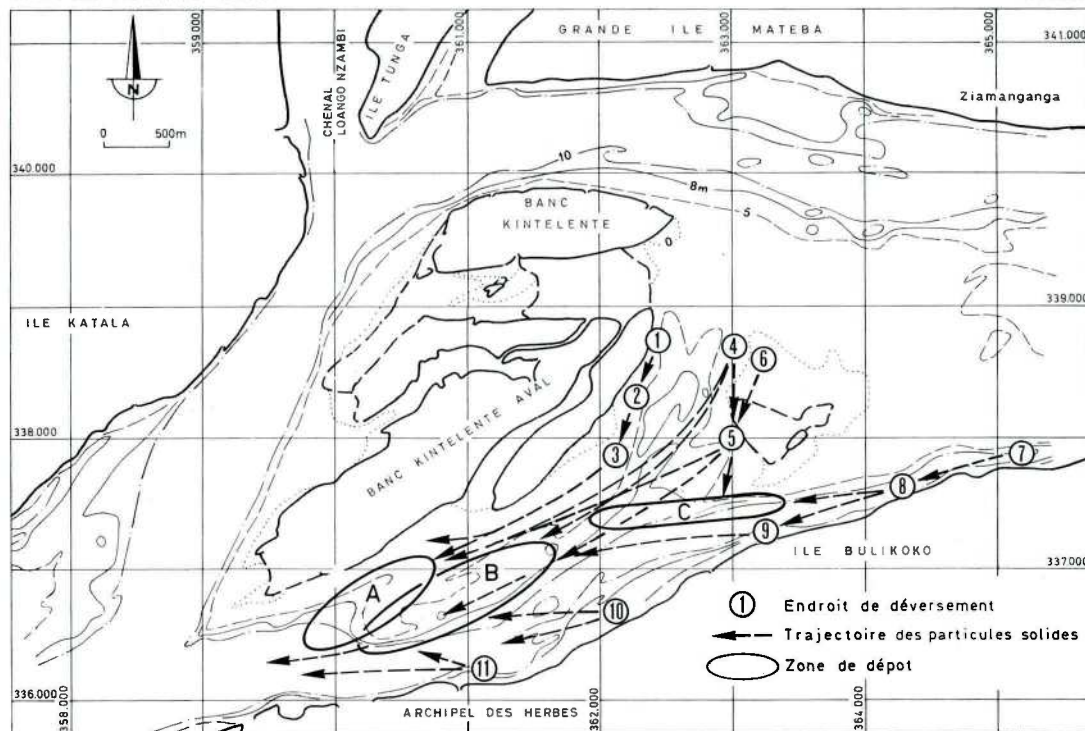
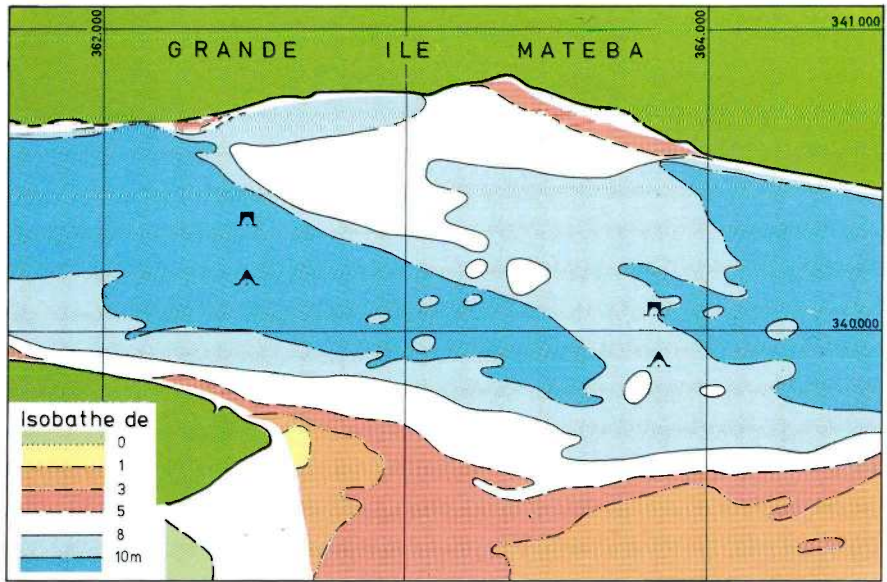


Fig.15 Application des lois déduites du modèle réduit. Etude des lieux de déversement des produits de dragage.

SITUATION 2\_12 OCTOBRE 1975

Levé R.V.M. 241.212



SITUATION 26 NOVEMBRE 1975

Levé R.V.M. 241.213

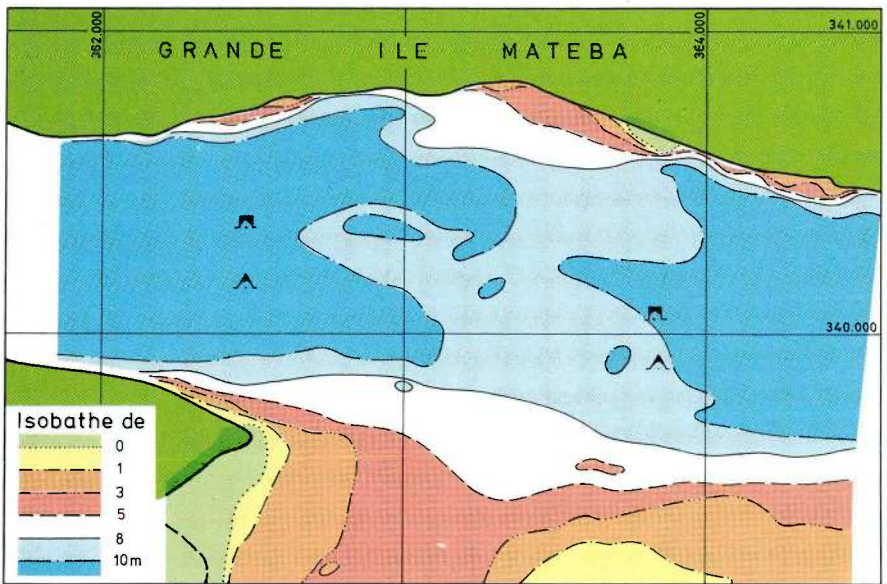


Fig.16 Cartes du seuil MPUASI; situation octobre 1975 et novembre 1975.



Carte des érosions et des dépôts , obtenue par comparaison des levés d'octobre et de novembre 1975

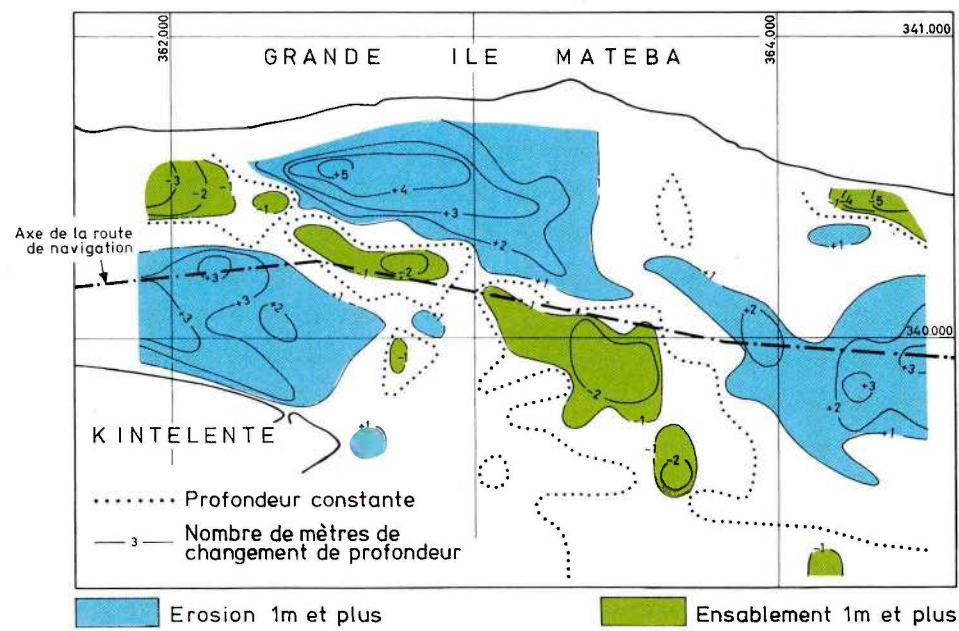


Fig.17 Carte des ensablements et érosions du seuil MPUASI de octobre à novembre 1975.

#### 2.4. LA MÉTHODE DES DRAGAGES DIRIGÉS : LE CAS DE LA PASSE MATEBA VILLAGE

La méthode de prévisions des évolutions permet à la Direction d'exploitation de la Régie des Voies Maritimes d'anticiper les changements de passes et d'organiser les dragages d'entretien en conséquence.

L'idée de «diriger» les dragages en vue d'accélérer l'évolution naturelle dans un sens favorable n'est pas nouvelle. Prenons, pour exemple, une coupure de méandre.

L'originalité de notre approche au bief maritime est de diriger le dragage sur base des résultats de la méthode de prévisions des évolutions en essayant de déceler le lieu idéal et le moment opportun de l'intervention. Par ailleurs, nous avons étudié la possibilité de modifier l'évolution de passes en déversant des produits de dragages dans certains chenaux secondaires présentant une tendance à l'érosion. Anciennement, les lieux de déversement étaient choisis de façon à ce que le sable reste en place : fosses mortes, bancs stabilisés, etc. L'exemple qui suit illustrera cette nouvelle façon de diriger le dragage.

##### 2.4.1. *Situation du problème de la passe Mateba Village*

L'histoire commença en 1970, lorsque la nouvelle route de navigation, ouverte dans le pool Mateba Amont, mit à nu le massif rocheux Mandefu mentionné au paragraphe 2.2.5.2. Le mouvement du méandre qu'y forme le fleuve et l'évolution des passes situées en aval furent, par la suite, perturbés par l'existence de ce massif. Les variations des conditions hydrologiques et hydrauliques des années suivantes ont été des éléments déterminants de ce processus. La figure 19 montre l'évolution, de 1967 à 1986, de la route de navigation entre l'entrée du pool Mateba Amont et la pointe Ziamanganga. A partir de 1974, se marquent l'effet de blocage du chenal par la roche Mandefu et l'accentuation progressive de la forme en «S» du méandre, formant finalement pratiquement un demi-cercle avec un centre situé face au Village Mateba. L'éventualité d'une «coupure» naturelle par le faux-bras Mateba Village se précisait dès le début des années quatre-vingts. Une comparaison avec la situation du pool Mateba Aval montre, à côté de différences morphologiques importantes, l'existence d'une différence de régime hydraulique : les années soixante, en particulier 1969, avaient été marquées par des eaux très hautes alors que les crues des années quatre-vingts ont été fort basses. Le creusement d'un embryon de chenal à l'entrée du faux-bras Mateba Village inquiétait la Direction d'exploitation de la Régie des

Voies Maritimes. Fallait-il aider cette ouverture par laquelle se perdait une part non négligeable du débit, au détriment de la passe navigable ?

Après avoir appliqué la méthode de prévisions des évolutions, il fut décidé de continuer à draguer la passe existante et de déverser les sables à l'entrée du faux-bras afin d'en freiner le creusement. L'ouverture par la nature, avec l'aide de l'homme, ne deviendrait possible qu'à partir du moment où un certain nombre de conditions seraient réunies, notamment un débit satisfaisant dans le chenal survenant lors d'une crue suffisamment haute. Mais une autre condition s'est avérée déterminante, à savoir des apports de sable à la sortie du faux-bras Mateba Village en provenance de la rive droite du chenal Nguvu (passe navigable).

Le débit liquide de ce chenal l'emportant sur celui du faux-bras, ce sable traversait ce dernier en direction de la pointe Ziamanganga, se joignant aux sables transportés dans le faux-bras, créant un seuil, sorte de barrage provoquant le relèvement des eaux à l'amont. Il s'ensuivait une diminution de la capacité d'autodragage dans le faux-bras, à cause de la diminution de la pente d'eau et ce, malgré l'augmentation du débit. Les îlots Tshiongo séparant le faux-bras de la passe navigable s'étendirent progressivement vers l'Ouest, repoussant le chenal du faux-bras contre la rive, argileuse et résistante, de la grande île Mateba.

En 1985, un incident qui fut déterminant pour l'évolution ultérieure se produisit : un massif argileux, inconnu jusqu'alors, fut mis à nu le long de la rive des îlots Tshiongo, environ en face du Village Mateba. Bloquant le mouvement du méandre qui se développait dans la partie Amont du faux-bras, il s'ensuivit une diminution des apports de sable vers le seuil aval (décrit ci-avant comme formant barrage).

La grande crue de 1985-1986 qui suivit provoqua, suite à l'approfondissement naturel de ce seuil aval, une augmentation simultanée du débit et de la pente et, par voie de conséquence de la capacité d'autodragage. La création d'une nouvelle route de navigation dans le faux-bras devenait possible.

#### 2.4.2. *Application de la méthode de prévisions des évolutions*

Nous nous limiterons à une description succincte, forcément incomplète, des principaux paramètres.

##### — Les débits.

La figure 21 montre l'augmentation progressive des débits du faux-bras. Les écarts de mesures individuelles par rapport à la croissance moyenne s'expliquent par les effets de la marée sur la mesure de débit.



DIAGRAMME SERVANT A LA DETERMINATION  
DES ZONES A TENDANCE A L'EROSION OU AU  
DEPOT - SEDIMENTS AYANT UN DIAMETRE  
MOYEN DE 0,3 A 0,4mm

Carte des tendances à l'érosion ou au dépôt, dressée à partir des profondeurs  
et des courants d'octobre 1975 (levé R.V.M. 241.212)

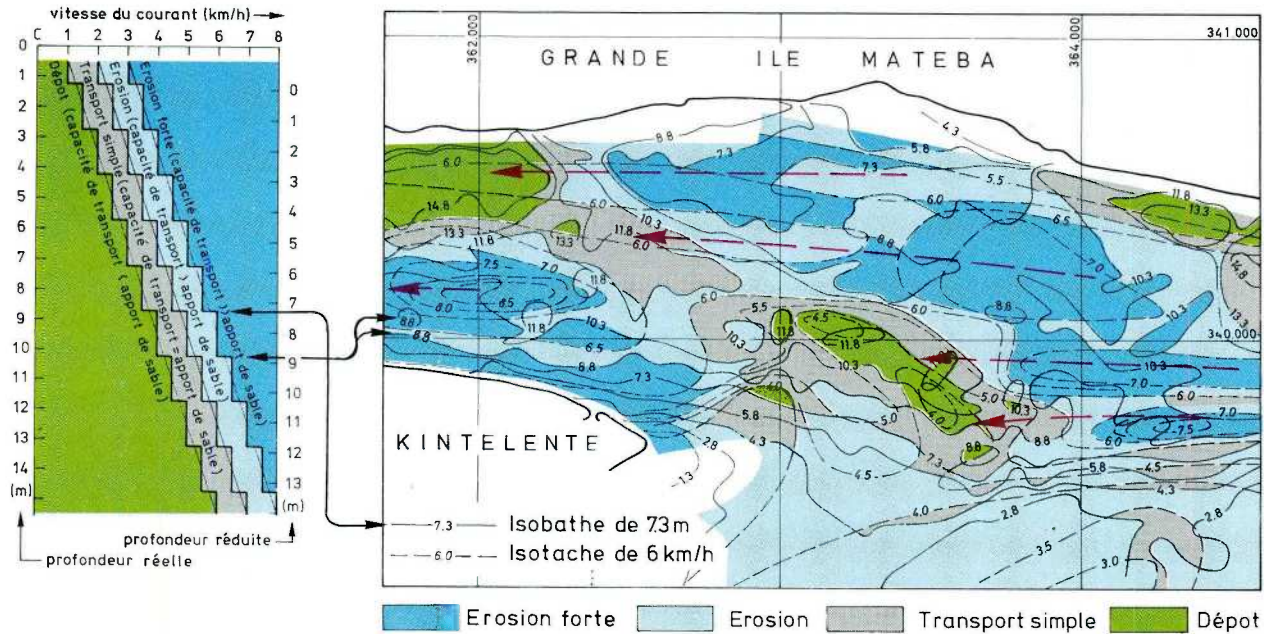


Fig.18 Etablissement de la carte des tendances du seuil MPUASI.

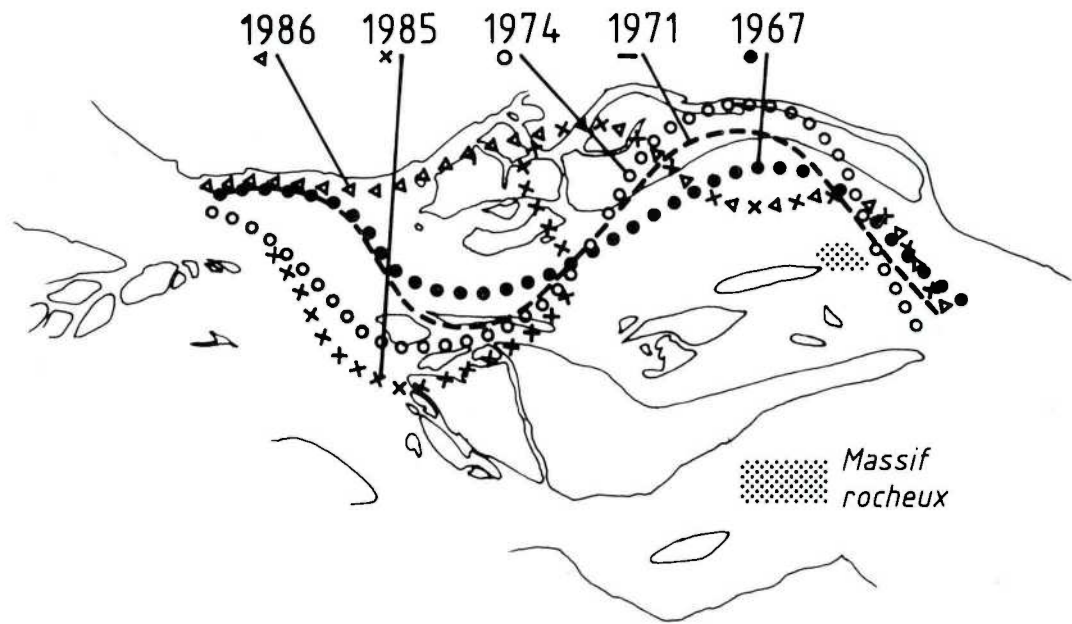
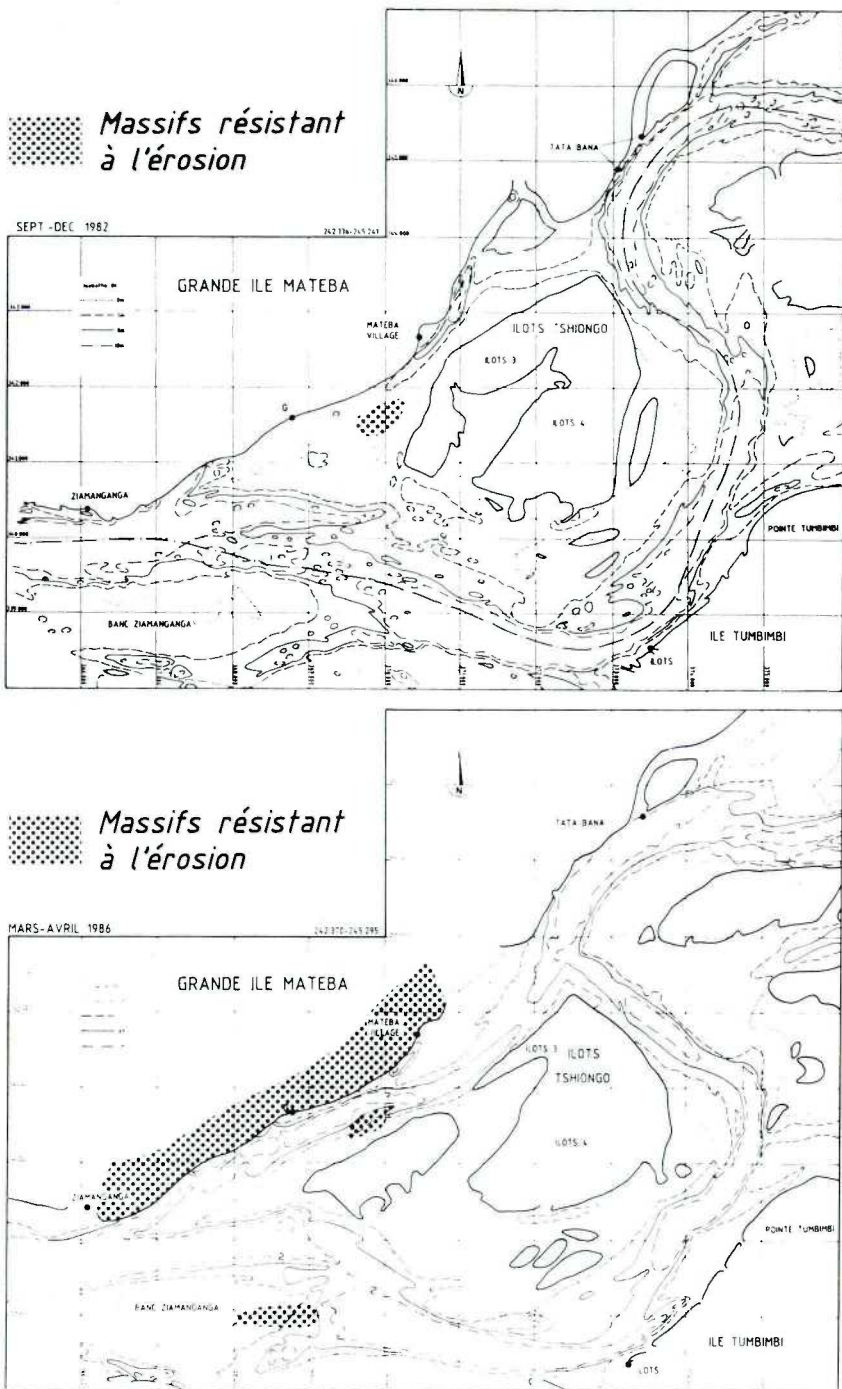


Fig.19 Exemple d'évolution du méandre dans le pool Mateba Amont; influence du massif rocheux.



