

Photo C.G.T.A.

Le pousseur « Ville de Bangui ».

TRANSPORTS FLUVIAUX : LE POUSSAGE

DIVISION DES EXPLOITATIONS
C. T. F. T.

SUMMARY

INLAND WATERWAYS RIVER TRANSPORTATION-PUSHING

As its name implies this mode of propulsion consists in pushing a string of barges, strongly bound together, instead of pulling as commonly done in the past.

There has recently been a notable extension of this method of propulsion along inland waterways.

An analysis of the advantages and drawbacks of pushing will be found hereunder as well as a description of its main technical aspects (shape of barges, integrated convoys, tow-boats or pushers).

This article is derived from papers by Messrs. Aujard and David in various technical publications.

RESUMEN

TRANSPORTES FLUVIALES EL EMPUJE

Así como su nombre lo indica, el empuje consiste en empujar un tren de barcazas solidamente arriestradas entre sí, en lugar de remolcarle según el método clásico.

Este sistema de propulsión en los cursos de agua ha tomado recientemente un auge importante.

A continuación figura un estudio de las ventajas e inconvenientes del empuje, así como un resumen de los principales aspectos técnicos (forma de las gabarras, convois integrados, empujadores).

Este artículo ha sido tomado de una publicación efectuada por los Sres. Aujard y David en distintas revistas técnicas.

Avant-Propos. — On trouvera ci-dessous des extraits d'articles publiés dans différentes revues (1) par M. H. AUJARD, ingénieur en Chef à la Cie Générale de Transports en Afrique et d'une étude de M. R. DAVID publiée dans la Revue de la Sté des Ingénieurs Civils de France (février 1960). Nous tenons à les remercier ici l'un et l'autre pour les facilités dont ils ont eu l'obligeance de nous faire profiter pour la rédaction de cet article.

Définition du poussage. — Le convoi type tel que nous avons coutume de le voir est constitué d'un remorqueur tirant un ou plusieurs chalands. Au

lieu de cette disposition, imaginons un groupe de barges de forme rectangulaire solidement maintenues bord à bord grâce à des câbles. Ces barges placées à raison de 1,2 ou 3 de front et mises bout à bout à raison de 2 ou 3 longueurs forment un convoi (de 2×2 , 2×3 unités, etc.), de forme rectangulaire et constituant un ensemble. Imaginons ce convoi mû par une unité motrice, un « pousseur » qui se place à son arrière ; ce pousseur, tout comme les différentes barges, est rendu solidaire de l'ensemble du convoi ; il en assure la propulsion et la direction. L'ensemble, manœuvrable comme un seul automoteur démontable, constitue un « convoi poussé ».

* * *

La technique du poussage a connu, dans les dernières années, un développement important en Amérique du Nord, en Europe comme en Afrique. Les avantages en sont nombreux :

- Réduction des investissements et des heures de main-d'œuvre à la tonne transportée.
- Meilleur rendement de propulsion.
- Sécurité et manœuvrabilité améliorées, etc...

Si le poussage est impossible sur les petits canaux de la France métropolitaine, il a fait son apparition sur les voies d'eau européennes comme la Seine et le Rhin.

En Amérique du Nord, la presque totalité des transports intérieurs par voie d'eau s'effectue sui-

vant cette technique. Les convois peuvent atteindre 40.000 t et plus grâce à des pousseurs de plusieurs milliers de chevaux.

En Afrique, sur le Congo et l'Oubangui, la C.G.T.A. (1) a progressivement généralisé l'emploi du poussage. Depuis 13 ans, c'est le seul moyen de propulsion utilisé. Par ce moyen, elle a assuré en 1958 un trafic de plus de 110.000 t. Sa flotte comprenait, en 1959, 30 pousseurs de 160 à 1.000 ch et une centaine de barges de 200 à 600 t. Les convois ont des longueurs atteignant 240 m aux hautes eaux.

Au Congo ex-belge, L'Otraco (2) avait, en 1959, équipé en poussage la majorité de sa flotte.