*Fig.20 Evolution entre 1982 et 1986 du méandre au sortir de Mateba Amont .  
Ouverture de la passe Mateba Village.*



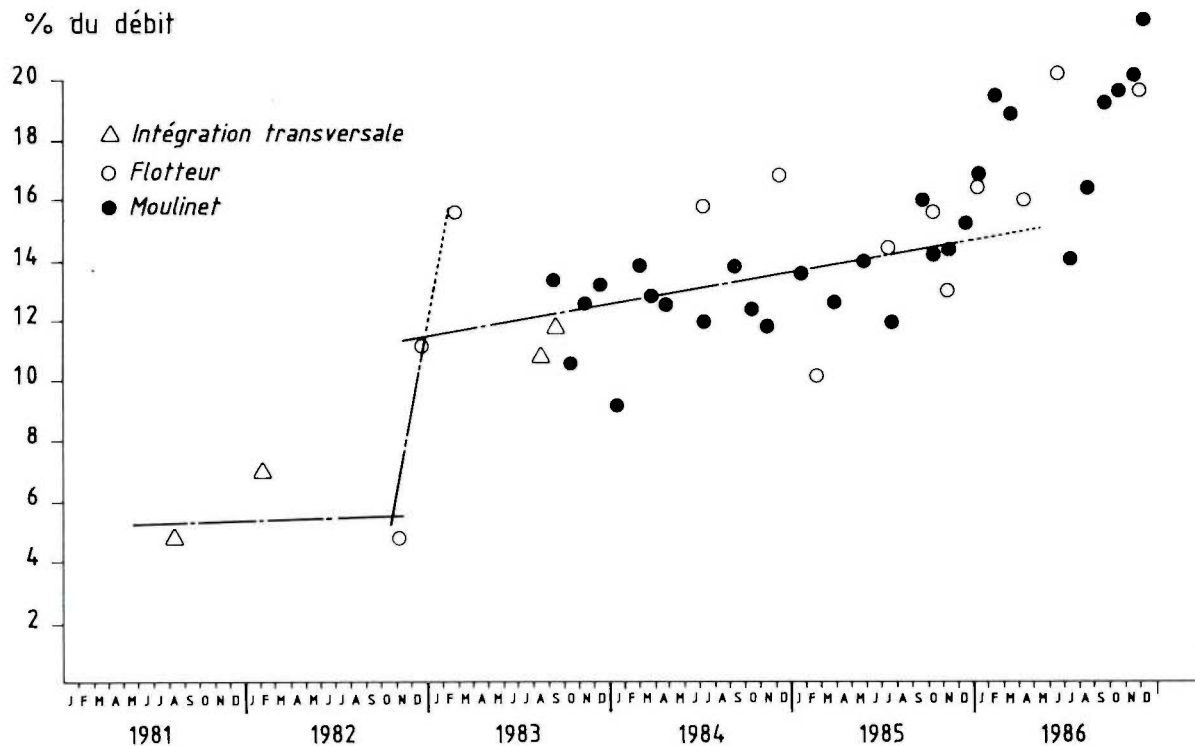


Fig.21 Evolution du débit dans le chenal du faux-bras Mateba Village (passe Mateba Village).

– Les pentes (fig. 22 et 25).

La loi des pentes a été utilisée en interprétant l'évolution des

- a. pente moyenne sur l'entièreté du faux-bras (entre les échelles d'étiage de Tata bana et de Ziamanganga) ;
- b. pente dans la partie amont du faux-bras (entre les échelles d'étiage de Tata bana et de Mateba Village) ;
- c. pente dans la partie aval du faux-bras (entre les échelles d'étiage de Mateba Village et de Ziamanganga).

La figure 20 illustre le processus de creusement du seuil de la partie aval entre 1982 et 1986.

#### 2.4.3. *Application de la méthode des dragages dirigés*

L'analyse précédente a montré qu'il fallait attendre la fin de l'année 1985 avant d'entreprendre des travaux aidant à l'ouverture du faux-bras. Il est intéressant, à ce propos, de comparer cette situation à celle décrite au chapitre 2.3., du pool Mateba Aval. L'ouverture de la passe Mpuasi, survenue en 1969-1970, a été provoquée par un ensablement progressif du seuil Convensaingh, les apports de sables y étant plus importants que ce que le fleuve pouvait y transporter.

L'ouverture de la passe Mateba Village, quant à elle, n'a pas «bénéficié» du même effet d'ensablement de la passe Central. Celle-ci a continué à se déplacer à l'amont vers l'Ouest par avancement du banc Aval et recul de la rive de l'îlot Tshiongo 3.

Ceci nous amène à décrire les différentes actions possibles pour accompagner l'ouverture naturelle du faux-bras par des dragages :

- a. Influence du massif argileux face à Mateba Village.

Il a été décidé d'enlever ce massif afin de débloquent le mouvement du méandre se développant dans la nouvelle passe Mateba Village. D'une part, la rive droite entre Mateba Village et Ziamanganga (fig. 20) étant également argileuse, et d'autre part, l'engraissement du banc Tshiongo s'étant formé le long de cette rive en aval de Mateba Village, l'effet de blocage par l'argile face à Mateba Village provoquait un goulet d'étranglement pour les sédiments venant d'amont, avec le risque que les eaux cherchent un autre chemin au travers des îlots Tshiongo (fig. 20), ce qui entraînerait l'ensablement de la partie aval de la passe Mateba Village.

### b. Influence du maintien du seuil Central.

Le maintien du seuil Central est nécessaire pendant et peu après l'ouverture de la nouvelle passe navigable. Mais dès que la stabilité de celle-ci sera assurée, il y a intérêt à diminuer le débit des chenaux non navigables du pool et celui de l'ancienne passe. Or, ce dernier avait fortement baissé du fait de la disparition de l'effet de barrage à l'aval de la nouvelle passe. Cependant, cet effet de barrage pourrait se rétablir, par exemple par le blocage du banc Tshiongo à cause des massifs argileux face à Mateba Village. Il s'ensuivrait un relèvement des eaux à l'endroit de la séparation des débits entre les passes Mateba Village et Central ; le débit de ce dernier chenal, resté ouvert, pourrait à nouveau augmenter. On voit donc l'intérêt d'un ensablement artificiel de ce chenal.

La question qui se pose alors est de savoir où l'ensabler : à l'aval, à l'amont, au centre ?

Il n'est pas possible de faire ici toute l'analyse, du reste fort complexe, tenant compte de facteurs aussi divers que la prédiction des apports futurs naturels de sable, l'évolution des seuils situés en amont et des chenaux secondaires, l'accessibilité des sites de déversement des produits de dragage. Chaque site, amont, central ou aval, a ses avantages et inconvénients. Le site amont, par exemple, a comme avantages d'être facilement accessible et d'avoir des courants très faibles.

Un site à l'aval sera moins accessible et subira l'influence du courant (alimenté notamment par des faux-bras parcourant les bancs Amont). Ces derniers pourront entraîner les sables plus vers l'aval. Par contre, un effet de barrage à l'aval maintiendrait les courants faibles à l'amont et par conséquent les ensablements naturels dans le seuil Central.

### c. Jonction de la nouvelle passe Mateba Village et de l'ancienne passe Nguvu.

L'application de la méthode de prévisions doit permettre de définir les lieux de déversement des produits de dragage de façon à ne pas influencer défavorablement le seuil aval de la passe Mateba Village. L'évolution de cette région est conditionnée par l'existence d'un autre «point dur» (fig. 20) probablement argileux à la pointe amont du banc Ziamanganga. Un autre facteur important est le débit du seuil Nguvu qui provient de plusieurs sources : du seuil Central, des chenaux secondaires (faux-bras) parcourant les bancs Amont et de la passe Tumbimbi, moins le débit passant sous le banc Ziamanganga vers le chenal Jonction Bulikoko. Un lieu de déversement à l'entrée de ce dernier chenal est utilisé depuis longtemps.



La fermeture des faux-bras des bancs Amont, du seuil Central augmenterait le débit de la passe Mateba Village au détriment du débit sortant de la passe Nguvu. Les débits de ces deux passes sont actuellement de l'ordre de 20% et de 40%. Pour éviter les ensablements à l'aval de la passe Mateba Village par les sédiments longeant l'îlot Tshiongo, il faudrait au moins tendre vers l'équilibre de ces débits. Un lieu de déversement le long des îlots Tshiongo est donc à déconseiller, à moins de trouver des zones très abritées des courants. Ces quelques exemples illustrent la façon dont peut être appliquée la méthode des dragages dirigés. Une grande part d'expérience, mais aussi une collaboration étroite des services hydrographiques et de dragage sont nécessaires.

## 2.5. LES NOUVELLES TECHNIQUES DE MESURES

L'application de la méthode des dragages dirigés nécessite un grand nombre de mesures topographiques, bathymétriques, hydrauliques, sédimentologiques et autres. Afin de limiter la charge que cela représente pour la Régie des Voies Maritimes, le Laboratoire de Recherches hydrauliques a mis sur pied un programme d'études tendant d'une part à optimiser ces mesures et d'autre part à trouver des nouvelles méthodes, techniques et appareillages de mesures et d'analyse. Nous nous limiterons ici à deux exemples parlants : la méthode de mesure des débits «par intégration transversale» et la technique d'analyse de la granulométrie des sables par «tube de sédimentation à observation visuelle».

### 2.5.1. *Mesure des débits par intégration transversale*

La méthode appelée aussi «du bateau mobile» a été inventée aux États-Unis d'Amérique à la fin des années soixante. M. Rombouts qui avait participé en 1967 à la mission d'identification de notre étude avec MM. A. Sterling et J. Charlier, avait eu très tôt connaissance de cette méthode lors d'une mission d'expert en Extrême-Orient. Alors que le matériel développé aux États-Unis d'Amérique consistait en une sorte d'automate, peu adapté à une utilisation dans un pays tropical et de plus ne disposant pas des infrastructures nécessaires à la maintenance, le Laboratoire de Recherches hydrauliques en a imaginé une version simplifiée dont le prototype fut testé avec plus ou moins de succès lors de sa mission des basses eaux de 1969 (SMOOT 1967).

Sur proposition du Ministère des Travaux Publics, l'Administration Générale de la Coopération au Développement acheta un bateau de type catamaran, plus grand et plus stable que les «bateaux mobiles» utilisés par

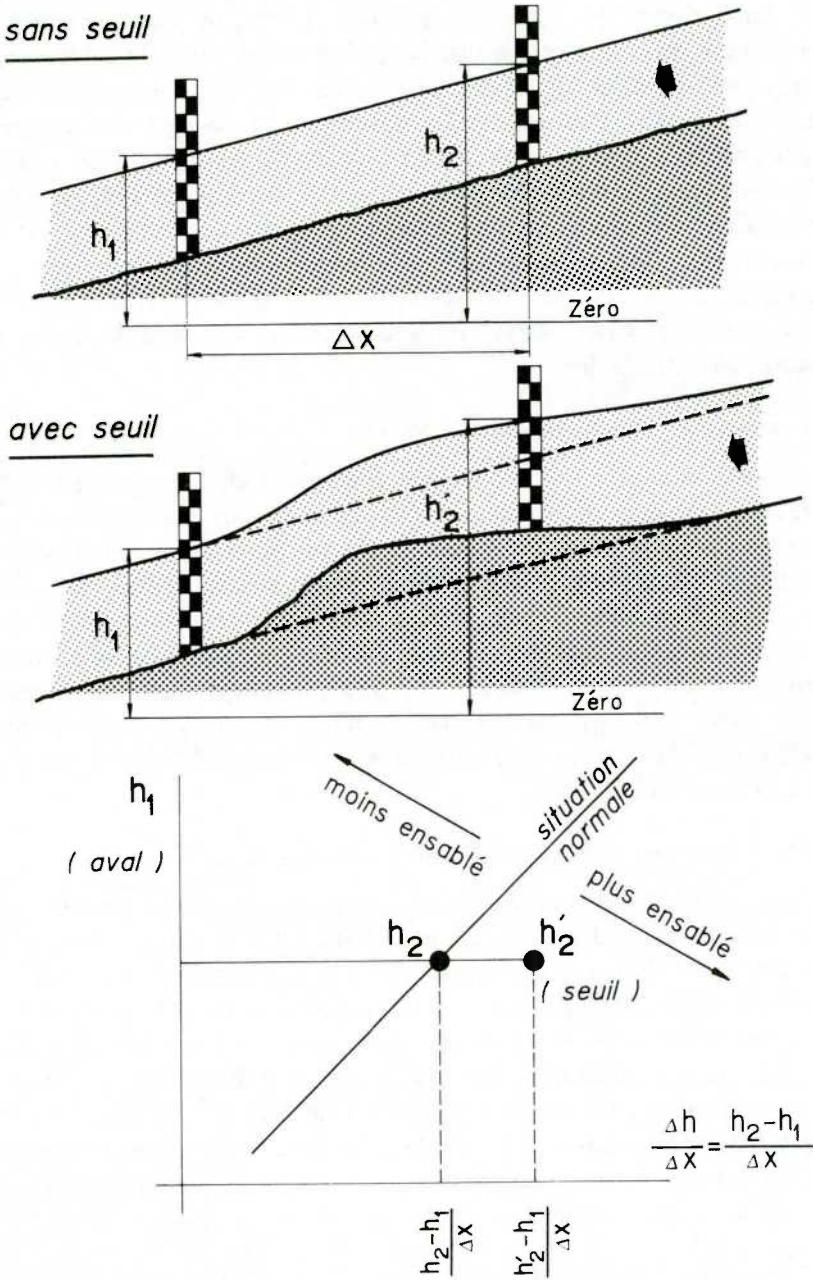


Fig. 22. — Méthode de prévisions des évolutions. — Loi des pentes. — Effet d'un seuil à un moment de la crue.

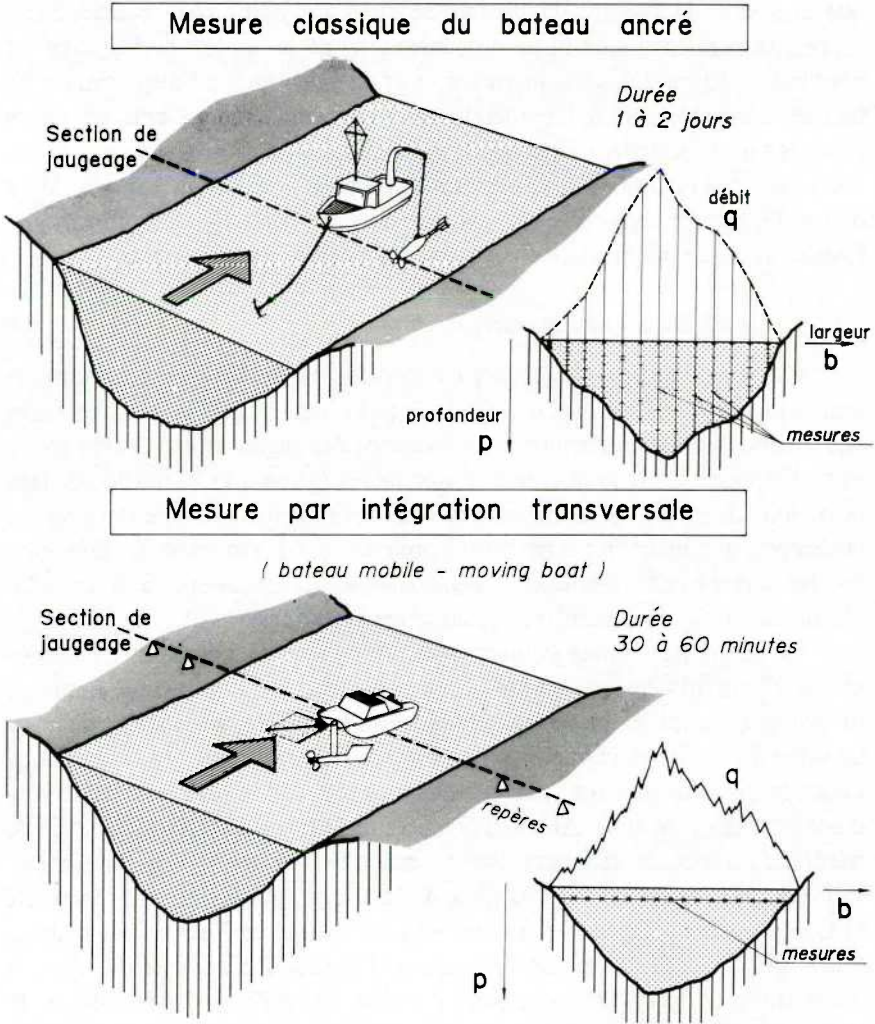


Fig. 23. — Méthode de prévisions des évolutions. — Nouvelles techniques de mesure. Débit liquide.



les équipes américaines. L'appareillage fut étudié et réalisé en tenant compte des contraintes locales et des conditions d'utilisation au Zaïre.

La différence entre la technique d'intégration transversale et la technique classique de mesure du champ de vitesse à partir d'un bateau ancré successivement dans une dizaine de positions de la section de jaugeage est décrite à la figure 23. Le gain en temps et en personnel est appréciable. La mesure d'une répartition des débits dans une quinzaine de bras du fleuve répartis sur une longueur d'environ cinquante kilomètres peut se faire en trois jours avec une équipe de cinq personnes. Le bateau prototype *Laboma* vient d'être déclassé et sera remplacé par une nouvelle unité qui sera fournie par l'Administration Générale de la Coopération au Développement.

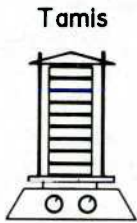
### 2.5.2. *Mesure de la granulométrie des sables*

La caractérisation des sables transportés par le fleuve est importante tant pour les études hydrographiques que pour le dragage. Or, des phénomènes hydrodynamiques complexes provoquent des ségrégations lors du transport. L'analyse de la granulométrie des sables formant le lit du fleuve dans la région divagante est donc intéressante pour mettre ces phénomènes en évidence. Par ailleurs, les échantillons prélevés lors des mesures de transports solides servent aussi à étudier ces mécanismes de transport où la granulométrie constitue un paramètre fondamental.

La technique utilisée couramment pour l'analyse granulométrique des sables d'une dimension variant entre 0,1 mm et 2 mm est le tamisage mécanique. Parmi les inconvénients de cette technique, relevons la quantité de sable nécessaire et la durée de l'opération. La petite taille des échantillons de sable prélevés lors des mesures de transport solide et le grand nombre d'échantillons à analyser nous ont amené à rechercher d'autres techniques de mesures. Le tube de sédimentation à observation visuelle (*visual accumulation tube*) fut inventé aux États-Unis d'Amérique dans les années cinquante (I.C.W.R. 1957). Testé avec succès au Laboratoire de Recherches hydrauliques sur des échantillons de l'estuaire de l'Escaut et de la mer du Nord, il a été utilisé de façon intensive pour l'analyse des milliers d'échantillons du Zaïre. En 1985, un appareillage adapté aux conditions de travail à la Régie des Voies Maritimes a été installé à Boma. Le temps d'analyse a été réduit d'un facteur dix par rapport au tamisage et même des échantillons minimes, de l'ordre du centimètre cube, peuvent être traités (fig. 24).

Ces deux exemples montrent comment il a été possible de créer ce transfert de technologie grâce à l'adaptation de nouvelles méthodes aux conditions techniques et économiques locales.

Mesure classique par tamisage



Durée  $\pm 1$  heure

Mesure par tube à sédimentation

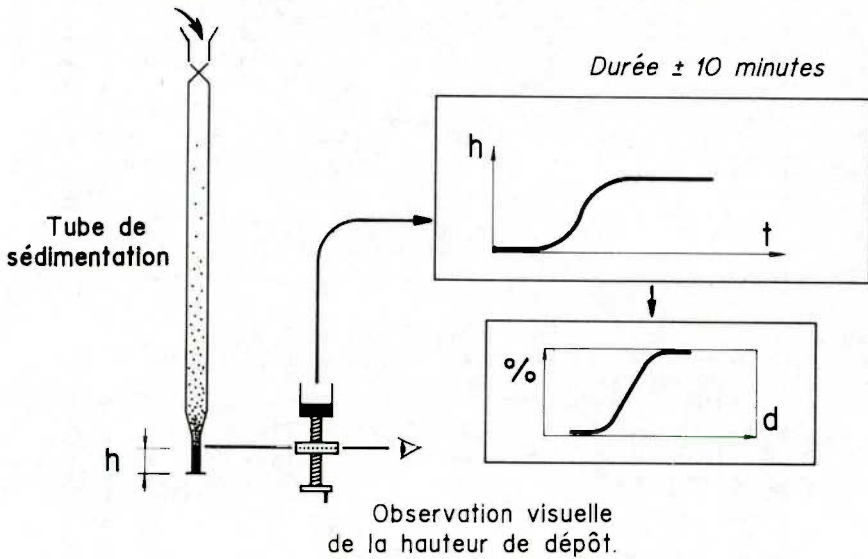
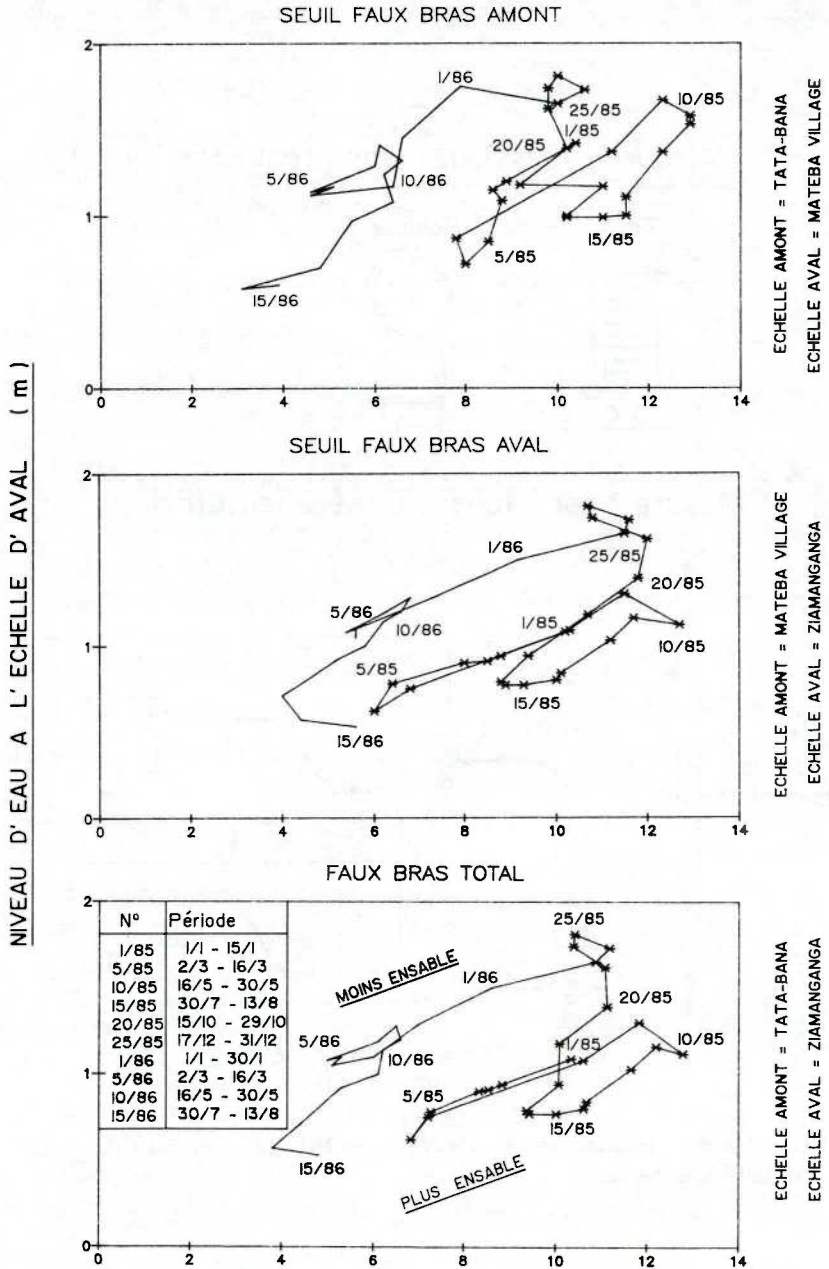


Fig. 24. — Méthode de prévisions des évolutions. — Nouvelles techniques de mesure. Granulométrie des sables.



( LOCALISATION DES ECHELLES : VOIR FIGURE 20 )

Fig. 25. — Pente mesurée entre les échelles «amont» et «aval». Loi des pentes appliquée au nouveau chenal de navigation présentant deux seuils (seuil Faux Bras Amont et seuil Faux Bras Aval). La loi des pentes est appliquée également à l'entièreté du chenal du Faux Bras (Faux Bras Total).



#### 4. Conclusions

Le présent exposé aura, je l'espère, fait entrevoir un aspect des efforts déployés par le Laboratoire de Recherches hydrauliques du Ministère des Travaux Publics dans le cadre du projet de l'Administration générale de la Coopération au Développement au profit de la Régie des Voies Maritimes du Zaïre.

La méthode des dragages dirigés et celle de prévisions des évolutions qui en constitue un élément important ont été constituées patiemment sur base de l'expérience des anciens, des observations et mesures sur le site, des analyses et études scientifiques menées en Belgique, que ce soit en bureau ou par modèles réduits ou mathématiques.

Après une première phase de recherche de 1967 à 1971 tendant à identifier les problèmes par des campagnes de mesures de terrain et des essais en modèles réduits, on aboutit, en 1975, à créer les bases d'une méthode des dragages dirigés, dont un outil important, la méthode de prévisions des évolutions a été testée et améliorée jusqu'en 1980. La période 1980 à 1985 a été consacrée à la formation dans ce domaine du personnel du Service des Études hydrographiques. Depuis 1985, l'accent de notre action s'est déplacé par la formation conjointe des Services d'Études hydrographiques et du Dragage dans la mise en œuvre de l'ensemble de la méthode des dragages dirigés. Méthode aux fondements expérimentaux, un travail permanent d'ajustement est nécessaire, d'où la nécessité de la formation des cadres et techniciens de la Direction d'Exploitation de la Régie des Voies Maritimes. L'outil développé devrait permettre à ceux-ci de résoudre de façon autonome les problèmes courants que posent l'entretien de la voie navigable, et cela dans des délais courts.

La solution de problèmes plus complexes d'hydraulique fluviale, telles la stabilité d'une passe à moyen ou long terme, l'influence d'ouvrages d'art (épis, digues ou autres constructions hydrauliques) et les causes des formations de certains bancs ou îles, ne peut se produire qu'en faisant appel à d'autres techniques tels les modèles, réduits ou mathématiques.

Malgré ses limites, la méthode des dragages dirigés constitue une solution originale au problème de la maintenance de l'accès maritime au Zaïre.

## BIBLIOGRAPHIE

- I.C.W.R. (Interagency Committee on Water Resources). 1957. The development and calibration of visual accumulation tube. Report No. 11.
- PETERS, J. J. 1971. La dynamique de la sédimentation de la région divagante du bief maritime du fleuve Congo. — Rapport Mateba 7 du Laboratoire de Recherches hydrauliques du Ministère des Travaux Publics de Belgique.
- PETERS, J. J., COEN, I. & ROOVERS, P. 1977. La méthode des dragages dirigés ; Applications. — Rapport Mateba 14. Étude de l'amélioration du bief maritime du fleuve Zaïre. Laboratoire de Recherches hydrauliques.
- PETERS, J. J. & STERLING, A. 1976. Méthode des dragages dirigés. — Rapport Mateba 12. Étude de l'amélioration du bief maritime du fleuve Zaïre. Laboratoire de Recherches hydrauliques.
- SMOOT, G. F. 1967. A technique for rapid measurement of flows in large streams. — International Conference on Water for Peace.

*Symposium*  
«L'Accès maritime au Zaïre»  
(Bruxelles, 5 décembre 1986)  
Académie royale des Sciences  
d'Outre-Mer  
pp. 111-132 (1988)

*Symposium*  
„De Maritieme Toegang tot Zaïre”  
(Brussel, 5 december 1986)  
Koninklijke Academie voor Overzeese  
Wetenschappen  
pp. 111-132 (1988)

## LES PROBLÈMES DU NAVIRE

PAR

A. LEDERER \*

129714

RÉSUMÉ. — Étant donné l'important débit du Zaïre, une nappe d'eau douce flotte sur l'eau de mer dans l'estuaire. Il en résulte une augmentation de tirant d'eau et un changement d'assiette. Le séjour du navire dans l'eau douce ralentit l'augmentation de rugosité, ce qui est favorable pour la résistance de frottement. Lorsque le navire pénètre dans la zone divaguante, même en réduisant la vitesse à 5 nœuds, son tirant d'eau augmente d'un pied environ et la résistance à l'avancement croît ; un diagramme dû à Schlichting permet d'en faire le calcul. Il faut également tenir compte de la vitesse du courant, notamment dans le «Chaudron d'Enfer» (actuellement Mbengo-mbengo). Étant donné la moins bonne manœuvrabilité en faible profondeur, les navires pénétrant dans l'estuaire du Zaïre doivent disposer d'un gouvernail profilé de superficie suffisante.

SAMENVATTING. — *De problemen van het schip.* — Gezien het grote debiet van de Zaïrestroom, drijft er in het estuarium een zoetwaterlaag op het zeewater. Dit heeft een verhoging van de diepgang tot gevolg en een verandering van de stuurlast. Het verblijven van het schip in het zoete water vertraagt de toename van de oneffenheid, wat gunstig is voor de wrijvingsweerstand. Wanneer het schip in het maritieme gedeelte komt, zelfs met de snelheid tot 5 knopen terug te brengen, verhoogt de diepgang met ongeveer één voet en ook de weerstand verhoogt ; een diagram van Schlichting laat toe dit te berekenen. Men moet eveneens rekening houden met de stroomsnelheid, namelijk in de «Chaudron d'Enfer» (nu Mbengo-Mbengo). Gezien de minder goede handelbaarheid in ondiep water, moeten de schepen die de riviermond van de Zaïre binnenvaren over een geprofileerd roer beschikken van voldoende afmeting.

SUMMARY. — *The problems of the ship.* — Given the important flow of the Zaire, a sheet of fresh water floats on sea water in the estuary, resulting in an increase in draught and a change in trim. The stay of a ship in fresh water slows down the increase in hull roughness, this improving friction resistance. When the ship enters the changing reach, even with a reduction in speed to 5 knots, its draught increases by about a foot and the resistance to the advance of the boat increases ; a diagram by Schlichting allows us to make this calculation.

\* Membre titulaire honoraire de l'Académie ; rue de la Tarentelle 15, B-1080 Bruxelles (Belgique).





The speed of the current must also be allowed for, especially in the "Chaudron d'Enfer" – Hell's Cauldron – (now Mbengo-mbengo). Given the reduction in manoeuvrability, ships entering the Zaire estuary must have a sufficiently large streamlined rudder.

## 1. Introduction

Le fleuve Zaïre n'est pas un fleuve comme les autres. Même des problèmes techniques simples se présentent souvent d'une façon particulière. Nous en examinerons quelques-uns rencontrés au Zaïre maritime.

## 2. Le débit et ses conséquences

Le bassin versant du Zaïre s'étend sur une superficie de 3 684 000 km<sup>2</sup> située à cheval sur l'Équateur. Il en résulte une pondération de régime sans égal dans le monde ; pour un débit annuel moyen de 39 000 m<sup>3</sup>/s, les débits extrêmes connus sont compris entre 23 000 m<sup>3</sup>/s à la décrue et 75 000 m<sup>3</sup>/s lors de la crue. Au cours d'une année moyenne, le débit reste compris entre 30 000 et 60 000 m<sup>3</sup>/s.

Cette régularité remarquable provient de ce que 1/3 du bassin versant est situé dans l'hémisphère nord et 2/3 dans l'hémisphère sud. En aval du confluent du Kasai et du Zaïre, les décrues des rivières d'un hémisphère sont tempérées par les crues de celles de l'autre hémisphère [1] \*.

Ceci résulte de la répartition des pluies dans l'année de part et d'autre de l'Équateur et est très bien illustré par le diagramme dressé par Emmanuel de Martonne (fig. 1) sur lequel les périodes pluviales de l'année sont hachurées. Sur une bande de 5° de large environ située de part et d'autre de l'Équateur, il pleut toute l'année, tandis que, plus au nord et plus au sud, on distingue une grande saison sèche et une petite saison sèche. Ainsi, grâce à sa situation, en aval de Kwamouth, le Zaïre est approvisionné en eau toute l'année, avec une petite crue en avril et une grande crue en décembre [2].

Le Zaïre maritime se divise en trois sections assez différentes :

- 1° De l'embouchure à la Pointe Écossaise (32 km), la section présente une grande profondeur et est bordée de criques ;
- 2° De la Pointe Écossaise à l'île des Princes (66 km), on rencontre une zone d'épanouissement avec des îles et des îlots sableux divaguant au gré des crues et des décrues ;

\* Les chiffres entre crochets [ ] renvoient aux références, pp. 131-132.

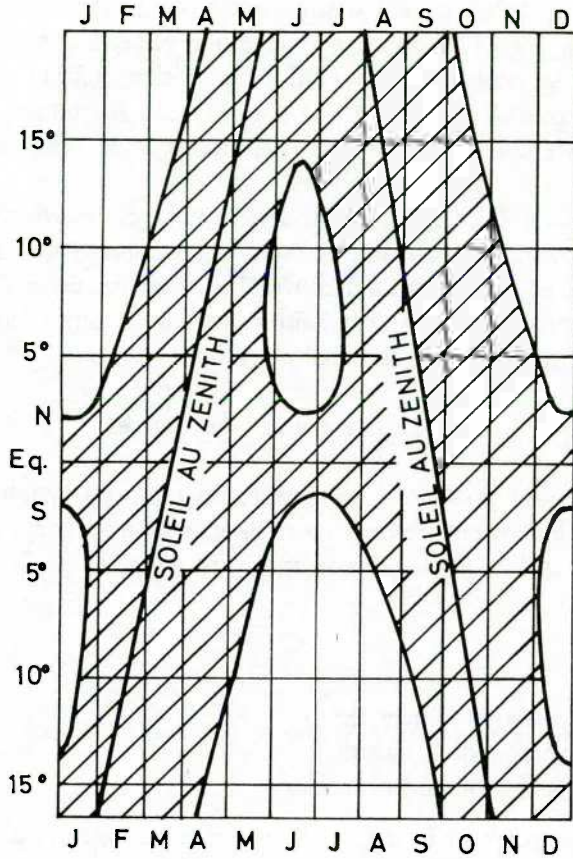


Fig. 1. — Répartition des pluies de part et d'autre de l'Équateur (les parties hachurées représentent les périodes pluvieuses). — D'après DE MARTONNE (1950).

3° De l'île des Princes à Matadi (50 km), le Zaïre s'est frayé un passage d'environ 1000 m de largeur au travers d'un sol rocheux ; des coudes brusques, dont celui du Chaudron d'Enfer, 3 km en aval de Matadi, provoquent des remous et des tourbillons violents [3].

L'amplitude de la marée, qui est de l'ordre de 1,50 m à Banana, ne vaut plus que 0,20 m environ à Boma, port situé à quelque 90 km de l'embouchure du Zaïre [4].

Étant donné l'étendue du bassin versant et son alimentation permanente, l'eau de mer, qui a un poids volumique de  $1,026 \text{ t/m}^3$ , ne pénètre pas dans l'estuaire, du moins en superficie. Dans la section en aval de la Pointe

Écossaise, une épaisse couche d'eau douce s'écoule vers la mer en flottant sur l'eau sous-jacente de poids volumique plus élevé. Les marées à Banana sont dues à la pénétration de l'eau de mer s'engouffrant dans la fosse d'origine tectonique qui s'étend loin dans l'Océan Atlantique ; une couche d'eau saumâtre due au mélange de l'eau douce et de l'eau de mer sépare celles-ci.

Le débit du Zaïre s'écoule loin dans l'Océan et c'est la présence d'eau saumâtre et d'eau douce au large du continent qui attira l'attention de Diego Cao en 1482 et le conduisit à découvrir l'embouchure de ce fleuve.

Un bateau se rendant vers le Zaïre pénètre donc dans l'eau douce avant même de se trouver dans son estuaire [5].

### 3. Le tirant d'eau des navires

En vertu du principe d'Archimède, on obtient l'équilibre lorsque le poids du volume d'eau déplacé, ou de la carène, d'un corps partiellement immergé est égal au poids de ce même corps. Donc :

$$P = \omega V_0 \quad (a)$$

avec :

$$\begin{aligned} P &= \text{poids du flotteur, en t ;} \\ V_0 &= \text{volume de la carène, en m}^3 \text{ ;} \\ \omega &= \text{poids volumique, en t/m}^3 \text{ .} \end{aligned}$$

On peut exprimer le volume de la carène en fonction des dimensions principales du navire, soit

$$V_0 = \delta LBT \quad (b)$$

avec

$$\begin{aligned} L &= \text{longueur entre perpendiculaires, en m ;} \\ B &= \text{largeur hors membrures, en m ;} \\ T &= \text{tirant d'eau, en m ;} \\ \delta &= \text{coefficient de remplissage du parallélépipède circonscrit, appelé} \\ &\quad \text{souvent coefficient de finesse.} \end{aligned}$$

Le poids volumique de l'eau de mer vaut 1,026, tandis que celui de l'eau douce ne vaut que 1,000. Donc, lorsqu'un navire de mer entre dans de l'eau douce, le volume de la carène augmente de

$$v = 0,026 V_0 \quad (c)$$



et le tirant d'eau passe de  $T$  à  $T'$ . En considérant la tranche de volume  $v$  comme un cylindre ayant pour directrice la flottaison, on peut écrire :

$$\tau = T' - T = \frac{0,026 V_0}{\alpha L B} = 0,026 \frac{\delta}{\alpha} T \quad (d)$$

$\alpha$  étant le coefficient de flottaison, ou coefficient de remplissage du rectangle circonscrit à la flottaison (fig. 2).

Dans un navire de commerce de formes normales,  $\alpha$  est supérieur à  $\delta$  ; on peut écrire que

$$\tau \approx 0,020 \text{ à } 0,024 T \quad (e)$$

Ceci veut dire qu'un navire de mer pénétrant dans de l'eau douce subit une augmentation de tirant d'eau de 2% à 2,4% environ [5].

#### 4. L'assiette des navires

Il existe une seconde condition d'équilibre du flotteur

$$\mathcal{M}(P, \omega V_0) = 0 \quad (f)$$

ce qui veut dire que le centre de carène, ou centre de gravité du volume d'eau déplacé, se trouve au droit du centre de gravité du navire. Généralement, le centre de gravité de la flottaison ne se trouve pas à l'aplomb du centre de carène. Dès lors, le navire s'incline longitudinalement pour rétablir cette condition d'équilibre lorsque, venant de la mer, il pénètre dans l'eau douce, ou *vice versa*.

On peut aisément calculer l'assiette du navire. On suppose d'abord que les flottaisons restent parallèles avant et après pénétration dans l'eau douce ; les flottaisons  $F_0 L_0$  et  $F'_0 L'_0$  sont donc parallèles et à une distance  $\tau$  l'une de l'autre (fig. 2).  $C_0$  est le centre de carène correspondant à la flottaison  $F_0 L_0$  et  $G$  le centre de gravité du navire, y compris son chargement ;  $C_0$  et  $G$  sont sur une même verticale pour la flottaison  $F_0 L_0$  et  $G$  ne change pas de position pendant l'enfoncement du navire.

Le centre de gravité  $g$  de la flottaison, donc du centre de carène de la tranche  $F_0 L_0 - F'_0 L'_0$ , se trouve généralement un peu en arrière du centre de carène délimité par la flottaison primitive  $F_0 L_0$ . On trouve la position longitudinale de  $C'_0$ , centre de carène correspondant à  $F'_0 L'_0$ , par l'équation

$$\omega V_0 l_0 + \omega v l_1 = \omega V'_0 l'_0 \quad (g)$$

$l_0$  = distance du centre de carène de  $V_0$  à la perpendiculaire arrière ;

$l_1$  = distance du centre de carène de  $v$  à la p.p. AR.

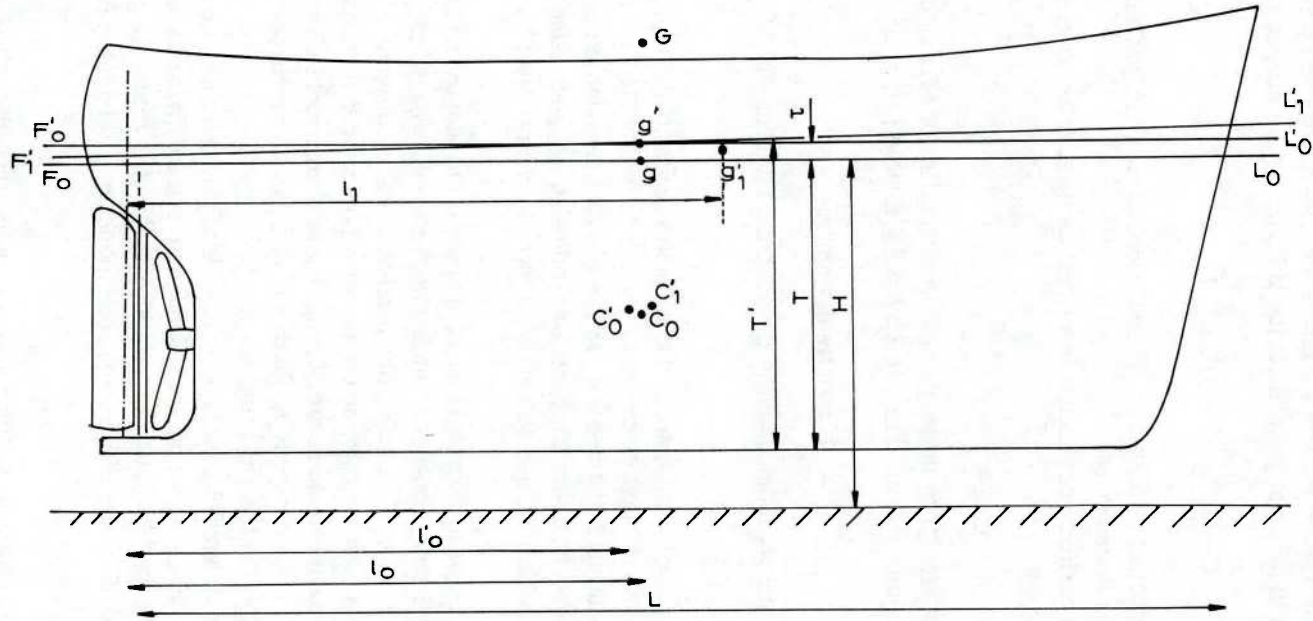


Fig. 2. — Carène du navire avec les positions de la flottaison.