(1) *Revue de la Navigation intérieure et rhénane*, 10 déc. 1957. *Arts et Manufactures*, n° 76, mai 1958. *Navires, Ports et Chantiers*, mai 1959.

(1) Cie Générale de Transports en Afrique.
(2) Organisation des transports au Congo.

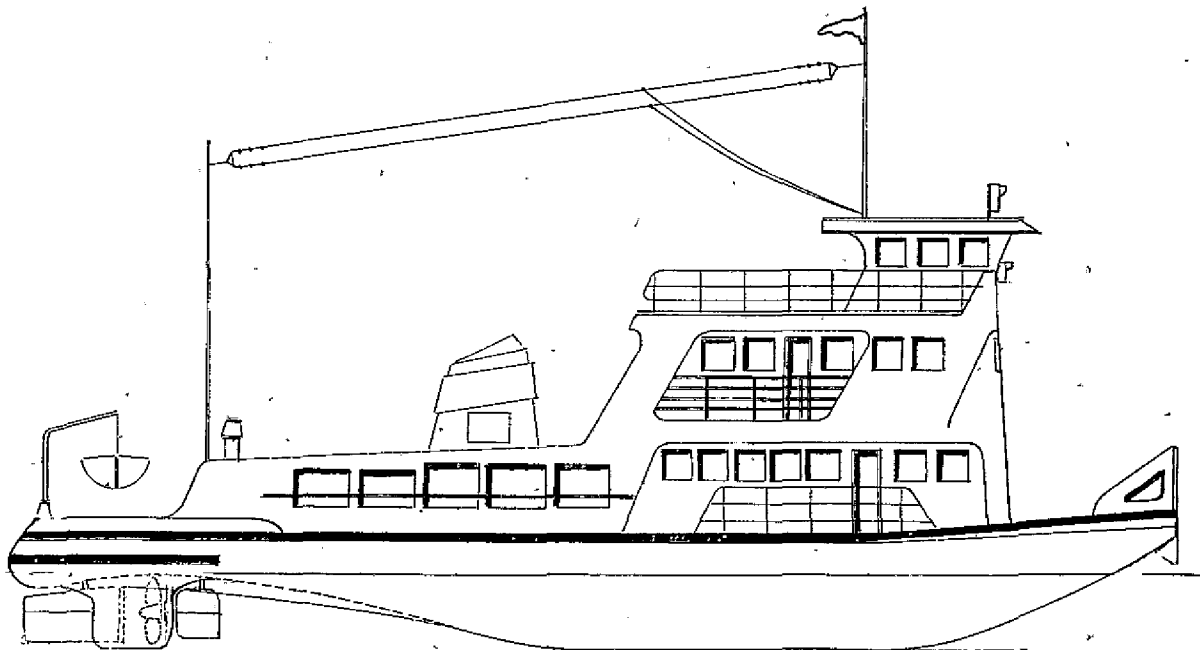


FIG. 1. — Pousseur à hélices de 1.000 ch « Ville de Bangui ». On distingue les hélices sous voûte avec tuyères et les gouvernails. (D'après C.G.T.A. et Revue de la Navigation Intérieure.)

QUELS SONT LES AVANTAGES DU POUSSAGE

La plupart des avantages ci-dessous sont spécifiques du poussage. Certains par contre, comme la robustesse des coques et l'absence de cloisons dans les cales se retrouvent aussi en navigation remorquée.

1° Economie de personnel navigant.

En navigation classique automotrice, ou remorquée, chaque unité est servie par un équipage particulier :

— 4 personnes sur le remorqueur, 2 par chaland.

Ces équipes sont mal employées car elles restent inactives quand les unités stationnent dans les ports, c'est-à-dire une part importante du temps, il est donc économiquement impossible de justifier deux équipes permettant une navigation de jour et de nuit.

Il est d'autre part impossible d'augmenter indéfiniment le tonnage des chalands. Prenons pour exemple l'unité de 1.350 t. commune en Europe. Sa coque constitue une poutre très fragile de 80 m de longueur et de 2,70 m de hauteur seulement, de 6 à 7 mm d'épaisseur de parois, raidie par des cloisons étanches qui limitent l'effet d'une voie d'eau et qui séparent une dizaine de cales, chacune de faible ouverture. Chargement et déchargement ne peuvent donc se faire qu'avec précautions. Les faibles ouvertures des cales limitent la dimension des engins de chargement et de déchargement. Dans de telles conditions, des unités de très gros tonnage, économiques en personnel, seraient d'une fragilité excessive.

L'automoteur « artificiel » démontable que constitue le convoi poussé est de gros tonnage et le personnel n'est pas augmenté en proportion de sa capacité.

Les liaisons souples par câbles entre les barges ont résolu le problème technique que ne

permettait pas de résoudre la résistance des matériaux constituant les coques : à savoir une capacité quasi illimitée d'un ensemble de 2,50 m de tirant d'eau seulement, quand cela est possible, mais souvent beaucoup moins en Afrique. Grâce aux câbles, chaque unité ne transmet aucun effort tranchant ni aucun moment fléchissant aux unités voisines ; théoriquement, les dimensions du convoi ne sont limitées que par la largeur et les courbes de la voie d'eau, ainsi que par les dimensions des écluses.

La réduction du personnel navigant peut ainsi atteindre 60 %, car seul le pousseur est muni d'un équipage.

2° Economie de capacité de cale.

Grâce à la meilleure productivité du personnel navigant, on peut prévoir une équipe de jour et une de nuit, donc une navigation sur un nombre d'heures journalier double. A vitesse donnée, les délais de route sont ainsi réduits de moitié ce qui diminue la durée de rotation des barges, donc d'augmenter la capacité de transport à tonnage utile équivalent.

La navigation de nuit se pratique couramment aux Etats-Unis, comme sur le Congo et l'Oubangui le Rhin et la Seine.

3° Meilleure utilisation des moteurs.

L'équipage et les machines d'un automoteur attendent longtemps à quai le chargement ou le déchargement. Au contraire le pousseur, toujours grâce à ses liaisons par câble avec le convoi, laisse les barges chargées qu'il vient d'amener pour reprendre aussitôt un nouveau convoi. Il reste utilisable pendant les opérations de chargement et de déchargement.

Bien entendu, pour que l'activité du pousseur s'exerce sans interruption, il faut augmenter le parc de barges dans le rapport des durées de rotation des barges et du pousseur. Le gain est d'autant plus marqué que les trajets sont plus courts et les attentes dans les ports plus longues.

Grâce à cette organisation les machines des pousseurs peuvent fonctionner jusqu'à 6 à 7.000 heures par an, au lieu de 1.500 heures seulement dans le cas d'un automoteur.

Convoi C.G.T.A. poussé
par un « Stern-Wheeler ».

Photo Le Ray.