$V'_0 = V_0 + v =$  volume de la carène limitée par  $F'_0 L'_0$ .

$l'_0 =$  distance du centre de carène de  $V'_0$  à la p.p. AR.

Le nouveau centre de carène  $C'_0$  se situera un peu en arrière de la verticale par G. Il existe donc un couple inclinant longitudinal qui vaut :

$$\mathcal{M} = \omega v (l_0 - l_1) \quad (h)$$

qui aura pour effet de déplacer le centre de carène au droit de G ; le navire s'inclinera vers l'avant et l'angle d'inclinaison est donné par la relation (i)

$$\text{tg } \Theta = \frac{\mathcal{M}}{P (R-a)} \quad (i)$$

$\mathcal{M} =$  couple inclinant longitudinal, en t.m ;

$R =$  rayon métacentrique longitudinal, en m ;

$a =$  hauteur du centre de gravité au-dessus du centre de carène, en m.

Le supplément d'enfoncement à l'avant vaut

$$\Delta T_{AV} = (L - l_1) \text{tg } \Theta \quad (j)$$

et la réduction d'enfoncement à l'arrière vaut :

$$\Delta T_{AR} = l_1 \text{tg } \Theta \quad (k)$$

ceci en vertu du théorème d'Euler suivant :

«Deux flottaisons isocarènes infiniment voisines se coupent selon une droite passant par le centre de gravité de chacune d'elles» [6].

La différence entre  $V_0$  et  $V'_0$  étant faible, on admet que g et g', centre de gravité des flottaisons  $F_0 L_0$  et  $F'_0 L'_0$  sont à même distance de la perpendiculaire arrière ;  $F'_1 L'_1$  et  $F'_0 L'_0$  se coupent donc selon une droite passant par g' et perpendiculaire au plan d'inclinaison du navire. Comme R est très grand et que le moment  $\mathcal{M}$  est modéré, l'angle  $\Theta$  est faible ; néanmoins, il existe, pour des formes normales, un léger supplément d'enfoncement à l'avant du navire [7].

## 5. Conséquences sur la résistance de frottement

Lors de la construction d'un navire, on veille à obtenir une coque aussi lisse que possible pour réduire la résistance de frottement. On sait en effet que la résistance totale d'un navire vaut :

$$R_t = R_f + R_r + R_a \quad (l)$$



dans laquelle

$R_f$  = résistance de frottement

$R_r$  = résistance résiduaire

$R_a$  = résistance des appendices de coque et résistance due aux superstructures dans l'air.

Or, dans un navire de commerce avançant à 15 nœuds environ, la résistance de frottement représente, *grosso modo*, les deux tiers de la résistance totale. La résistance de frottement se calcule d'après la formule (m)

$$R_f = f \Sigma v^{1,85} \quad (m)$$

dans laquelle

$R_f$  = résistance de frottement, en  $10^{-3}t$  ;

$f$  = coefficient de frottement ;

$\Sigma$  = Surface mouillée de la carène, en  $m^2$  ;

$v$  = vitesse en m/s.

Le coefficient de frottement  $f$  se rapporte à la carène entière du navire et diminue avec la longueur  $L$  selon une formule donnée par Le Besnerais ; en effet, l'eau n'étant pas un liquide parfait est entraînée par viscosité le long de la carène en une couche limite et, plus on s'écarte du bord d'attaque, plus l'épaisseur de cette couche limite est importante et plus faible est la vitesse des filets liquides le long de la carène par rapport à celle-ci.

Ce coefficient, pour une coque neuve et en bon état, vaut :

$$f = 0,1392 + \frac{0,258}{2,68 + L} \quad (n)$$

Ceci suppose que les tôles de la coque, avant mise en œuvre, aient été décalaminées et grenillées pour faire sauter l'oxyde de laminage, puis passivées au moyen d'un liquide à base d'acide phosphorique ou bien d'une couche de peinture au chromate de zinc, afin d'assurer une protection provisoire [8].

Malgré ces précautions, l'état de surface va en se dégradant dans le temps ; la rugosité de la surface au contact de l'eau de mer augmente progressivement. Des «mousses» et des balanes ou autres coquillages croissent sur la coque, augmentant ainsi la résistance de frottement. Cette augmentation comporte deux parties : la salissure et la détérioration.

La salissure est l'augmentation de résistance de frottement due aux excroissances qui ont poussé sur la coque. La détérioration est l'augmenta-

tion de résistance après carénage, lorsqu'on a fait sauter la rouille et toutes les excroissances ; elle a pour origine la déformation de la surface des tôles aux endroits qui étaient rouillés ou incrustés par les balanes [9].

Même à l'état neuf, une carène n'est pas lisse et LACKENBY (1962) a établi, en examinant 68 bateaux neufs, que la rugosité moyenne de la surface était de 190 microns. Chaque fois que la rugosité croît de 25 microns, la résistance totale augmente de 2,5% [10].

La figure 3, reprise à la magistrale étude du professeur Aertssen, est éloquent. En ordonnée, on porte le pourcentage d'augmentation de puissance pour le maintien de la vitesse de quatre navires par rapport à celle obtenue lors de leur mise en service ; en abscisse, on indique le nombre de jours d de sortie de dock depuis le dernier radoubage.

En fait, comme les formes n'ont pas changé, seule l'augmentation de la résistance de frottement est à l'origine de cette situation.

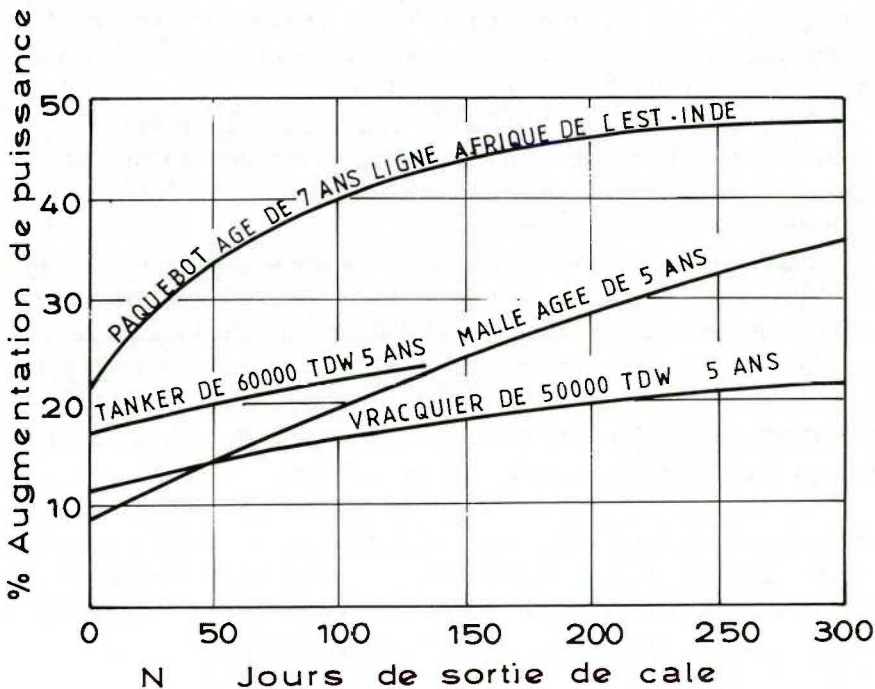


Fig. 3. — Diagramme dressé par AERTSSEN donnant l'augmentation de puissance pour le maintien de la vitesse de quatre navires.

En pourcentage, on traduit l'augmentation de la résistance de frottement par la formule :

$$\frac{100 \Delta R_f}{R_f} = \frac{a d}{b + d} + \frac{d_0}{c} \quad (o)$$

dans laquelle a, b, et c sont des coefficients,

$d_0$  = nombre de jours depuis la mise en service du navire

d = nombre de jours depuis le dernier radoubage.

Pour un navire, les coefficients a et b dépendent de la ligne desservie, de la saison et du nombre de jours au port par rapport au nombre de jours de navigation.

Le premier terme du second membre de l'équation (o) se rapporte aux balanes, aux végétaux et aux salissures de carène qui augmentent la rugosité de surface.

Le coefficient c représente la détérioration de la surface dans le temps ; ce coefficient dépend de la bonne préparation de la surface de la tôle et du soin apporté lors de la première application de la peinture anticorrosive. Les coefficients a, b et c, dépendent tous trois de la peinture antifouling utilisée et de sa bonne application sur la couche de fond.

Dans les mers chaudes, la rugosité augmente plus vite que dans les mers froides ou à climat tempéré ; de même, à l'arrêt, la rugosité croît plus vite que lorsque le navire navigue, car les conditions sont alors plus favorables à la croissance des «mousses» et balanes.

Les navires pénétrant dans l'estuaire du Zaïre se trouvent en situation privilégiée car, dans les eaux douces, les végétations et les barnacles dépérissent et la carène est en bonne partie débarrassée de micro-organismes ou, du moins, leur croissance est stoppée pendant la durée du séjour dans les eaux du Zaïre. A titre indicatif, nous donnons ci-dessous le tableau 1 publié par AERTSSEN (1968), indiquant les valeurs des coefficients a, b et c mesurés sur des navires appartenant à des armements belges.

On remarque de suite que les malles Ostende-Douvres, qui ont fait l'objet de soins plus particuliers pour le maintien de la vitesse dans le temps, ont un coefficient de détérioration deux fois plus élevé que les navires du commerce. Une raison particulière justifiant les soins spéciaux apportés aux malles, c'est leur vitesse élevée. Le tableau 1 se rapporte à des données de 1976.

Avec le second choc pétrolier, par économie d'énergie, la vitesse des navires du commerce a été réduite d'un nœud environ ; les coefficients a, b et c restent néanmoins valables.



Tableau 1

Coefficients de salissure et de détérioration

Navires	Vitesse nœuds	Long. L	Ligne	a	b	c
Tervaete	17	133,5	Inde-Afrique Est	44	70	90
Lubumbashi	15	136,0	Amérique-Afrique	22	185	80
Jordaens	16,5	146,2	Amérique-Afrique	21	180	100
Jadotville	16,5	156,0	Afrique Ouest-Anvers	20	190	130
Min. Seraing	16,0	218,0	Afrique Ouest-Anvers	20	250	110
Kon. Elisabeth	22,0	108,5	Ostende-Douvres	130	650	200
Narval	15,0	65,5	Afrique du Sud	140	320	100

Il y a lieu de noter la situation défavorable des navires de la ligne Dar-es-Salaam - Chittagong, deux ports dans des mers chaudes où le séjour est particulièrement long par suite de l'encombrement et du faible rendement des opérations portuaires ; ces conditions sont favorables à la croissance rapide des salissures.

On remarque également que les lignes Afrique-Amérique et surtout celles Afrique de l'Ouest-Anvers sont privilégiées.

En effet, même à l'époque de la Colonie, les navires se rendant à Matadi séjournaient une douzaine de jours dans l'eau douce du fleuve ; à l'heure actuelle, ce séjour peut durer trente jours, ce qui est très pernicieux pour les salissures de coque. Même à Anvers, les bateaux dont les opérations portuaires ont lieu dans les bassins, séjournent dans une eau saumâtre presque douce, car leur poids volumique atteint  $1,005 \text{ t/m}^3$ , alors que dans l'Escaut à Anvers, on a pratiquement 95% d'eau de mer, polluée par les déversements industriels.

La figure 4 reproduit également un diagramme repris à une étude d'AERTSSEN (1968) ; il se rapporte uniquement à la détérioration. En ordonnée, on porte l'augmentation de puissance en % nécessaire pour le maintien de la vitesse et, en abscisse, le nombre d'années de service. On remarque que la détérioration peut varier, notamment, selon les soins apportés à la construction et la ligne desservie [11].

Depuis la parution de l'excellente étude d'AERTSSEN, des progrès ont été accomplis en matière de peinture. En principe, la coque du navire est recouverte d'une ou plusieurs couches d'un revêtement anticorrosif, puis d'un antifouling. S'il s'agit d'un antifouling classique, on peut effectuer un brossage sous-marin qui permet de retarder au maximum de trois mois le carénage du navire car, après cette opération qui a nettoyé la coque, la croissance de la rugosité est plus rapide.

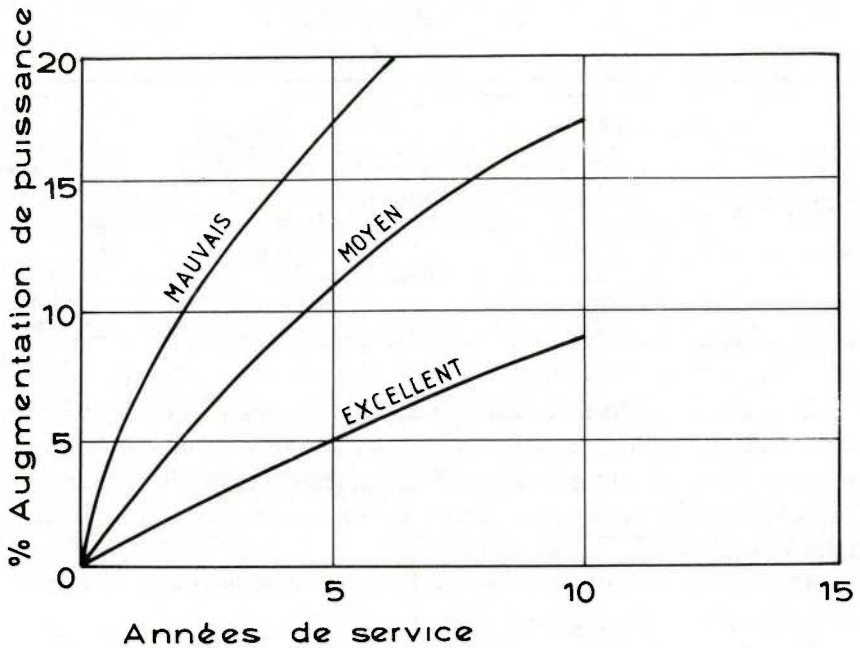


Fig. 4. — Courbes dressées par AERTSSEN relatives à la détérioration de surface des carènes.

Actuellement, on peut appliquer un revêtement du type autopolissant au-dessus des couches anticorrosives. Avec les peintures autopolissantes, la rugosité après application décroît légèrement, puis reste constante pendant une période appréciable. Lorsque l'action antifouling de la couche en contact avec l'eau de mer diminue, on peut effectuer un brossage sous-marin qui enlève la couche de salissures, régénérant ainsi l'antifouling et polissant la carène. On obtient un résultat proche des antifoulings autopolissants avec érosion mécanique au lieu d'érosion hydraulique.

Il existe des méthodes de calcul de la périodicité optimale des carénages à partir de l'augmentation de rugosité, mais ceci sort du cadre de ce propos [12].

## 6. Influence du mouillage réduit sur le tirant d'eau

Lorsqu'on pénètre dans l'estuaire du Zaïre, après 32 km de navigation en eau profonde, on aborde la zone divagante où le fleuve s'élargit et se divise en plusieurs bras plus ou moins stables ; cet élargissement se fait au détriment de la profondeur. A l'origine, dans un des bras, le mouillage naturel atteignait 14'. A force d'études et de dragages dirigés, les Belges ont porté quelque

temps le mouillage à 30', dans la passe de navigation, pour se stabiliser à 28', ou 8,50 m, minimum, toute l'année. Depuis la crue exceptionnelle de 1957, et surtout celle de 1961, les anciens chenaux de navigation ont été profondément modifiés. Alors qu'autrefois, le chenal de navigation côtoyait la rive de l'Angola, depuis ce bouleversement, le nouveau chenal a été dragué plus au nord et s'est fortement rapproché de la rive zaïroise. Cependant, on n'a plus jamais retrouvé le mouillage de 28' ; il oscille plutôt entre 24' et 26' [13].

On sait que lorsqu'un navire aborde la faible profondeur, la résistance à l'avancement croît et le tirant d'eau augmente ; ce dernier phénomène a été observé en 1904 au port de New-York ; on admit que lorsque le pied de pilote (H-T) valait environ 10% du tirant d'eau du bateau, l'enfoncement supplémentaire exprimé en pieds valait 1/5 de la vitesse du navire exprimée en nœuds ; si le pied de pilote valait 30% du tirant d'eau, l'augmentation du tirant d'eau en pieds valait 1/10 de la vitesse du navire en nœuds. Pour des pieds de pilote intermédiaires, on interpolait linéairement entre ces valeurs [14]. Ceci explique pourquoi, en faible mouillage, un navire doit réduire sa vitesse pour éviter de talonner, même si la profondeur des passes est supérieure au tirant d'eau.

Depuis, différentes formules ont été proposées par des auteurs comme T. Constantine, E. J. Van der Kaa, J. B. Schijf, E. O. Tuck, J. P. Hooft, O. Huuska et C. B. Barrass.

Toutes les formules proposées se rapportent au surenfoncement moyen de grands navires, c'est-à-dire, de pétroliers, cargos, transporteurs de vrac de 200 000 t.p.l. et davantage, ou de transporteurs de gaz naturel liquide de 125 000 m<sup>3</sup> et plus ou de porte-conteneurs d'au moins 250 m de longueur. Un groupe de travail trouva qu'il n'était guère possible de déterminer une règle générale pour définir le pied de pilote minimal dans les accès maritimes, ceci nécessitant des investigations détaillées sur des sites à bases comparables. Un groupe travaille actuellement à cette recherche.

Quoi qu'il en soit, nous avons appliqué la formule de Barrass simplifiée à un navire de la C.M.B. dont L = 153,12 m, B = 25,80 m, T = 7,32 m ou 24',  $\delta = 0,68$  et dont la superficie du maître couple  $\otimes$  vaut 183,20 m<sup>2</sup>. On a supposé que ce navire avance à une vitesse de 5 nœuds dans un chenal de section parabolique, A<sub>c</sub>, de 200 m de largeur et 7,93 m ou 26' de profondeur ; A<sub>c</sub> vaut alors 1057 m<sup>2</sup>.

La formule simplifiée de Barrass s'écrit :

$$Z = \frac{\delta}{30} \left( \frac{\otimes / A_c}{1 - \otimes / A_c} \right)^{2/3} V^{2,08}$$

où Z est donné en m et V en nœuds.



Pour une vitesse de 5 nœuds, on trouve que le surenfoncement  $Z$  vaut 0,227 m et, pour une vitesse de 6 nœuds,  $Z$  vaut 0,33 m, ce qui semble bien correspondre à la bonne pratique pour le Zaïre.

On admet que le surenfoncement croît proportionnellement à une puissance de la vitesse du navire voisine de 2 et qu'il augmente avec le confinement de la voie d'eau [15].

On sait que si un navire dépasse la vitesse critique correspondant à une profondeur  $H$ , la résistance à l'avancement décroît et la vitesse augmente, mais en pratique, jamais un navire de commerce n'atteint la vitesse critique.

$$v_c = \sqrt{g H}$$

formule dans laquelle

$v_c$  = vitesse critique, en m/s ;

$g$  = accélération de la pesanteur, en  $m/s^2$  ;

$H$  = profondeur d'eau, en m.

A l'approche de la vitesse critique, le navire est accompagné d'une vague perpendiculaire à la route de navigation qui absorbe une importante énergie ; cette vague déferle, d'où un effet destructeur puissant. Dans les chenaux de faible profondeur, il faut maintenir la vitesse de navigation suffisamment éloignée de la vitesse critique, sous peine de détruire les pirogues ou des équipements légers construits à la rive par les autochtones.

En pratique, les capitaines de la C.M.B. pénétrant dans des passes de 26' de profondeur avec un navire calant 24' réduisaient la vitesse à 5 nœuds. Ainsi, l'enfoncement du navire augmentait de 1' environ, évitant le talonnement de l'étambot ; en effet, en faible profondeur, le navire prend de l'assiette et la poupe s'enfonce davantage que la proue. Ces phénomènes résultent de la modification de l'écoulement potentiel autour de la carène. En grande profondeur, il est tridimensionnel, alors qu'en faible mouillage il se rapproche d'un écoulement bidimensionnel [16].

### 7. Influence du mouillage réduit sur la résistance à l'avancement

Lorsque le navire avance en mouillage réduit, pour une même vitesse, la résistance à l'avancement croît, et ce d'autant plus que la profondeur est faible.

Schlichting et Weinblum ont constaté que la résistance due aux vagues,  $R_v$ , en profondeur illimitée et en profondeur réduite restait la même lorsque

la longueur, la hauteur et la forme de la vague étaient identiques. Schlichting en a déduit qu'on pouvait établir la courbe de résistance d'un navire en profondeur réduite à partir de celle en profondeur illimitée.

Aussi, il a dressé un diagramme (fig. 5) qui sert à l'établissement de la réduction de vitesse et de l'augmentation de résistance à l'avancement en mouillage réduit. Le calcul s'effectue point par point, de la façon suivante.

En eau peu profonde, la vitesse de translation en m/s de l'onde, qui est égale à la vitesse du navire, vaut :

$$c' = \sqrt{\frac{g\lambda}{\pi} \operatorname{tgh} \frac{2\pi H}{\lambda}} \quad (p)$$

où

$\lambda$  = longueur de la vague, en m ;

$H$  = profondeur de l'eau, en m ;

$\operatorname{tgh}$  = tangente hyperbolique

Or, la vitesse de translation en m/s de l'onde de longueur  $\lambda$  en profondeur infinie est égale à

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{\pi}} \quad (q)$$

Il faut donc multiplier cette vitesse par la racine carrée de la tangente hyperbolique de l'expression  $2\pi H/\lambda$ .

Ci-dessous, le tableau 2 donne la valeur de cette expression en fonction de  $H/\lambda$ .

**Tableau 2**

Valeurs de  $\sqrt{\operatorname{tgh} \frac{2\pi H}{\lambda}}$  en fonction de  $H/\lambda$

$H/\lambda$	$\sqrt{\operatorname{tgh} \frac{2\pi H}{\lambda}}$	$H/\lambda$	$\sqrt{\operatorname{tgh} \frac{2\pi H}{\lambda}}$	$H/\lambda$	$\sqrt{\operatorname{tgh} \frac{2\pi H}{\lambda}}$
0	0	0,02	0,35	0,08	0,68
0,002	0,11	0,03	0,45	0,09	0,71
0,004	0,15	0,04	0,50	0,10	0,74
0,006	0,19	0,05	0,55	0,15	0,85
0,008	0,22	0,06	0,60	0,20	0,92
0,010	0,25	0,07	0,64	0,30	0,98

Pour  $H \gg \lambda/3$ ,  $c'$  et  $c$  sont pratiquement identiques et l'influence du manque de profondeur disparaît.

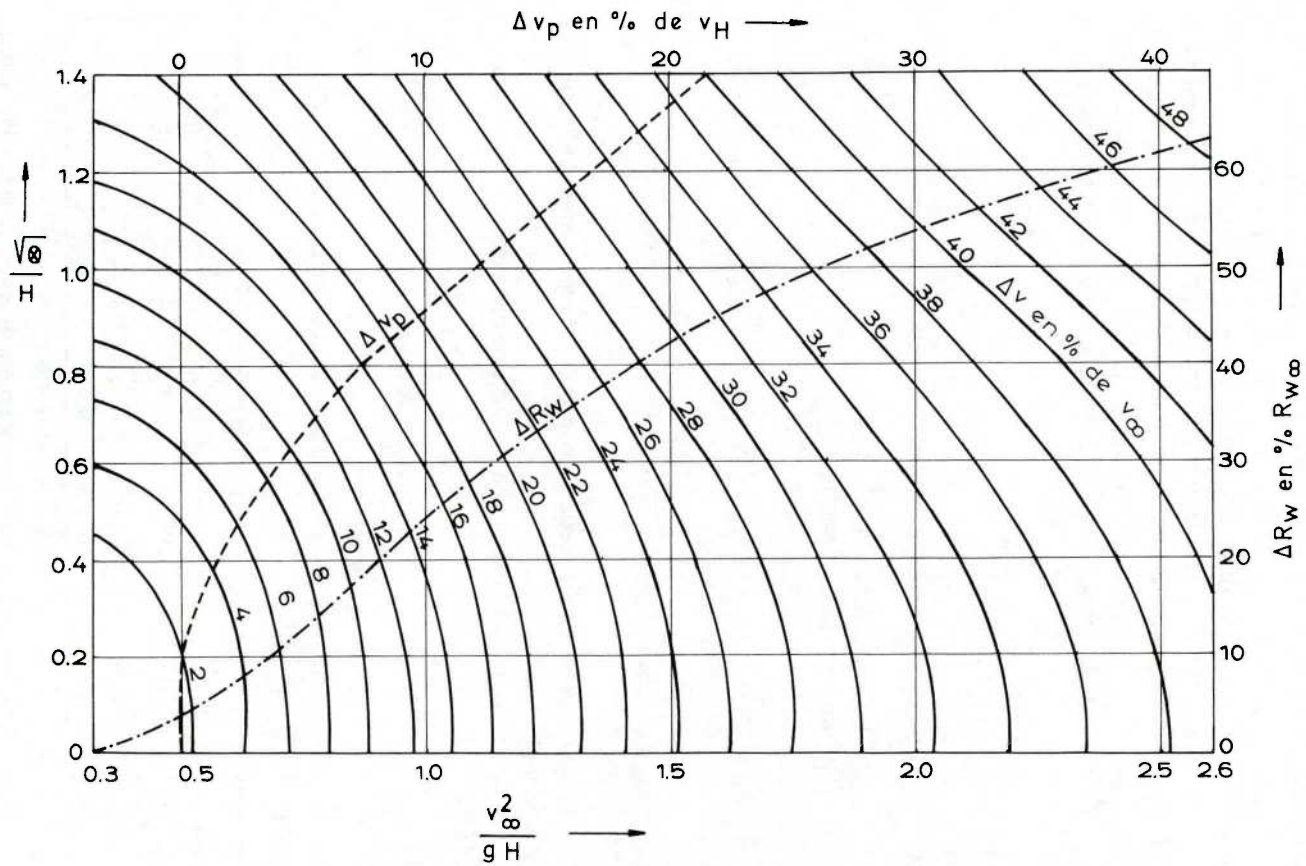


Fig. 5. — Diagramme de Schlichting.



Pour obtenir la réduction de vitesse totale  $\Delta v$ , il faut encore tenir compte de la réduction de vitesse  $\Delta v_p$  provenant de ce que l'écoulement le long du navire se rapproche d'un écoulement bidimensionnel au lieu d'être tridimensionnel.

$$\Delta v = \Delta c + \Delta v_p \quad (r)$$

Dans le diagramme de Schlichting, on peut trouver directement la valeur de  $\Delta v$ . En effet,  $\Delta v$  est fonction de  $v_\infty/g H$  (abscisse) et de  $\sqrt{\otimes}/H$  (ordonnée) ;

$$\otimes = \text{superficie du maître couple, en m}^2.$$

La valeur de ces deux coordonnées se trouve facilement et permet de lire sur le diagramme, au point correspondant, la valeur de  $\Delta v$  sur le réseau de courbes établi par Schlichting.

Il s'agit maintenant d'obtenir la résistance visqueuse  $R_w$  en profondeur réduite. La résistance visqueuse est supérieure à la résistance de frottement  $R_f$ , mettons de 20%, car elle comporte aussi la résistance due aux tourbillons derrière la carène, soit  $R_w = 1,20 R_f$ . En retranchant  $R_w$  de  $R_t$  pour le navire avançant en profondeur illimitée, on trouve  $R_v$ , la résistance due aux vagues. Or, celle-ci reste identique lorsque la forme, la longueur et la hauteur de la vague sont identiques, quelle que soit la profondeur d'eau. Il s'agit de déterminer  $\Delta R_w$  ; or,  $\Delta R_w = f(v_\infty^2/g H)$ . On connaît déjà la valeur de  $v_\infty^2/g H$  ; à partir de cette abscisse, on lit sur l'axe des ordonnées de droite, la valeur de  $\Delta R_w$  à partir de la courbe déterminée par Schlichting.

Ainsi, on peut établir la courbe de résistance totale en profondeur réduite par :

$$v_H = v_\infty - \Delta v \quad (s)$$

$$R_H \text{ tot} = (R_w - \Delta R_w) + R_v \quad (t)$$

en calculant plusieurs points de la courbe en profondeur réduite à partir de la correspondante en profondeur illimitée.

On constate que le diagramme de Schlichting permet de trouver directement  $\Delta v$ , sans qu'il soit nécessaire de calculer séparément  $\Delta c$  et  $\Delta v_p$  [17].

## 8. Influence du courant sur la marche du navire

Lorsque le navire pénètre dans l'estuaire, la vitesse d'avancement par rapport au sol n'est plus égale à sa vitesse par rapport à l'eau. En pénétrant

dans le fleuve, en admettant que le courant soit uniforme, la vitesse du navire par rapport au sol est égale à sa vitesse par rapport à l'eau, moins la vitesse du courant ; dans ce cas

$$v_a = v_n - v_c \quad (u)$$

$v_a$  = vitesse du navire par rapport au sol ;

$v_n$  = vitesse du navire par rapport à l'eau ;

$v_c$  = vitesse du courant,

les vitesses étant exprimées en une même unité.

Si le navire navigue en avalant, la vitesse par rapport au sol augmente selon

$$v_a = v_n + v_c \quad (v)$$

Ceci est vrai dans les zones du fleuve à très grande section, soit de l'embouchure à la Pointe Écossaise et de l'île des Princes à Matadi.

Dans la zone divagante, à faible mouillage, il est également vrai qu'il faut ajouter ou retrancher la vitesse du courant selon qu'on navigue vers l'aval ou vers l'amont, mais il faut en outre tenir compte de l'effet du courant sur le fonctionnement de l'hélice. En effet, dans le fond d'une passe à mouillage réduit, la vitesse du courant est plus faible qu'en surface ; il en résulte que, contre-courant, la vitesse de rotation du propulseur augmente, tandis qu'en naviguant avec le courant, elle diminue à cause de la différence de vitesse d'entrée des filets liquides dans l'hélice [18].

Le bateau avançant dans un milieu visqueux entraîne avec lui une carène liquide ; en grande profondeur, elle est la même à la montée et à la descente. En faible profondeur, on vient de le voir, la vitesse du navire par rapport au sol est plus grande à la descente qu'à la montée ; il en résulte qu'à la descente, la carène liquide entraînée par le navire augmente la vitesse des filets liquides par rapport au lit de la rivière, tandis qu'elle la réduit à la montée. La force de frottement des filets liquides au fond du fleuve est donc plus grande à la descente qu'à la montée. Ceci explique aussi pourquoi le propulseur, toutes les autres conditions étant égales, tourne plus vite à la montée qu'à la descente. En effet, le supplément de poussée que doit exercer l'hélice pour vaincre le frottement contre le lit de la rivière est moins grand à la montée qu'à la descente [19].

Il convient de prendre en considération encore deux autres facteurs : la pente superficielle du Zaïre et l'action du vent.

La pente superficielle dans l'estuaire est faible ; 6,5 cm/km entre Matadi et Boma, 4 cm/km entre Boma et au large de Banana.

Pour une pente superficielle de 1 m/km, on obtient un effort dirigé vers l'aval de 1 t pour 1000 t de déplacement du navire. Il en résulte que pour un navire déplaçant 20 000 t, à la montée entre Banana et Boma, il faut défalquer 0,8 t de poussée de l'hélice et entre Boma et Matadi, 1,3 t. A la descente, il faut ajouter respectivement 0,8 et 1,3 t à la poussée de l'hélice pour le même navire [20].

Venons-en à l'action du vent. Dans une bande de 12° de latitude à cheval sur l'Équateur, le vent souffle généralement de l'océan vers le centre du continent africain. Cette régularité est troublée dans une certaine mesure par la rotation de la terre. La régularité de ce phénomène provient de ce que la partie centrale du continent est chauffée intensément pendant le jour par le soleil. L'air des régions équatoriales, devenu plus chaud, diminue de poids volumique et s'élève dans l'atmosphère, provoquant ainsi un appel d'air frais venant des océans et dirigé vers le centre du continent, donc en sens opposé au courant des fleuves. Donc d'une façon générale, l'effet du vent sur les superstructures des navires est en sens opposé au courant et tend à compenser plus ou moins l'effet de la pente superficielle [21].

Ceci est valable en circonstances normales ; en cas de tornade, des vents violents de directions instables obligent le navigateur à user de prudence pour ne pas être drossé vers des rochers.

Il en va de même au Chaudron d'Enfer, 3 km en aval de Matadi. Là, le Zaïre s'écrase contre une falaise rocheuse qu'il quitte en faisant un angle de 90°. Ceci entraîne un grand tourbillon qu'il faut prendre à la montée dans le sens favorable, d'autant plus qu'à l'amont, le Zaïre y pénètre par un goulet qui ne mesure que 450 m de large où, aux hautes eaux, on a déjà mesuré des vitesses de courant de 18 km/h, soit près de 10 nœuds. Cette passe ne peut être franchie que par des navires naviguant au moins à 12 nœuds. Pour mémoire, rappelons qu'en 1956, le s/s *Capitaine Limbor*, dont la vitesse n'excédait pas 11 nœuds, fut refoulé vers l'aval et, ne pouvant franchir le Chaudron d'Enfer, il dut se résigner à décharger au port d'Ango-Ango. Ce port avait d'ailleurs été érigé en 1924 pour accueillir les navires, nombreux à l'époque, qui étaient refoulés, ce qui ne présentait pas un réel danger, car le Chaudron d'Enfer mesure environ 2 km de diamètre. Actuellement, la vitesse des navires atteint généralement 15 nœuds et ce problème ne se pose plus.

Toutefois, ce passage doit être abordé de façon à ce qu'à l'entrée du goulet le navire se présente avec sa barre au milieu, après avoir terminé son évolution assez tôt pour éviter les effets retardateurs, et rallier Matadi en naviguant en ligne droite [22].



### 9. La gouverne des navires

Dans les sections du Zaïre à grande profondeur, la gouverne ne pose pas de problème particulier, sauf au Chaudron d'Enfer ; en ce point singulier, le navire évolue dans des profondeurs de 50 à 110 m, au milieu de courants, de contre-courants et de tourbillons. Il est donc préférable de desservir ce fleuve avec des navires à une seule hélice, de façon à ce que le safran du gouvernail se trouve entièrement soumis aux filets d'eau les plus rapides à la sortie du propulseur. Pour rester maître de l'unité, on choisira, de préférence, une superficie de safran égale à au moins 2% de la section longitudinale de la carène. Afin d'obtenir une traînée réduite et une portance élevée, le gouvernail présentera un profil type Oertz, la largeur du profil valant environ 12% du diamètre de l'hélice. Afin de réduire le moment sur la mèche et la puissance de l'appareil à gouverner, le gouvernail sera compensé, la superficie située devant la mèche valant environ 30% de celle du safran. La puissance de l'appareil à gouverner sera suffisante pour faire passer le gouvernail de  $+ 35^\circ$  à  $- 35^\circ$  en 30 secondes.

Reste à examiner la gouverne dans la zone divagante. Là, deux conditions particulières exercent une influence : la faible profondeur et la vitesse réduite de navigation.

En faible profondeur, le navire gouverne moins bien qu'en eau illimitée. En effet, pendant la giration, l'eau doit pouvoir s'écouler d'un bord du navire vers l'autre en passant sous la coque. En faible profondeur, cet écoulement s'effectue beaucoup plus lentement et les manœuvres prennent plus de temps.

Comme la giration s'effectue à vitesse réduite dans un fleuve à courant, le navire risque de dériver par suite de courants traversiers et de s'échouer sur des bancs de sable. Aussi, il est conseillé de commencer la manœuvre de giration plus tôt que si l'on se trouvait en eau profonde et avec un angle d'abattement de gouvernail plus grand. Une étrave arrondie est également préférable, à ce point de vue, qu'une étrave pointue.

On pourrait aussi, pour faciliter la giration, adopter à l'avant une étrave relevée dans le genre de celle de Mayer. A mon avis, ce serait aller fort loin, car il ne faut pas oublier que la zone divagante ne représente que 66 km sur un voyage de plusieurs milliers de kilomètres [23].

### 10. Conclusions

Les navires de mer pénétrant dans l'estuaire du Zaïre doivent avant tout ne pas dépasser le tirant d'eau admissible dans la zone divagante. Pour

franchir le Chaudron d'Enfer, leur vitesse doit être supérieure à 12 nœuds et ils doivent posséder de bonnes qualités manœuvrières grâce à un gouvernail profilé, de surface suffisamment grande entraîné par un appareil à gouverner de puissance relativement élevée.

En fin de compte, tout bateau moderne de qualité peut convenir pour pénétrer dans l'estuaire du majestueux Zaïre, dont le réseau hydrographique donne vie à une grande portion du centre de l'Afrique.

### RÉFÉRENCES

- [1] ROBERT, M. 1942. Le Congo physique. — Bruxelles, pp. 168-169.
- [2] DE MARTONNE, E. 1950. Traité de géographie physique, Paris, 1, p. 196 ; VAN FRACHEN, Th. 1980. Contribution à l'étude de l'hydrologie de surface du bassin zaïrois ; les relevés des cotes hydrométriques des années 1971 à 1978. — Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles (document polycopié), pp. 6-24.
- [3] DEVROEY, E.-J. & VANDERLINDEN, R. 1951. Le Bas-Congo, artère vitale de notre colonie, Bruxelles, p. 27.
- [4] DEVROEY, E.-J. & VANDERLINDEN, R., *ibid.*, pp. 37-38 et pp. 48-49.
- [5] DEVROEY, E.-J. 1941. Le bassin hydrographique congolais, spécialement celui du bief maritime, *Mém. Inst. r. colon. belge*, Cl. des Sci. techn., 3 (fasc. 3), pp. 71-79.
- [6] LEDERER, A. 1963. Cours de théorie du navire, Leuven, pp. 23-24.
- [7] LEDERER, A., *op. cit.*, pp. 70-72.
- [8] LEDERER, A., *op. cit.*, p. 27.
- [9] AERTSSEN, G. 1968. Service, performance and trial at sea, Ceberena, Bruxelles.
- [10] LACKENBY, H. 1962. Ship performance and the effect of hull surface condition, corrosion, prevention and control. — Vol. 91, n° 8, s.l.
- [11] AERTSSEN, G., *op. cit.*
- [12] LE GUERN, B. ± 1980. Aspect économique du traitement des surfaces de carènes (document stencilé).
- [13] CHARLIER, J. 1968. Considération sur les évolutions de la région divagante du bief maritime du fleuve Congo. — *Bull. Séanc. Acad. r. Sci. Outre-Mer*, nouv. sér., 14 (2) : 527-544.
- [14] TAYLOR, D. W. 1943. Speed and power of ships, Washington, pp. 80-81 ; et renseignements dus au capitaine Barbizieu.
- [15] Le pied de pilote pour les grands navires dans les chenaux maritimes à fond dur. Rapport d'un groupe de travail du Comité technique permanent II, supplément au *Bulletin de l'Association internationale des Congrès de Navigation*, n° 51, 1985.

- [16] TAYLOR, D. W., *op. cit.*, pp. 80-81.
- [17] HENSCHKE, W. 1957. Schiffbautechnisches Handbuch, Berlin, 1, pp. 400-405 ;  
LEDERER, A. : Cours de théorie, pp. 261-264.
- [18] MADER, G. 1975. Beeinflussung der Propeller Drehzahl durch Strom. —  
Seewirtschaft, Berlin est, n° 9, pp. 536-538.
- [19] SAUNDERS, H. E., Hydrodynamics in ship design, New-York, vol. 1,  
pp. 274-276.
- [20] LEDERER, A., *op. cit.*, pp. 264-265.
- [21] ROBERT, M., *op. cit.*, pp. 205-223.
- [22] DEVROEY, E.-J. & VANDERLINDEN, R. : Le Bas-Congo, *op. cit.*, pp. 94-96.
- [23] SAUNDERS, H. G., *op. cit.*, p. 533.



*Symposium*  
«L'Accès maritime au Zaïre»  
(Bruxelles, 5 décembre 1986)  
Académie royale des Sciences  
d'Outre-Mer  
pp. 133-158 (1988)

*Symposium*  
„De Maritieme Toegang tot Zaïre”  
(Brussel, 5 december 1986)  
Koninklijke Academie voor Overzeese  
Wetenschappen  
pp. 133-158 (1988)

## CHOIX DES NAVIRES EN FONCTION DE LA NAVIGABILITÉ

PAR

J. VAN LEEUW \*

129715

**RÉSUMÉ.** — Le choix des caractéristiques d'un bateau dépend du contexte dans lequel ce bateau doit opérer. L'étude examine les contraintes à rencontrer. Il existe des contraintes d'ordre économique : certaines d'entre elles peuvent développer une coloration politique accentuée. Il existe des contraintes techniques imposées soit par la morphologie, soit par l'environnement hydraulique des ports à fréquenter. L'étude examine l'impact de ces contraintes sur la possibilité d'utilisation des différentes techniques maritimes dans les ports du bief maritime du Zaïre.

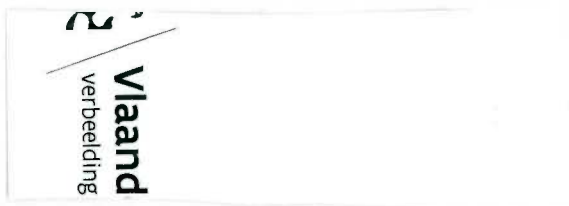
**SAMENVATTING.** — *Keuze van de schepen in functie van de bevaarbaarheid.* — De karakteristieken van de schepen worden in functie van hun operationele omgeving bepaald. De studie geeft een overzicht van de gestelde eisen waarmee rekening dient gehouden te worden. Er bestaan eisen van economische aard : af en toe zijn ze politiek getint. Er bestaan ook technische eisen die ofwel door de morfologie ofwel door de hydraulische eigenschappen van de havens opgelegd worden. De studie bespreekt de weerslag van deze eisen op de mogelijke toepassing van verschillende moderne en traditionele technieken in de havens van het maritieme gedeelte van de Zaïrestroom.

**SUMMARY.** — *Choice of ship characteristics as a function of navigability.* — The choice of the characteristics of a ship depends on the environment in which the boat is to operate. This paper reviews the constraints to be considered. There are economical constraints, some of which may develop a major political coloration. There are also technical constraints imposed by the morphology and the hydraulic features of the ports visited. The paper examines the impact of these constraints on the possible use of the new and traditional maritime techniques in the ports of the maritime part of the Zaire river.