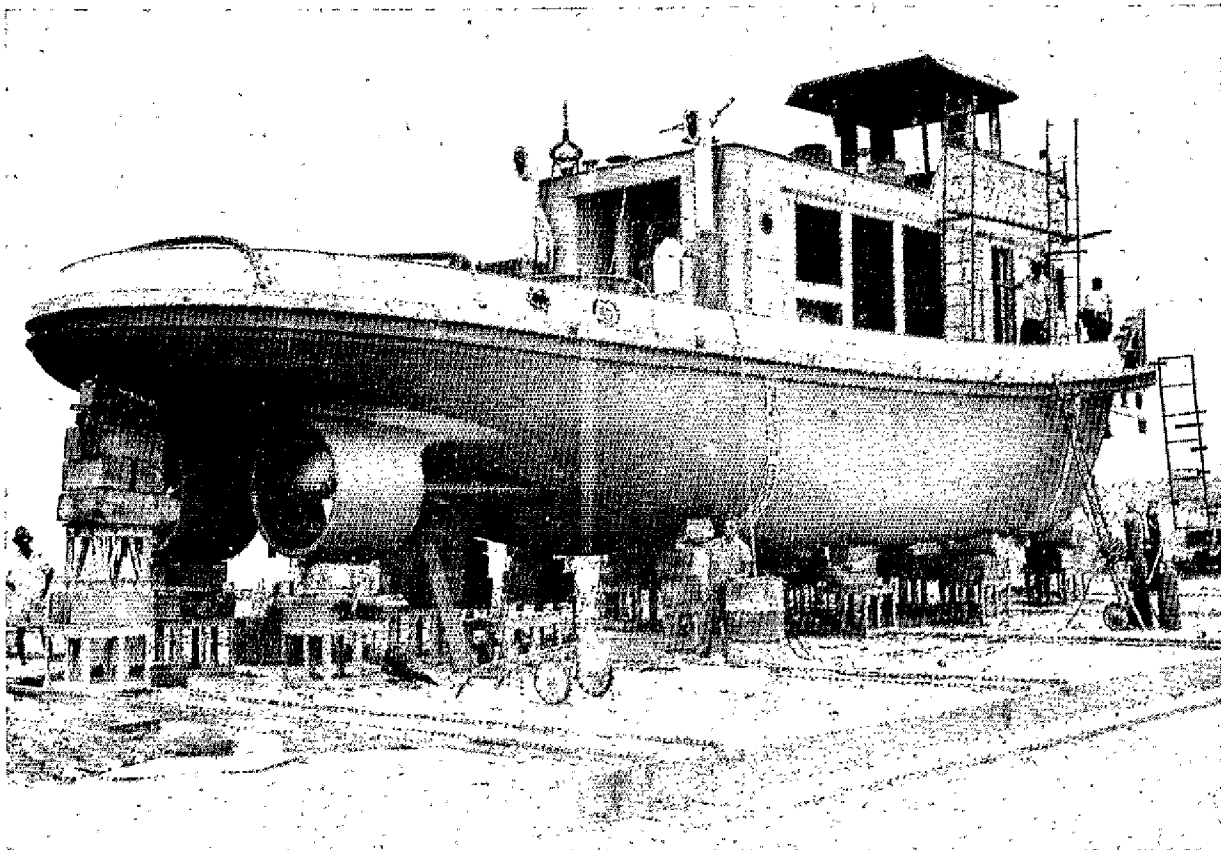


Photo C.G.T.A.

Un pousseur de 320 ch à 2 hélices. Les gouvernails ne sont pas montés. On distingue les hélices sous tuyères.

4° Economie d'investissement à la tonne de cale.

La construction d'un pousseur coûte à peu près le même prix que celle d'un remorqueur de même puissance, mais il propulse un tonnage plus élevé.

Par rapport à des barges profilées du type rhénan, les barges poussées sont d'un prix de revient de 30 % inférieur, du fait de leurs formes plus simples, de l'absence de gouvernail et de logement du marinier. Par rapport à un chaland classique, la différence est plus forte encore.

5° Economie de puissance installée et de carburant, le poussage augmente en effet le rendement de propulsion.

Le rendement de propulsion du remorquage est mauvais : avec la disposition classique, le flux engendré par les hélices du remorqueur, dans le sens opposé à la marche, freine la première péniche.

Et ce freinage est considérable, car le flux est animé d'une vitesse égale au double de la vitesse d'avancement du convoi. On admet qu'à la distance imposée par la maniabilité, la résistance à l'avancement du chaland qui suit immédiatement le remorqueur se trouve augmentée de 25 à 30 % en moyenne, et aussi par conséquent la puissance

nécessaire pour le faire avancer à une vitesse déterminée. Le sillage formé par chaque chaland représente une perte supplémentaire d'énergie moins importante, mais non négligeable. D'autre part, l'obliquité fréquente des barges à la traîne augmente fortement la résistance.

Le rendement de propulsion d'un convoi poussé intégré est comparable à celui d'un automoteur, il atteint 40 à 50 %. Par contre avec un convoi remorqué le rendement ne dépasse pas 30 à 35 %, parce que les unités remorquées ne profitent pas du sillage de celles qui les précèdent.

Bien entendu ceci revient à dire que le gain de rendement du poussage est nul par rapport au rendement de l'automoteur.

6° Economie d'entretien.

L'ensemble mécanique d'un seul pousseur puissant coûte beaucoup moins cher au cheval/heure que l'ensemble des groupes moteurs appartenant aux petites unités qu'il remplace. L'ensemble des organes est plus robuste.

Sur les barges, les coques sont de formes plus simples et plus robustes que sur les chalands classiques ; les dépenses de carénage et d'entretien général en sont ainsi réduites.

7° Facilités de chargement et de déchargement.

Très robustes, les barges peuvent être chargées et déchargées sans précautions particulières.

La double coque cloisonnée permet de supprimer le cloisonnement des unités actuelles en 8 à 10 cales et, grâce à la grande ouverture de la seule cale de la barge, on peut employer de puissants moyens de manutention.

8° Capacité plus grande en basses eaux.

A résistance de traction égale, des barges intégrées ont des formes qui permettent un meilleur chargement à enfoncement faible que ne l'autorisent les formes d'un chaland et surtout d'un automoteur.

9° Meilleure manœuvrabilité.

Le poussage d'un convoi d'une certaine importance serait impossible sans les qualités manœuvrières du pousseur. Celui-ci est équipé d'un système de gouvernails avant et arrière qui lui donne une manœuvrabilité exceptionnelle. On fait plus que compenser ainsi la grande inertie et l'encombrement du convoi poussé. Celui-ci est capable des manœuvres suivantes :

- arrêt cap à l'aval, ce qui est impossible avec un convoi tiré, les péniches remorquées se trouvant entraînées par le courant ;
- remontée du courant en marche arrière ;
- arrêt du convoi lancé à pleine vitesse sur une distance qui ne dépasse pas la longueur du convoi ;
- déplacement latéral ;
- accostage précis ;
- virage dans un cercle de diamètre égal à la longueur du convoi ;
- passage en pleine vitesse dans une courbe de rayon égale au double de la longueur du convoi.

Ajoutons que la séparation en éléments permet des formations différentes du convoi à la descente et à la montée ; elle permet aussi de franchir des passages difficiles en fractionnant le convoi.

INCONVÉNIENTS DU POUSSAGE

1° Transports de petits lots.

On peut penser que le convoi poussé ne se justifie qu'en cas de transports de masse. En fait, dans le cadre d'une économie de type européen, le lot minimum est de l'ordre de 500 tonnes. Il dépend beaucoup de la puissance des pousseurs disponibles.

2° Nécessité de disposer de beaucoup de matériel.

Il n'est pas possible d'exploiter un pousseur et les barges comme un petit entrepreneur exploite un automoteur. L'unité d'exploitation que constituent un pousseur et les barges qui lui sont affectées correspond en effet à une unité d'exploitation minimum assez importante. Il faut aussi disposer d'un équipement dans les ports, supérieur à celui qui existe pour la navigation classique.

3° Concentration des risques de pannes sur un seul engin : le pousseur.

En effet, un seul engin moteur en remplace plusieurs ; une panne de celui-ci est grave. Mais il faut remarquer que tous les pousseurs possèdent deux moteurs.

4° Le poussage n'est pas possible dans les eaux très agitées.

Le poussage n'est malheureusement pas adaptable tel quel à la navigation maritime. Le poussage d'un convoi et même d'une unité isolée est impossible lorsque le creux des vagues dépasse 1,50 m. Les câbles de liaison ne résistent plus aux efforts qu'ils subissent.

Il existe toutefois en Amérique des ensembles poussés formés d'un remorqueur de haute mer poussant le long des côtes ou sur les grands lacs une seule grosse barge de 2 à 3.000 tonnes avec entaille à l'arrière où vient se placer l'avant du remorqueur. De telles unités font communiquer par de courts trajets en mer des fleuves côtiers isolés ou des estuaires. Le remorqueur et la barge ne restent dans la formation poussée que dans certaines limites de vent. Dès que la mer est trop agitée, le remorqueur tire la barge au moyen d'un câble de remorque en nylon pendant que de petits stabilisateurs latéraux fixés à l'arrière de la barge, limitent ses embardées latérales. Ce cas constitue une incursion de la navigation intérieure dans un domaine jusqu'ici réservé au cabotage. Compte tenu du prix très bas d'une barge de pondéreux et de la possibilité d'y adapter n'importe quel remorqueur de mer, il est probable qu'il y a place pour des transports de ce genre. Dans ce cadre, l'aménagement de fleuves et de rivières sans communication intérieure permettrait des relations très bonnes en passant par la mer.