### 1. Pourquoi Matadi ?

Les exposés qui précèdent permettent d'apprécier les difficultés auxquelles doit faire face la navigation maritime sur le Bas-Zaïre. Le problème

\* Membre de l'Académie ; Compagnie Maritime Belge, St Katelijnevest 61, B-2000 Antwerpen (Belgique).



des passes est un véritable problème pour les armateurs et il a toutes les chances de le rester dans les années qui viennent. On pourrait évidemment faire observer qu'un débit d'étiage de 25 000 m<sup>3</sup>/s représente une section transversale de 500 m de largeur sur 20 m de profondeur se déplaçant à une vitesse de courant de 2,5 m/s, soit 5 nœuds ! Le problème a donc une solution, mais cette solution n'est certainement pas pour demain.

Étant donné l'existence de ce problème, on peut se demander pourquoi le choix du site portuaire s'est porté sur Matadi, alors qu'un port en aval des passes aurait permis d'éviter toutes les difficultés. La réponse est évidente : le port a été choisi en fonction des critères essentiels au moment du choix. Ces critères étaient d'une part l'intérêt d'avancer aussi loin que possible à l'intérieur des terres le terminus de la navigation maritime. Tout km gagné sur le fleuve était un km de portage en moins. Le second critère était de se mettre sur la rive gauche du fleuve. De cette manière, il était possible d'atteindre Léopoldville et le bief du Moyen-Congo en restant constamment en territoire national. Chacun pensait déjà au chemin de fer de liaison dont Stanley avait proclamé l'absolue nécessité dès 1880. « Sans un chemin de fer, ce pays ne vaudrait pas un shilling » [1] \*.

A cette époque, d'ailleurs, le problème posé par les passes doit être relativisé en fonction du tirant d'eau des bateaux appelés à les fréquenter. Ces bateaux ont de 18' à 20' de tirant d'eau à pleine charge. Il y eut des échouages, comme celui du *Coomasie*, mais la plupart des accidents graves se produisirent en dehors des passes et sont dus aux bancs rocheux qui jalonnent le fleuve : Fetish Rock, Roches Diamant, etc.

Dans la mesure où s'imposait le choix de la rive gauche, l'option sur l'emplacement se limitait sensiblement. Le Congo n'y disposait que de quelques km utilisables, compris entre le poste frontière portugais de Noki et les premiers rapides de Kasi en amont du confluent de la Mpozo. Et cette longueur elle-même est coupée en deux secteurs par le coude brutal du Chaudron d'Enfer où tout accostage était évidemment impossible.

Il fallait donc choisir : en aval du Chaudron, sur le site d'Ango-Ango, ou en amont, sur le site de Matadi. Si le choix s'est porté sur Matadi, on peut penser que c'est en raison de considérations très voisines de celles qui ont entraîné l'adoption de la rive gauche : ne pas s'exposer de trop près aux susceptibilités portugaises à Noki et épargner quelques km supplémentaires de portage.

\* Les chiffres entre crochets [ ] renvoient aux notes et références, p. 158.

## 2. Le développement historique de la navigation sur le Zaïre Maritime

DEVROEY & VANDERLINDEN (1951), dans leur excellent ouvrage sur le Bas-Congo [2], ont rappelé avec beaucoup de détails les développements successifs de la navigation maritime sur le fleuve en amont de Banana. Il y a Matadi, et nous en reparlerons. Mais Matadi ne doit pas faire oublier les autres ports de l'estuaire. Ils ont joué, à un moment ou l'autre de l'histoire du pays, un rôle qu'il ne faut pas sous-estimer.

Banana est historiquement le premier port du Zaïre. On imagine difficilement les conditions dans lesquelles se faisait la manutention de certaines cargaisons à l'époque.

Boma, où s'installèrent dès le début du XIX<sup>e</sup> siècle un certain nombre de factoreries, fut la première capitale du Congo. Le désenclavement du Mayumbe, grâce au viaduc de Matadi, lui ouvre à plus ou moins long terme des perspectives nouvelles pour la desserte de l'hinterland zaïrois. Le port, au contraire de Matadi, se prête bien à la réception de navires rouliers.

La construction du port de Matadi restera dans l'histoire comme une des performances les plus remarquables des Belges au Zaïre. Les accostages sont, au vrai sens du mot, agrafés au versant de la vallée encaissée du fleuve. C'est à coups d'explosifs qu'ont été gagnés, sur la montagne et sur le fleuve, les terre-pleins indispensables au déploiement du port. Il a fait l'objet de critiques répétées, de condamnations sans appel en raison de ses difficultés d'accès. Il n'en a pas moins continué à jouir de l'appui et de la confiance de tous ceux qui savent que ce qui importe, ce n'est pas tant de voir «grand» que de voir «juste».

La série de schémas (fig. 1 à 3) permet de se rendre compte de ses développements successifs. Avant 1960, le trafic approchait les 2 000 000 t annuelles. Il est en train d'y revenir. Après avoir stagné au voisinage de 1 000 000 t/an durant une vingtaine d'années, le trafic est aujourd'hui en augmentation rapide. Il atteignait 1 150 000 t en 1982. On estime que l'on sera aux environs de 1 600 000 t en 1986. Pour tous ceux qui comprennent les impératifs de l'économie des transports, Matadi a son avenir devant lui. Son maintien en tant que port principal du Zaïre est aussi justifié en 1986 qu'en 1886. Tout parcours effectué par la voie maritime raccourcit d'autant le parcours à effectuer par un autre moyen de transport, dont le coût à la t km est toujours très nettement supérieur.

Il faut de plus mettre en doute l'opportunité de prendre dès maintenant et sans raisons valables des options irréversibles sur le site de Banana. Banana



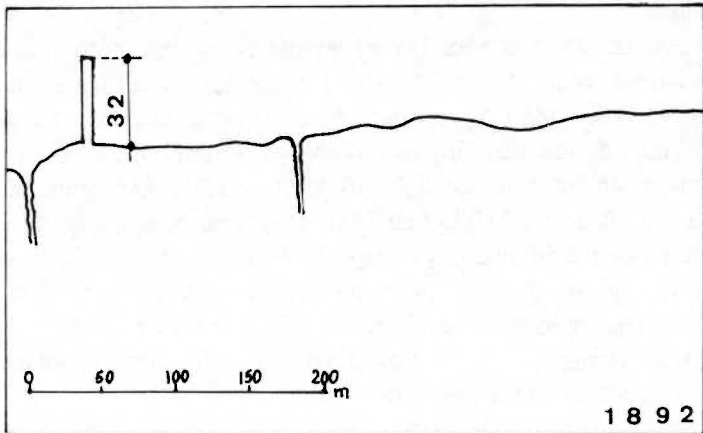
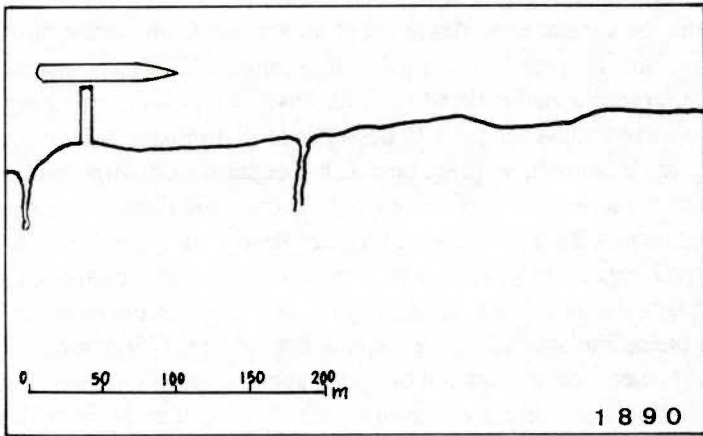
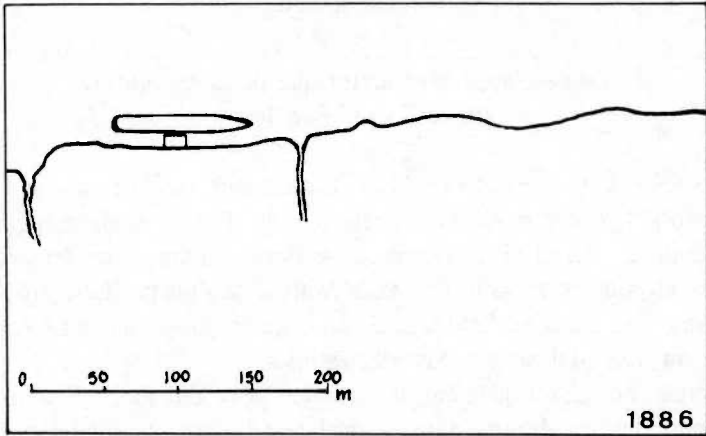


Fig. 1. — Développement du port de Matadi.

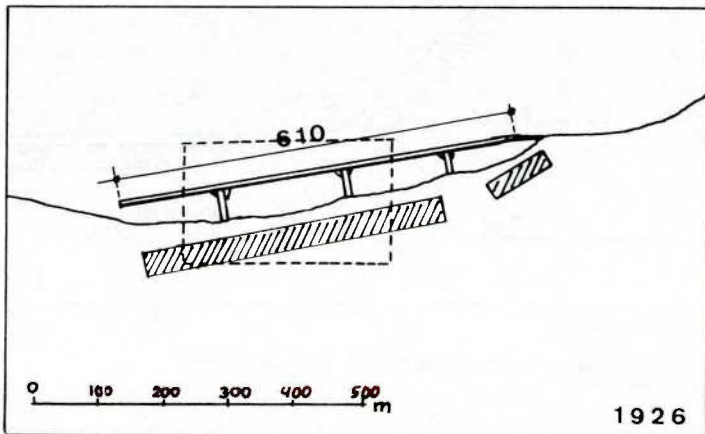
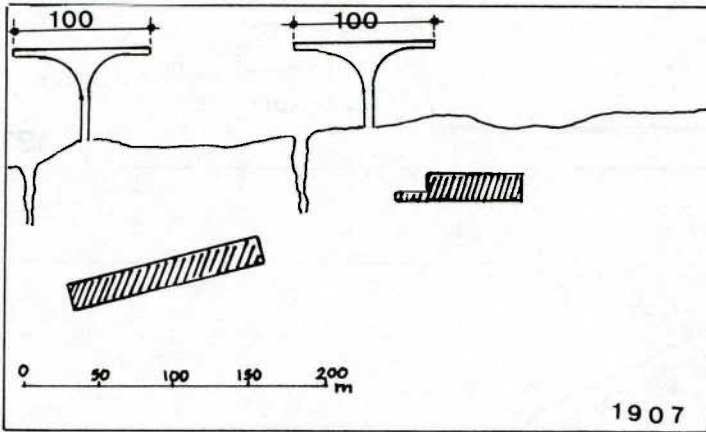
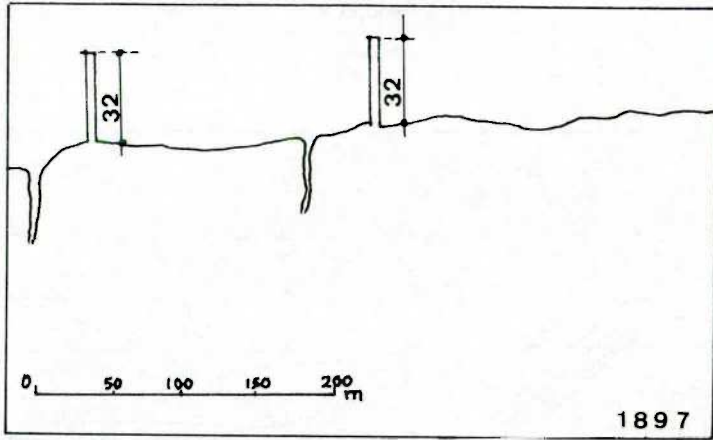


Fig. 2. — Développement du port de Matadi.

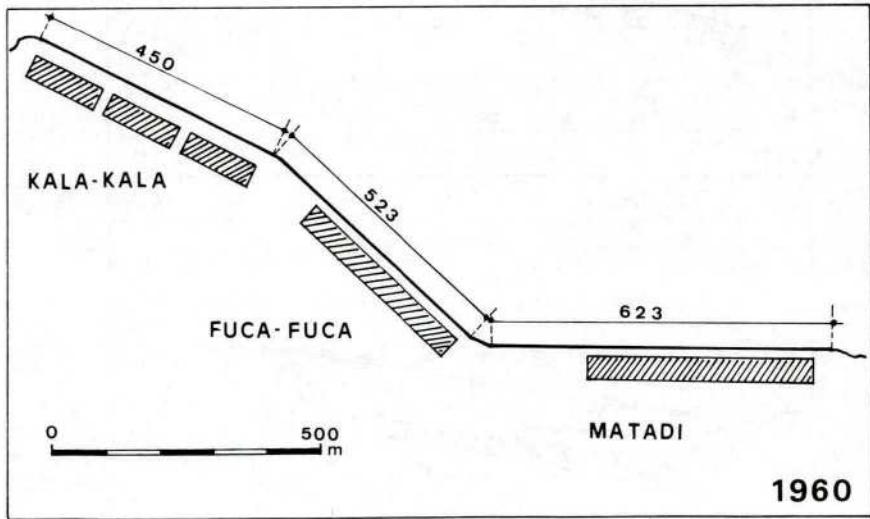
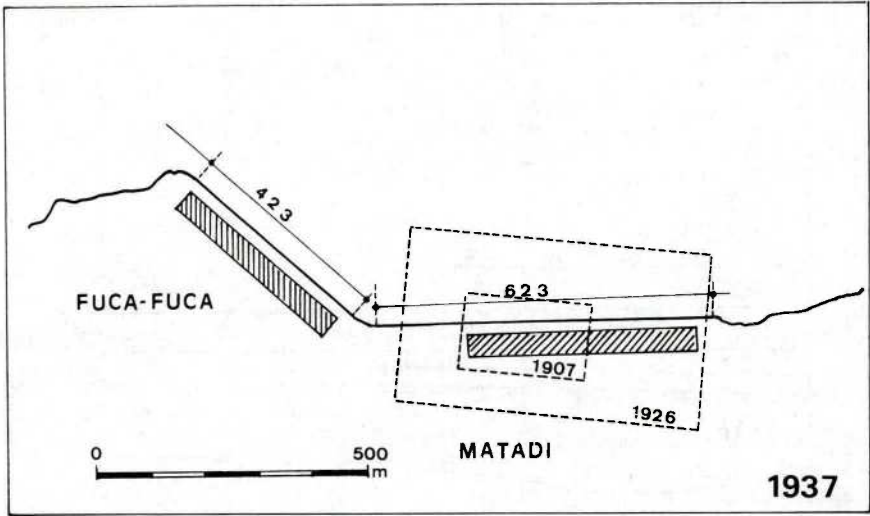


Fig. 3. - Développement du Port de Matadi.



est la grande réserve portuaire d'un pays de 2 350 000 km<sup>2</sup>. Il ne faut pas en disposer à la légère et prématurément.

### 3. Les bateaux

#### 3.1. CHOIX DES CARACTÉRISTIQUES DU BATEAU EN FONCTION DU TRAFIC À RENCONTRER

Il y a vingt-cinq ans encore, les paramètres dont se servait un armateur pour établir les caractéristiques principales des navires qu'il devait mettre en service étaient relativement simples.

D'un point de vue commercial, il y avait le tonnage à transporter et la fréquence minimale de desserte acceptable. On jouait sur les caractéristiques opérationnelles, tonnage et vitesse, pour déterminer la combinaison la plus avantageuse possible. La vitesse souhaitable n'était pas nécessairement la même pour tous les trafics. La valeur intrinsèque de la marchandise à transporter impose une limite au taux de fret qu'elle peut accepter, donc au coût propre du bateau. Par contre, la vitesse pouvait devenir un facteur de surenchères commerciales sur certaines destinations comme l'Amérique du Nord par exemple.

Une fois déterminés vitesse et tonnage, le reste était simple : nombre de cales, cales spécialisées (frigorifiques, ou à huile de palme, p. ex.), nombre d'entrepôts, capacité du gréement, tout dépendait du trafic, de la compatibilité réciproque des marchandises à charger et du nombre d'escales à assurer.

Il n'en va plus de même aujourd'hui. Développement technique et évolution politique ont, depuis 1960, fondamentalement altéré l'exercice des activités maritimes.

Les contraintes qui en résultent, jointes à celles qu'impose le contexte physique très particulier du fleuve Zaïre entraînent des restrictions considérables sur la liberté de choix de l'armateur.

#### 3.2. RESTRICTIONS SUR LA LIBERTÉ DE CHOIX.

##### 3.2.1. *Contraintes nouvelles d'ordre général s'exerçant sur les activités maritimes au plan mondial.*

Ces contraintes sont de deux ordres. On pourrait presque dire que les premières sont d'ordre interne à la profession, tandis que les autres lui sont imposées de l'extérieur.

Les contraintes d'ordre interne résultent des regroupements d'armateurs au sein de ce que l'on appelle aujourd'hui des «Consortiums». Les

contraintes extérieures résultent de l'existence et de l'application chaotique de ce que l'on appelle «Le Code de Conduite des Conférences Maritimes» élaboré par l'UNCTAD-CNUCED.

### 3.2.1.1. Les «Consortiums»

Les regroupements d'armateurs sont la conséquence immédiate de la mise en œuvre des techniques maritimes nouvelles :

- Navires porte-containers ;
- Navires rouliers (les Ro-Ro) ;
- Les porte-allèges (Lash, Seabee, Bacat, etc.) ;
- Les barges océaniques (tirées ou poussées) ;
- etc.

Les bateaux qui ressortent de ces techniques ont une capacité annuelle de transport nettement plus grande que leurs prédécesseurs classiques. Cela provient de l'accélération sensible des opérations en port, à laquelle s'ajoutent souvent une capacité supérieure de chargement et une augmentation de la vitesse en mer. Ces navires ont, en quelque sorte, poussé l'offre de transport au-delà de la demande. Ils ne peuvent plus être remplis avec le trafic propre à chaque armateur, sauf en espaçant la cadence jusqu'à la rendre inacceptable. D'où entente entre les armateurs autrefois concurrents pour aménager la desserte. Ils mettent leurs volumes respectifs de trafic dans un pot commun, et chacun d'eux successivement présente son ou ses navires pour le charger. De cette manière on sauve la régularité des escales et la rentabilité des navires.

La mise sur pied d'un service combiné de ce genre exige, de la part des participants, un accord sur le type et les caractéristiques des navires mis en ligne. C'est ici que les difficultés peuvent surgir, l'appréciation des armateurs ne concordant pas nécessairement sur la valeur de chacune des techniques possibles. Certains devront dans ce cas renoncer à adopter une technique qui a leur préférence personnelle pour permettre l'harmonisation du service.

### 3.2.1.2. Le Code de Conduite de l'UNCTAD-CNUCED

Le Code est une convention internationale rédigée et mise en application sous l'égide de la CNUCED. Il est le fruit d'après discussions entre pays développés et pays en développement. Il précise les règles suivant lesquelles le volume du trafic maritime confèrentiel à transporter est partagé entre tous les intéressés, un peu comme on partage un gâteau ou un bol de riz. Pour

tout trafic bilatéral, le Code reconnaît 40% du volume à chacun des deux partenaires et 20% aux tiers. Le but avoué du Code était de briser ce que les pays en voie de développement (PVD) appelaient le «monopole» des pays développés en matière de transport maritime et de mettre fin aux abus de tarification qui en auraient résulté.

Force est bien de constater en 1986 que le Code est davantage un motif de frustration qu'une source de satisfactions, et cela pour les PVD comme pour les autres. La plupart des PVD qui se sont lancés dans l'aventure maritime y ont englouti sans retour leurs illusions... et des ressources qui auraient pu s'employer plus utilement ailleurs. Ces pays n'avaient trop souvent ni l'expertise technique, ni la rigueur de gestion indispensable à ce genre d'activité.

Par ailleurs, le partage des trafics selon les règles de la CNUCED n'a pas toujours conduit à l'adoption de la formule technique la plus favorable. Le PVD pouvait ne pas être en mesure de consentir à la sophistication technique ou au niveau des investissements requis. Il s'agit là d'une nouvelle contrainte qui pèse de tout son poids sur le choix à faire.

### 3.2.1.3. Influence de ces contraintes au Zaïre

C'est avec un souci primordial d'efficacité et de pragmatisme que les responsables zaïrois se sont toujours attachés à faire face à ces problèmes. Du côté des principes, le pays s'est efforcé d'appliquer les dispositions du Code de Conduite. Ceci est particulièrement vrai en ce qui regarde les relations maritimes bilatérales avec la Belgique.

Pour ce qui est des techniques maritimes nouvelles, le Zaïre a été un des premiers, si pas le premier avec la Côte d'Ivoire, à comprendre l'intérêt du container et en faciliter la promotion. Tant à la CMZ qu'à l'ONATRA, la containerisation a été considérée, dès le début, comme une chance à saisir. En 1969 déjà étaient effectuées les premières études prospectives de la containerisation. Dès ce moment, les containers commençaient à se pointer à Matadi. Le 2 juillet 1971, le paquebot *Lumumba* de la CMZ débarquait à Matadi le premier container frigorifique de 40' arrivé au pays. Et il n'est plus besoin de rappeler l'inauguration en 1980 du célèbre Terminal Containers Kinshasa (T.C.K.), le plus grand terminal intérieur de toute l'Afrique noire.

Le trafic container du port de Matadi est en augmentation très rapide, lui aussi. Plus de 37 000 TEU en 1985, avec près de 350 000 t de chargement, ce qui représente près de 25% du trafic total du port.