En France, le passage du mascaret a été résolu sur les convois pétroliers de la Seine. Enfin un chantier de Paris est en train de mettre au point un dispositif de liaison par *véris* qui devrait permettre de naviguer dans la houle et courber le convoi dans les courbes.

QUELQUES ASPECTS TECHNIQUES

La navigation intérieure s'exerce dans le domaine des faibles profondeurs et des faibles largeurs de chenal ; il en résulte une limitation des vitesses

entre 8 et 15 km/h, soit à peine la moitié de la vitesse des bateaux de mer.

Contrairement à ce qu'on pourrait croire, les

études de bateaux de navigation intérieure sont plus complexes que celles des bateaux de mer, et elles n'ont été développées que tout récemment.

Dimensions des barges :

Voici quelques règles empiriques appliquées par les constructeurs américains.

Le rapport largeur/creux ne doit pas dépasser 6.

Le rapport longueur/creux doit être inférieur à :

Haute-mer	14 pour 1
Cabotage	16 pour 1
Estuaires et baies	18 pour 1
Rapport normal	24 pour 1
Conditions exceptionnelles et sous réserve de barges pontées	30 pour 1

Forme des Barges :

Pendant longtemps les utilisateurs cherchaient avant tout à obtenir le maximum de volume de cale, ce qui les conduisait à construire des sortes de caisses parallélépipédiques dont la résistance à l'avancement était assez élevée. Si cette solution reste valable pour de faibles parcours, elle a été abandonnée pour les convois destinés aux transports sur distances importantes.

Les formes avant des barges poussées sont à priori différentes de celles des barges remorquées : la technique de formation des convois impose d'avoir des profils avant qui, placés côte à côte, ne se contrarient pas. On est donc arrivé à un profil de forme développable, mais complexe, comprenant une partie droite et une partie inclinée formant avec l'eau un angle d'attaque variant de 30 à 50 degrés. Ce profil est constitué de telle sorte que, même à pleine charge, la partie inclinée dépasse toujours de l'eau et que le rouleau formé par l'eau ne vienne pas déborder sur la partie verticale.

La forme de l'arrière des barges est différente de celle de l'avant. Elle comprend également une partie inclinée et une partie droite, mais terminée de façon que la ligne de flottaison aboutisse cette fois dans la partie verticale. C'est ce qu'on appelle la forme en « deep transom » qui a deux avantages :

— Comme forme arrière d'un convoi placé devant le pousseur, elle permet de

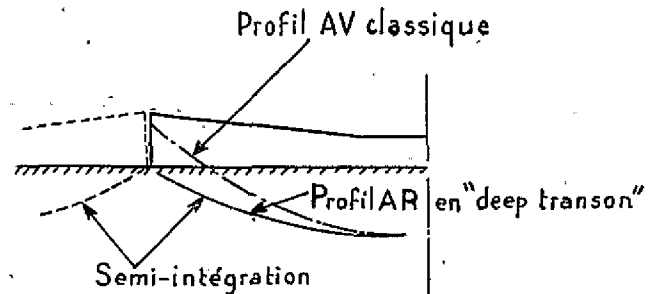


FIG. 2. — Profil des barges classique et en « deep transom ». (D'après C.G.T.A. et Revue de la Navigation Intérieure.)