### 3.2.2. *Contraintes particulières dues au contexte physique du fleuve Zaïre*

#### 3.2.2.1. Incidence de la profondeur des passes

A. Lederer a signalé l'intérêt qu'il y avait à augmenter le tirant d'eau des navires appelés à desservir le fleuve. Pour un cargo conventionnel moderne, un pied de plus en tirant d'eau, c'est 800 t de chargement en plus. En fonction des taux de fret, cela peut représenter facilement plusieurs dizaines de milliers de \$ de fret supplémentaire et cela dans les deux sens. Cette préoccupation est d'ailleurs une constante de la navigation sur le Zaïre. En 1937 déjà, Egide Devroey avait fait observer qu'un pied supplémentaire représentait pour les navires de l'époque, un supplément de fret de près de 100 000 F/voyage.

#### 3.2.2.2. Le Chaudron d'Enfer

Avant d'accoster à Matadi, les navires doivent franchir le Chaudron d'Enfer (aujourd'hui Mbengo-Mbengo). Ce n'est plus un problème pour les navires de 1980, mais il n'en était pas de même autrefois. Aux hautes eaux, la vitesse du courant peut y atteindre et même dépasser 18 km/h [3].

A plusieurs reprises, des «Empire-ships» et «Liberty-ships» de la CMB, donnant toute leur puissance et capables de 11 nœuds (plus de 20 km/h), ne parvinrent pas à forcer le passage jusqu'à Matadi, et cela malgré plusieurs tentatives successives. Ils durent aller mouiller à Ango-Ango et y attendre quelques jours. En 1961, lors de la grande crue, certains rapports ont fait état d'une vitesse de courant de 12 nœuds dans le Chaudron.

Les instructions officielles datant de 1960 [4], précisent d'autre part ce qui suit : «Le balisage, tel qu'il est réalisé, permet la navigation tant de nuit que de jour à des navires dont la longueur n'excède pas 170 m correspondant à 559'». On retrouve l'indication de la limite de longueur dans toutes les publications ultérieures [5]. En pratique, toutefois, cette limitation n'est plus effective, et cela ne semble pas faire problème. C'est ainsi que le porte-containers français *Nathalie Delmas* de 189 m de long (621') a fait escale sans problème dans le port.

#### 3.2.2.3. Les variations de niveau du plan d'eau

L'ampleur et la récurrence saisonnière des crues représentent une contrainte supplémentaire pour la desserte maritime du pays. Les fluctuations du niveau de l'eau le long des quais de Matadi suivent un cycle annuel (fig. 4). L'ampleur en est variable mais elle atteint en moyenne 5,70 m chaque année. Entre la cote maximale jamais atteinte de + 0,18 par rapport

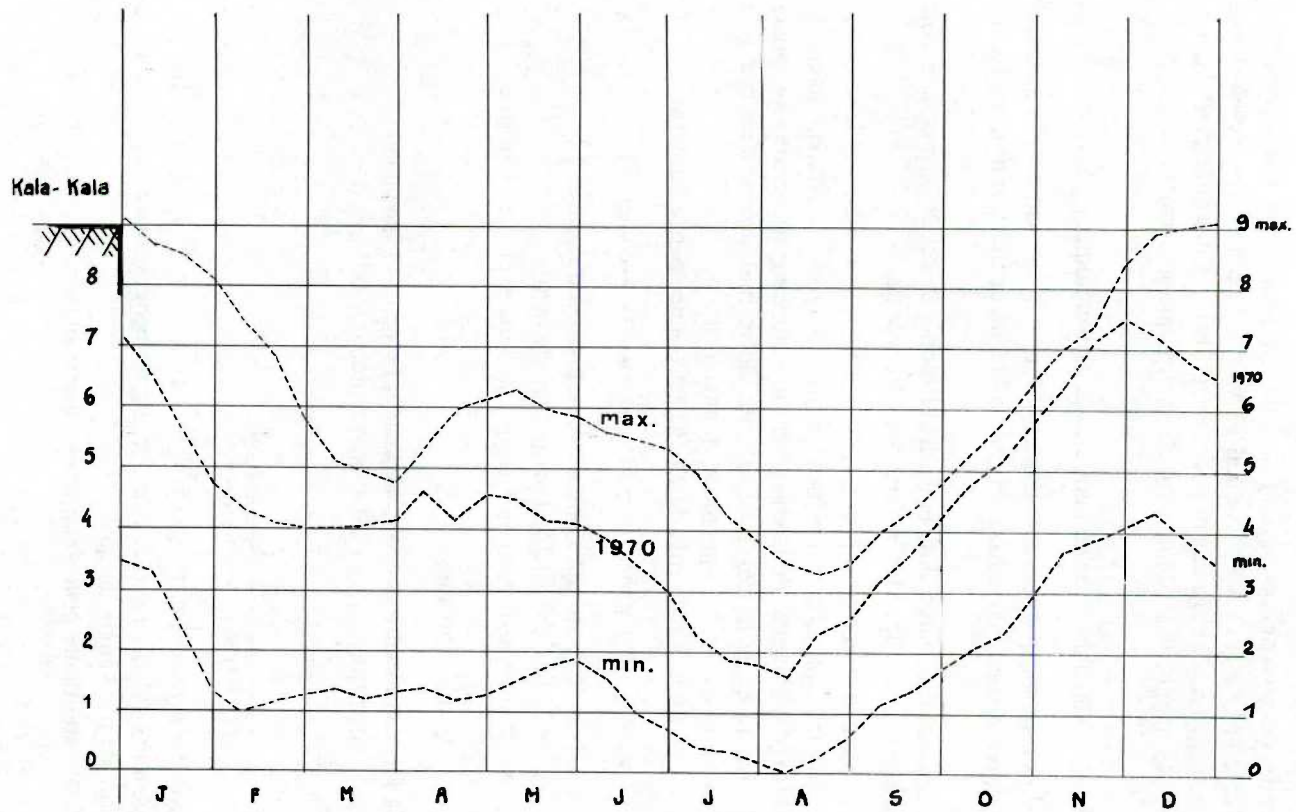


Fig. 4. — Fluctuations du niveau du fleuve à Matadi. Courbes enveloppées et courbe-type (1970).

au quai en 1961 et la cote minimale de - 9,00 m en 1915, il y a 9,18 m. La nécessité de couvrir ces variations, tout en maintenant une profondeur suffisante aux basses eaux a conduit à des murs de quai très élevés et très coûteux. Il en résulte également pour certains bateaux des difficultés d'accostage et de manutention dont nous allons dire quelques mots.

### 3.2.2.3.1. Difficultés pour certains cargos conventionnels

Les cargos conventionnels d'avant 40, et ceux qui suivirent immédiatement après la guerre connaissaient des problèmes de manutention aux basses eaux.

Le mât de charge doit pouvoir au moins desservir la première voie ferrée sur le quai (fig. 5). Ceci impose deux contraintes :

- 1) Le mât doit déborder suffisamment pour pouvoir surplomber la voie (a) ;
- 2) Il doit la surplomber d'une hauteur (h) telle qu'elle couvre la hauteur du palan, des élingues, de la charge et du wagon, augmentée des tolérances de travail et de la marge de sécurité indispensable pour faire face à la bande prise lors des opérations de manutention.

La longueur du mât de charge est donnée par la formule :

$$l = \sqrt{(a + b + d)^2 + (h + x - f)^2} \text{ (voir fig. 5)}$$

où a, b, d et f sont des constantes du port ou du bateau

x est le niveau variable sous le plan du quai

h est la hauteur minimale requise comme expliqué ci-dessus.

On peut conclure :

- 1) la formule montre que si x augmente, l augmente également ;
- 2) que l'augmentation de l est moins rapide que celle de x en effet :

$$\frac{dl}{dx} = \frac{h + x - f}{\sqrt{(a + b + d)^2 + (h + x - f)^2}}$$

comme  $h + x - f$  est  $< \sqrt{(a + b + d)^2 + (h + x - f)^2}$  on conclut  $dl < dx$  ;

- 3) qu'une contrainte supplémentaire existe théoriquement sur h : la saillie formée par l'angle du quai.

Cette contrainte peut s'exprimer comme suit :

$$\frac{h}{a} > \frac{x - f}{b + d} \text{ c.-à-d. } h > \frac{a(x - f)}{b + d}$$



Pour les valeurs normales de  $a$ ,  $b$ ,  $d$  et  $f$  et pour des  $x$  même sensiblement supérieurs à ceux de Matadi, la valeur de  $h$  résultant de cette contrainte est très nettement inférieure à celle qui résulte des contraintes opérationnelles. On peut donc n'en tenir aucun compte.

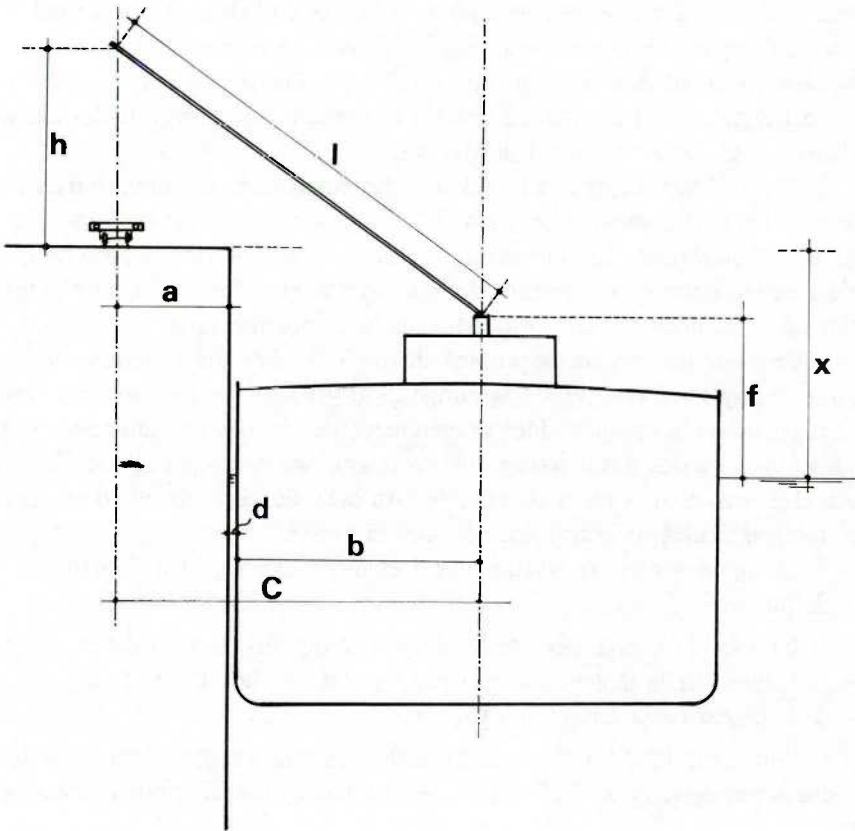


Fig. 5. — Longueur du mât de charge.

### 3.2.2.3.2. Difficultés pour les navires rouliers

Le chargement et le déchargement de ces navires s'effectuent par roulage à bord, au moyen d'une rampe d'accès. Dans les ports où tout le trafic est axé sur cette formule, existent des passerelles qui font partie de

l'infrastructure portuaire. Dans les autres ports, dont Matadi, le navire doit être muni de sa propre rampe.

Ces rampes sont disposées à l'arrière du navire. Leur fixation par charnières permet de les abaisser ou de les relever. En mer, elles sont dressées en chandelle et maintenues dans cette position au moyen d'un système de verrouillage adéquat. En service, leur extrémité repose soit sur le quai, soit sur une passerelle, assurant ainsi l'accès du bateau au trafic roulier.

A l'origine, les rampes sont alignées dans l'axe du navire. Pour pouvoir les déployer il faut disposer d'un quai ou d'une saillie de quai perpendiculaire à l'accostage. Là où le marnage devient important, il faut prévoir des plans inclinés, fixes ou articulés suivant les cas.

C'est à MacGregor que l'on doit le développement des rampes d'accès orientables latéralement. Ceci permet la réception de navires rouliers à des quais conventionnels. La surlongueur exigée pour le déploiement de la rampe n'est qu'un inconvénient mineur. Le quai, par contre, reste un quai d'usage général et ne nécessite aucun investissement complémentaire.

Ce sont les exigences propres du trafic roulier qui déterminent les caractéristiques techniques de la rampe. Son gradient ne peut excéder une certaine valeur sans augmenter exagérément les risques opérationnels. On admet qu'il ne faut pas dépasser 10% en opérations courantes et que 12,5%, soit 1/8 est le maximum admissible. Au-delà de ces valeurs, d'ailleurs, certains véhicules ne pourraient négocier la rampe.

La figure 6 met en évidence les 3 éléments qui régissent l'inclinaison de la rampe :

- la hauteur de la charnière de la rampe par rapport au plan d'eau : (c)
- la hauteur de la tablette du quai par rapport au plan d'eau : (x)
- la longueur de la rampe : (l) [6]

Pour (c), l'A.I.P.C.N. recommande des valeurs de 2,5 m pour les rouliers passagers et de 1,50 m pour les rouliers cargos qui nous intéressent ici.

La figure 6 permet de comprendre le problème posé aux navires rouliers à Matadi. Que la rampe soit axiale ou non, elle doit reprendre la dénivellation existant entre le bateau et le quai. Elle n'est jamais faite d'une seule section. Elle se termine par un panneau inclinable en facilitant l'accès. Dans le cas de rampe non axiale, le problème se complique comme le montre la figure. La rampe est alors composée de 3 sections. La 1<sup>ère</sup> section doit être suffisamment longue pour pouvoir compenser la différence de niveau. La 2<sup>e</sup> section doit permettre d'atteindre le quai. La 3<sup>e</sup> section est le dispositif d'accès dont question plus haut.

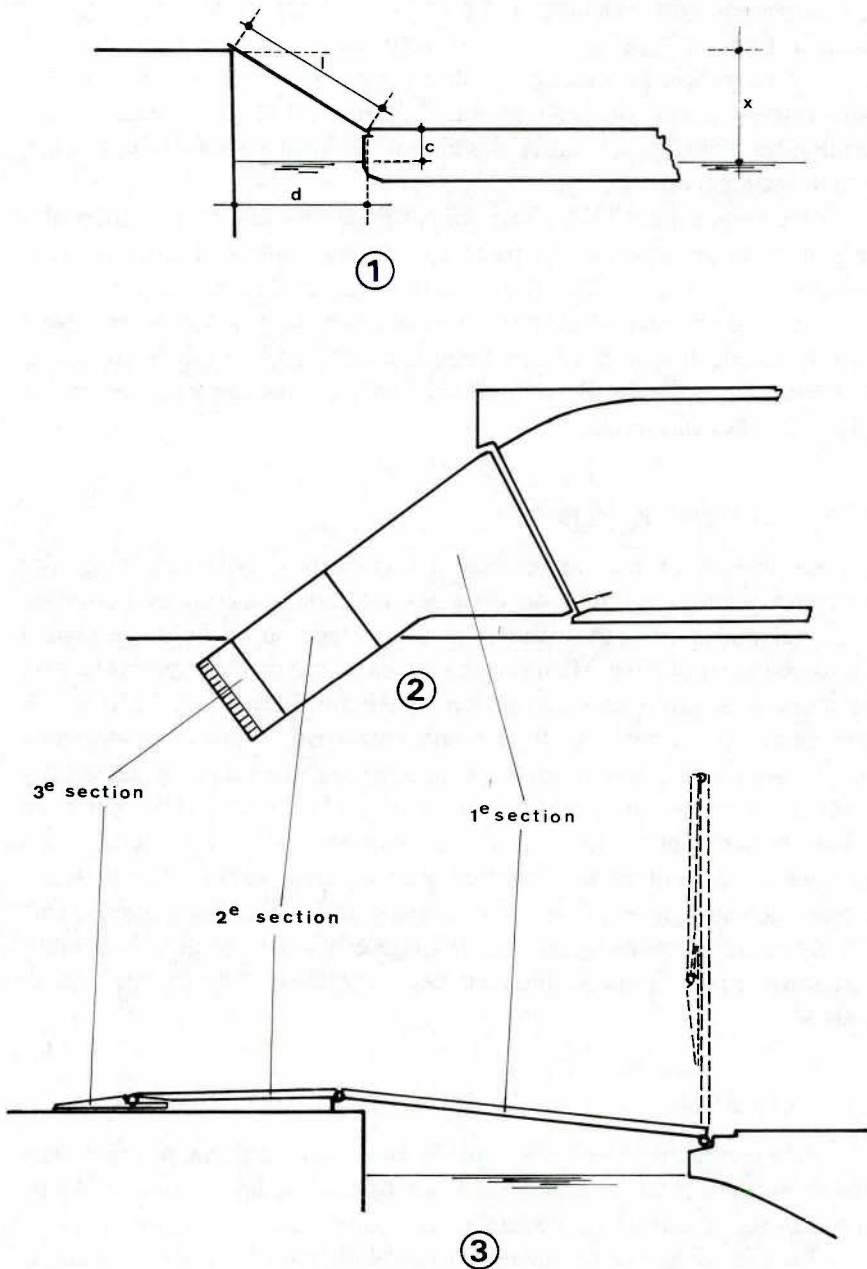


Fig. 6. — Navires rouliers. Étude de la rampe.



La rampe type MacGregor représentée à la figure 6 a une longueur totale de 49,60 m. C'est la plus longue rampe latérale connue à ce jour. Seule la première section est utilisable pour compenser une dénivellation vers le haut. Elle est longue de 27,40 m. La 2<sup>e</sup> section est toujours maintenue en position horizontale par la force des choses. Sa longueur est de 16 m. La 3<sup>e</sup> section est longue de 6,20 m.

Une longueur de 27,40 m ne permet pas de travailler à beaucoup plus de 3,00 m au-dessus de la charnière, c.-à-d. pour Matadi, dès que les eaux descendent à plus de 4,50 m par rapport au niveau du quai.

Au vu de la figure 4 et même avec la rampe la plus longue possible à l'heure actuelle, le quai de Matadi serait inaccessible les 3/4 du temps en cas d'hydraulicité moyenne. Il pourrait rester inaccessible toute l'année en cas d'hydraulicité défavorable.

#### 3.2.2.4. La vitesse du courant

La vitesse du courant le long des quais peut également créer des difficultés pour l'utilisation de certaines techniques maritimes nouvelles. Ceux qui ont assisté aux manœuvres d'accostage ou de départ à Matadi connaissent le problème. Même aux hautes eaux, des contre-courants lèchent les quais. Ces contre-courants peuvent atteindre 50 cm/s ( $\pm 2$  km/h). Ils peuvent être utiles pour faciliter certaines manœuvres. Mais on comprendra que l'existence de courants confus, contradictoires, tout au long des quais y rendrait l'amarrage en couple de barges Lash (18,74  $\times$  9,50) extrêmement difficile et hasardeux. Pour un navire déchargeant 5000 t, soit une vingtaine de barges, on pourrait se retrouver avec 4 ou 5 barges en couple. La présentation successive de ces barges à quai pour la manutention présenterait des problèmes de remorquage, de déhalage et d'amarrage dont la solution s'est souvent révélée impossible dans des contextes plus faciles que celui de Matadi.

#### 3.2.3. *Conclusions*

Aux contraintes habituelles qui s'imposent aux armateurs lors de leur option sur les caractéristiques de leurs bateaux viennent donc s'ajouter plusieurs autres dans le cas de navires appelés à desservir le Zaïre maritime.

Il y a les obligations d'ordre général résultant du Code de Conduite et celles qui résultent de la coordination indispensable entre armateurs, même si, pour la desserte du Zaïre, on n'en est pas encore au stade du Consortium.

Et puis il y a toutes les contraintes et restrictions résultant du régime hydraulique du fleuve, les unes et les autres pouvant aller jusqu'à rendre inapplicable l'adoption de certaines techniques maritimes parfaitement concevables dans un contexte plus classique.

### 3.3. LES BATEAUX

LEDERER (1977), dans un mémoire intitulé «L'Expansion belge Outre-Mer et la Compagnie Maritime Belge» et publié par l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, a rappelé le rôle de premier plan joué par l'Armement national dans l'établissement et le maintien de cette liaison maritime. Nous ne reviendrons pas sur ces pages définitives. Mais il est intéressant de montrer ici pourquoi et comment sont effectués les choix dont ont résulté les navires.

Comment l'armateur a-t-il tenu compte du contexte somme toute fort mouvant que nous venons de décrire ?

#### 3.3.1. *Les paquebots : les «ville»-boats et les autres*

Une première distinction s'impose entre armateurs zaïrois et belges d'une part et armateurs des pays tiers de l'autre. Les relations étroites entre le Zaïre et la Belgique ont toujours imposé des exigences supplémentaires aux deux pavillons, ne serait-ce qu'en raison du trafic de passagers et du trafic postal. Ces deux trafics faisaient par contre bénéficier les navires d'une priorité d'accostage, atout inestimable en certaines circonstances.

Il était cependant apparu dès avant la 2<sup>e</sup> guerre mondiale que la formule du paquebot postal pur n'était pas rentable sur la ligne Anvers-Matadi [7]. D'où, en ce qui concerne la CMB et ultérieurement la CMZ, l'option sur le navire mixte. On rappellera ici, pour les anciens de mon âge, quelques noms qui ont fait l'histoire après la guerre : les cargos-mixtes *Alex van Opstal*, *Armand Grisar* et *Gouverneur Galopin*. Puis les deux navires qui vivent toujours dans le cœur de ceux qui les ont connus : le *Copacabana* et le *Mar del Plata*. Le *Copa*, comme on l'appelait familièrement, qui fut avec le *Henry Jaspas* le seul navire de la CMB à faire toute la guerre du côté des Alliés et reprendre le service par après. Le *Copa* qui fut également le premier navire à passagers à rapatrier des Belges après la libération.

A partir de 1948 entrent en ligne les 5 paquebots-mixtes à moteur qui, douze années durant, vont être l'épine dorsale de la liaison Belgique-Congo. L'*Albertville*, le *Léopoldville*, l'*Elisabethville*, le *Baudouinville* et le *Charlesville*. Avec le *Copa* et le *Mar*, ils vont assurer une rotation chronométrique

de 7 semaines, avec une régularité telle que le senior surveyor du Lloyd's Register reconnaîtra un jour qu'il n'existe nulle part ailleurs un service de ce genre.

En 1956 et 1957 entrent en ligne les deux paquebots-mixtes à turbines *Jadotville* et *Baudouinville*, qui se substituent au *Copa* et au *Mar*.

Le *Baudouinville* à moteur est rebaptisé *Thysville*. Ce changement de nom, l'un des tout premiers au sein du même Armement, va créer et entretenir une confusion que l'on retrouve dans toutes les études historiques de l'époque.

Et puis, c'est 1960. Le prodigieux développement des liaisons aériennes, se greffant sur le bouleversement politique complet va entraîner un amenuisement progressif mais profond de la fonction paquebot. Le *Jadotville* et le *Baudouinville* sont cédés à la P & O, qui les affecte à sa liaison sur l'Extrême-Orient. Ils seront ultérieurement achetés par la China Ocean Shipping Cy.

Successivement disparaissent alors le *Thysville* repris par les Brésiliens, puis le *Charlesville* [8] et finalement l'*Elisabethville* partiellement détruit à Anvers en 1968 par un incendie.

Restent alors l'*Albertville* et le *Léopoldville*. Le *Léopoldville* passe sous pavillon zaïrois dès 1967 et devient le *P.E. Lumumba*. De concert avec l'*Albertville*, il poursuit sa carrière jusqu'en 1973, date à laquelle ils sont remplacés, le premier par le *Kananga* zaïrois, le second par le *Fabiolaville* belge.

### 3.3.2. *Les cargos*

Les paquebots ne pouvaient pas lever à eux seuls l'intégralité des trafics zaïrois. Le port de Matadi était ouvert au commerce international, comme d'ailleurs le Congo belge, héritier du statut de l'État Indépendant du Congo. A côté des cargos belges on retrouvait des cargos allemands, anglais, français, danois... Du côté belge, c'étaient les séries des «*Empire-ships*» et des «*Liberty-ships*», les «*Capitaine*» des années 50. Ils seront suivis dès 1953 par les «*Lu*», puis par les «*Mo*» en 1957 et les «*Ka*» (devenus «*Peintres*» entre temps) en 1963. En 1968 apparaissaient les «*Mont*» suivis en 1977 par les «*Quellin*».

Le développement qui se poursuit ainsi au cours des années n'était pas un simple développement de taille. Celle-ci augmente, bien sûr, mais cette augmentation s'accompagne d'une augmentation progressive de la vitesse, qui passe de 10 nœuds sur les «*Empire*» à 19 nœuds sur les «*Mont*» pour retomber à 17 nœuds sur les «*Quellin*».



**Tableau 1**  
Les paquebots

	Entrée en service	Tonnage	Port en Lourd	Propulsion	Vitesse	Passagers	Sortis
<i>Alex van Opstal</i>	1942	13 209	8316	moteur	13	68	1959
<i>Armand Grisar</i>	1945	13 209	8337	moteur	13	90	1959
<i>Gouverneur Galopin</i>	1945	13 209	8320	moteur	13	90	1959
<i>Copacabana</i>	1938	13 685	7845	moteur	14	120	1958
<i>Mar del Plata</i>	1938	13 685	7845	moteur	14	120	1958
<i>Albertville</i>	1948	16 500	9622	moteur	16	207	1973
<i>Léopoldville</i> <sup>(1)</sup>	1948	16 500	9622	moteur	16	207	1967/1973
<i>Elisabethville</i>	1949	16 500	9622	moteur	16	207	1968
<i>Thysville</i> <sup>(2)</sup> (ex-Baudouinville)	1950	16 500	9464	moteur	16	248	1961
<i>Charlesville</i> <sup>(3)</sup>	1951	16 500	9464	moteur	16	248	1967
<i>Jadotville</i>	1956	19 741	11091	turbine à vapeur	17	300	1961
<i>Baudouinville</i> <sup>(4)</sup>	1957	19 750	11286	turbine à vapeur	17	300	1961
<i>Fabiolaville</i>	1973	22 838	15108	moteur	19	71	
<i>Kananga</i>	1973	22 838	15108	moteur	19	71	

(1) *Léopoldville* devenu *Lumumba* en 1967.

(2) Devenu *Anselm* lors de son passage sous pavillon britannique (Booth Liverpool) puis *Iberia Star*, pour la Blue Star Line, puis *Australasia*... Retiré en 1976/1977.

(3) Devenu *Georg Buchner* lors de son passage sous pavillon est-allemand. Retiré de service en 84/85.

(4) Était toujours en service actif en 1980 pour le compte de la China Ocean Shipping Cy.

Tableau 2

## Les cargos

	Mise en service	Tonnage LT	DW	Vitesse et Propulsion	Grèement	Retiré (dernier)
Empire Ships	1943	13 969	10 300	10 vapeur	10 × 5 t, 1 × 40 t, 1 × 50 t	1961
Liberty Ships	1943	14 245	10 900	11 vapeur	10 × 5 t, 1 × 15 t (30), 1 × 50 t (60)	1963
Victory Ships	1943	15 199	10 700	17 turbines	14 × 5 t, 1 × 30 t, 1 × 50 t	1965
Armand Grisar	1945	13 209	8 320	13 moteur	12 × 5 t, 1 × 15 t, 1 × 30 t	1959
Copacabana	1938	13 685	7 845	14 moteur	14 × 5 t, 1 × 15 t, 1 × 30 t	1958
Ville-Boats	1948	16 298	7 127	17 moteur	12 × 5 t, 4 × 10 t, 1 × 20 t, 1 × 40 t	1961/1973
Lu-Boats	1953	16 334	10 997	16 moteur	10 × 5 t, 6 × 10 t, 1 × 40 t, 1 × 100 t (60 t sur certains)	1972
Mo-Boats + Mont 1 <sup>e</sup> série	1957	17 810	12 731	13/14 moteur	2 × 5 t, 12 × 10 t, 1 × 60 t, 1 × 110 t	1979
Peintres	1963	18 822	12 523	16,5 moteur	10 × 5 t, 8 × 10 t, 1 × 26 t, 1 × 116 t	1983
Mont 2 <sup>e</sup> série	1968	23 210	16 500	19 moteur	7 × 15 t, 2 × 30 t, 2 × 35 t	1986
Quellin	1977	29 469	20 596	16,5 moteur	grues 2 × (2 × 15) * t, (2 × 25 t)	

(2 × . . .) \* : une des 2 grues peut être asservie à l'autre pour doubler la capacité maximale de levage.

On assiste parallèlement à l'accroissement des dimensions et à la mécanisation de plus en plus poussée de la fermeture des écoutilles, ainsi qu'au développement continu du gréement. A leurs débuts, ces développements se font dans l'improvisation, par application intuitive de la loi d'échelle, un peu comme M. Jourdain faisait de la prose sans le savoir. Ce n'est que plus tard, lorsqu'auront été mieux appréciées les implications du concept de rupture de charge que l'effort de réflexion va conduire à une systématisation du problème. Ce sera ce que l'on a appelé depuis «la philosophie de l'unité de charge» et son corollaire : le concept du transport de bout en bout. Ce que fut la réalisation concrète de ce développement, on le voit mieux en comparant le «Liberty» de 1945 au «Quellin» de 1977.

Le «Liberty» équipé de panneaux à prélaris et dont le gréement se composait de 10 mâts de charge de 5 t, renforcés par deux mâts lourds, l'un de 15 t, l'autre de 50 t, servant exclusivement pour les colis exceptionnels, c.-à-d. inutilisés la plupart du temps.

Le «Quellin», avec ses écoutilles à panneaux mécanisés et ses 4 grues de 15 t et 2 de 25 t couplables 2 à 2, c.-à-d., en définitive, un gréement conçu en fonction du seul container.

Avec le «Quellin», d'ailleurs, on arrive à des navires qui ne sont plus vraiment des cargos conventionnels, mais qui ne sont pas encore de véritables container-ships. Le pragmatisme anglais a inventé, pour ces navires, une appellation qui en est la définition même : «multi-purposes ships». Le pas suivant, c'est le container-ship. Avec lui, nous entrons dans le domaine de ce qu'il est convenu d'appeler : les Techniques maritimes nouvelles.

### 3.3.3. *Les techniques maritimes nouvelles*

Nous avons expliqué plus haut l'incidence que pouvait avoir le contexte hydrographique sur les possibilités d'application de ces techniques. On parlera maintenant de ces techniques elles-mêmes et de leurs limitations sur le Zaïre.

#### 3.3.3.1. Les navires porte-allèges

Leur utilisation sur Matadi a fait à plusieurs reprises l'objet d'études approfondies. Les conclusions ont toujours été négatives.

a) Le volume du trafic à desservir est trop faible pour permettre à la fois une fréquence acceptable de desserte et une taille satisfaisante pour le navire lui-même. Il faudrait donc accepter un regroupement d'armateurs pour couvrir l'ensemble du trafic du port. Les problèmes politiques liés à la réalisation d'accords de ce genre en rendent la matérialisation problématique.



b) La répartition 40/40/20 du trafic implique au moins deux bateaux, dont un à chacun des partenaires. Tant au niveau des investissements qu'au niveau de l'exploitation technique, la formule présente, pour un PVD, bien plus d'inconvénients et de difficultés concrètes que d'avantages réels.

c) Les problèmes opérationnels liés au contexte hydrographique ne sont pas résolus, pour ne pas dire qu'ils ne sont pas solubles :

- Le navire gigogne lui-même a des dimensions qui excèdent très largement les dimensions acceptables en tirant d'eau et en longueur. On peut tenir pour acquis qu'il ne remonterait de toute façon pas à Matadi ni même à Boma. Le navire escalerait à Banana, d'où les barges devraient être prises en charge pour remonter jusqu'à Matadi.
- Ceci poserait le véritable problème opérationnel : assurer le va-et-vient des barges entre Banana et Matadi. Le train de barge aurait à remonter un courant qui peut dépasser 10 nœuds aux hautes eaux. Tout retard d'acheminement dans un sens ou dans l'autre désorganise complètement la rotation du navire-gigogne. Celui-ci peut, à la limite, ne pas trouver de barges à charger lors de son voyage retour.
- A Matadi même, la présence des barges qui doivent être amarrées, déchargées et rechargées pose des problèmes logistiques redoutables. Amarrées à 4 ou 5 en couple, ces barges s'avanceraient de 40 à 50 m dans le fleuve. Aux périodes de basses eaux, le jeu des contre-courants le long du quai se couple sur un courant descendant à quelques dizaines de mètres au large. Aux hautes eaux, la vitesse du courant atteint plusieurs nœuds partout. Dans un pareil contexte, le triage, la présentation ordonnée et l'échange des barges à quai deviennent des difficultés majeures.

Un fait est plus puissant qu'un lord-maire. L'acceptation généralisée du container par les chargeurs zaïrois et étrangers est un fait. La raison en est la protection très supérieure assurée à la marchandise. La manutention ex-allèges, colis par colis, serait ressentie comme un pas en arrière. La formule du porte-allèges n'est pas compatible avec la philosophie du transport de bout-en-bout, et cela suffit pour la condamner sans appel. Ceci ne fait que confirmer et expliquer la défaveur généralisée dans laquelle est tombé ce type de bateaux. Seules s'y intéressent les marines militaires, et pour cause.

### 3.3.3.2. Le Ro-Ro

Tout le monde parle de Ro-Ro. Mais on peut constater que la signification du terme est d'autant plus confuse que la profession de foi est ardente. Santayana le disait déjà : «Your thought may be dominated by a verbal

dogma, around which all your sympathies and antipathies will quickly gather, and the less you have penetrated the original sense of your creed, the more absolutely will you believe it».

L'expression Ro-Ro recouvre deux réalités différentes. Il peut s'agir d'un simple pont mobile, donc moins coûteux qu'un pont fixe à partir d'une certaine distance et dans certains contextes. Il peut également s'agir d'une méthode de manutention, opposée à la méthode classique parfois appelée Lo-Lo. Ro-Ro, c'est alors Roll-on/Roll-off, opposé au classique Lift-on/Lift off. Dans le cas du Zaïre, c'est de la seconde définition qu'il s'agit, même si le trafic est en partie composé de véhicules.

Le Ro-Ro peut, dans de nombreux cas, être confronté avec succès à la philosophie de l'unité de charge. Il peut, tout comme le container et parfois à moindre frais, assurer le transport de bout en bout. Il est des trajets pour lesquels l'avantage du temps et de l'argent gagnés sur les manutentions aux deux bouts du trajet maritime font plus que compenser les coûts dus au volume perdu sur le bateau et à l'immobilisation du matériel plus coûteux. Ceci est toutefois davantage le cas des Ro-Ro ponts mobiles que celui des cargos rouliers transocéaniques. Pour ces derniers, ce sont les possibilités réduites ou les difficultés d'une manutention classique du type Lo-Lo qui conduisent le plus souvent à leur adoption.

Quoi qu'il en soit, le Ro-Ro ne peut être écarté a priori. Dans bien des cas, l'adjonction d'une capacité Ro-Ro, même réduite, à celle du container apporte un avantage appréciable au transporteur. Elle a fait et continue à faire les beaux jours de l'ACL et de Scan Dutch.

Au Zaïre, le contexte physique n'est favorable à la formule ni à Matadi, ni à Ango-Ango. Étant donné l'amplitude des variations du niveau d'eau, l'utilisation de la rampe n'y est possible qu'une partie de l'année, de 3 à 9 mois suivant le régime du fleuve.

On peut imaginer que la formule Ro-Ro pourrait se développer plus facilement au départ de Boma. Depuis l'ouverture du viaduc de Matadi, une liaison routière directe est possible entre les deux ports. Le pont lui-même est à deux niveaux. Il a été prévu pour un trafic ferroviaire ultérieur. Les possibilités de Boma pourraient faire l'objet d'une étude approfondie de manière à mieux définir l'incontestable complémentarité des deux ports. On retiendra toutefois que le trajet Boma-Matadi demeure pour le moment un monopole routier, donc coûteux. Il n'est pas exempt de risques pour certaines marchandises. Il conviendrait également d'éviter le transit par Matadi même.

En conclusion, on peut dire que la formule Ro-Ro ne convient pas à Matadi et à Ango-Ango pour des raisons opérationnelles. Ses possibilités sur Boma ne sont pas négligeables. Mais aucun développement sérieux ne peut être attendu tant que ne sont pas résolus les problèmes de transit entre le port et la destination finale.

### 3.3.3.3. Le container

Le container est souvent considéré comme l'enfant de la Philosophie de l'Unité de charge. C'est vrai pour le container ISO dont les caractéristiques ont été définies en fonction des besoins du transport de bout en bout [9]. Le container ISO, c'est l'engin interchangeable et passe-partout. Son succès est la preuve à posteriori du bien-fondé de sa définition.

Mais il est depuis toujours des containers qui ne sont pas ISO. On pense aux containers Sealand de 35', à ceux de la Matson de 24', aux containers de 45' et de 48' des APL, et à la hauteur non ISO de 9'06". Toute normalisation peut apparaître comme une entrave à la liberté, et parfois même comme une contrainte inacceptable. Dans les problèmes de normalisation, comme partout ailleurs, il peut y avoir conflit entre l'intérêt général et certains intérêts particuliers légitimes.

Et comme, sauf exceptions très rares, la normalisation n'est qu'une recommandation, non une obligation, il se trouve toujours des esprits forts – ou prévoyants – pour en refuser les contraintes.

Dans cette affaire, la grande majorité des armateurs se trouve, sans l'avoir voulu, du côté de l'intérêt général. Pour les armateurs, la géométrie horizontale des containers peut difficilement changer. Elle détermine le module des cellules dans lesquelles sont gerbés les containers. Et le nombre de cellules définit les dimensions du bateau. Tout changement à la géométrie horizontale du container affecte plus de 4000 navires, dont certains capables de charger 4000 containers. On peut tenir pour acquis que si la normalisation change, elle ne changera pas dans une précipitation hautement préjudiciable à l'économie des transports mondiale. Et c'est assez paradoxalement la meilleure protection qu'ont les PVD comme le Zaïre pour les investissements qu'ils consentent dans la containerisation.

Ceci dit, le container sur Matadi, c'est déjà une vieille histoire. C'est aussi, à ses débuts, un martyrologe, celui des containers appelés à faire les frais des essais expérimentaux. Tiré à hue et à dia, dans les entreponts et les basses cales, arrimé tant bien que mal et souvent plutôt mal que bien, le container a durement souffert pour s'imposer.



Le container s'est imposé, d'abord sur les cargos multivalents comme le *Bandundu* de la CMZ ou le *Montsalva* de la CMB, dont les panneaux de cales ont été équipés de dispositifs d'assujettissement. Des guides cellulaires ont suivi dans certaines cales. Le *Fabiolaville* lui-même est muni aujourd'hui de guides dans ses cales latérales 3 et 4. On a multiplié les prises de courant pour containers frigorifiques. L'embarquement sur un seul navire de plusieurs dizaines d'unités réfrigérées de 40' est chose courante aujourd'hui. A Matadi, le débarquement en une seule escale par des navires zairois, français ou belges, de 200 à 250 containers est une opération de routine.

#### 4. Et l'avenir ?

L'avenir ne peut ignorer l'existence, sur la desserte Matadi-Anvers, de trafics qui lui donnent son caractère particulier.

Il y a les passagers. Tout armateur pense, sans oser le dire, qu'il s'agit là d'une cargaison encombrante, à haut cubage, exigeant une attention perpétuelle et des soins assidus, la seule capable par ailleurs d'exprimer à haute voix sa satisfaction ou son insatisfaction. On la courtise dans la mesure où elle constitue un élément important de promotion et de publicité commerciale. On la redoute dans la mesure où la demande insuffisante ou saisonnière ne permet pas de rentabiliser les installations.

Mais il y a, sur cette ligne, d'autres trafics propres : huile de palme, grumes, métaux bruts... Ces trafics ne sont pas nécessairement tous containerisables, ou en tout cas économiquement containerisables. S'il souhaite continuer à les transporter, l'armateur doit prévoir les aménagements classiques sur son bateau. C'est un problème de marché, une question de prix de revient. Aucune réponse à priori ne peut y être donnée.

Que le problème soit posé, et pas seulement sur la ligne Zaïre, c'est évident. Les revues maritimes se penchent de plus en plus sur la question. N'évoquaient-elles pas il y a quelques semaines, la commande en Corée de 4 navires porte-containers de 1100 TEU et 110 passagers ? Le paquebot mixte porte-containers n'est plus une simple hypothèse de travail.

La taille des navires appelés à desservir le bief maritime dans les prochaines années peut donc être cernée avec une relative précision. Les armateurs ont exprimé le souhait de pouvoir disposer d'un tirant d'eau effectif de 27' en toute saison. Pour une longueur de 180 à 200 m, des bateaux calant 27' auraient un déplacement de 20 000 à 25 000 t, soit un port en lourd de 13 000 à 19 000 t. C'est dans cette gamme que s'inscrivent les porte-containers et les grumiers de Delmas-Vieljeux, ainsi que le *Quellin* et à la limite inférieure le *Fabiolaville*.

Au terme de cet exposé, la seule conclusion possible sera d'ordre général, et très pragmatique : la flexibilité, la possibilité d'une adaptation constante et souple au contexte est plus importante que tout dogmatisme cartésien.

Il y a cinquante ans déjà, en commentant le problème qui nous occupe aujourd'hui, le Directeur Général des Travaux Publics au Congo mettait les rêveurs en garde : «Ce qui importe, disait-il, ce n'est pas tant de voir grand. Ce qui importe, c'est de voir juste».

C'est ce que se sont efforcés de faire les armateurs depuis 1886 !

#### NOTES ET RÉFÉRENCES

- [1] Certains écrivent que Stanley a parlé d'un penny et non d'un shilling...
- [2] DEVROEY, E. & VANDERLINDEN, R. 1951. Le Bas-Congo, Artère vitale de notre Colonie. — Goemaere, Bruxelles.
- [3] On trouve dans *Ports of the World* l'avertissement suivant : «Vessels have to pass the «Devil's Cauldron» (5 km before Matadi), where, during the months November, December and January, The Zaire River has a current of 10 1/2-11 knots. Minimum speed for the vessels coming to Matadi therefore should be 12 1/2-13 knots during these months».
- [4] Guide de la navigation au Congo belge. 1960. Tome 2, p. 19.
- [5] Voir par ex. African Harbour Pilot. 1954, p. 165.
- [6] A.I.P.C.N. 1978. Rapport de la Commission internationale d'Étude pour la Normalisation des Navires rouliers et de leurs Accostages.
- [7] Le pragmatisme belge a toujours préféré l'efficacité au prestige. Il n'y a donc pas eu, après la guerre, de paquebots comme l'*Auriol* britannique, l'*Oranje* hollandais ou le *Santa Maria* portugais.
- [8] Acheté par les Allemands de l'Est, le *Charlesville*, sous le nom de *Georg Buchner* a navigué jusqu'en 1984.
- [9] Encore appelé transport intermodal, ou transport multimodal, ou transport combiné.