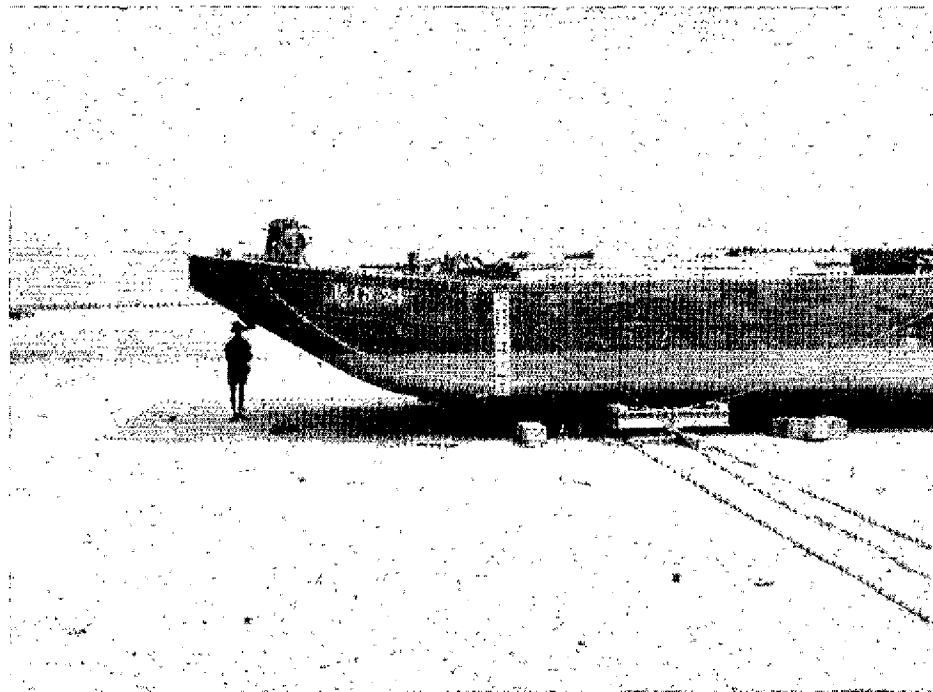
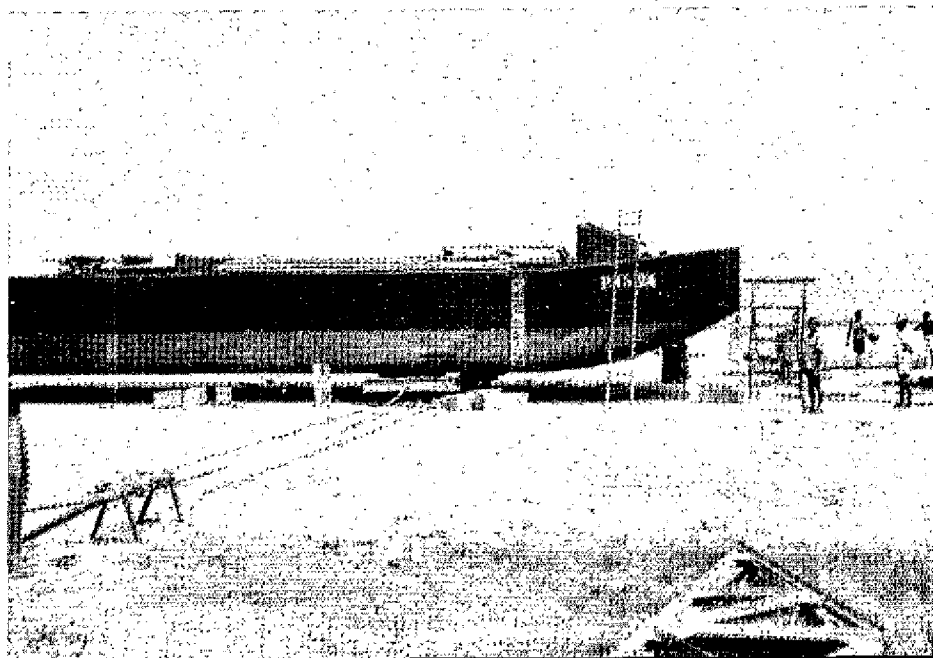


PHOTO 4. — Extrémité de barge : forme classique, type avant.

Photo C.G.T.A.

PHOTO 5. — Extrémité en « deep transom ».

Photo C.G.T.A.



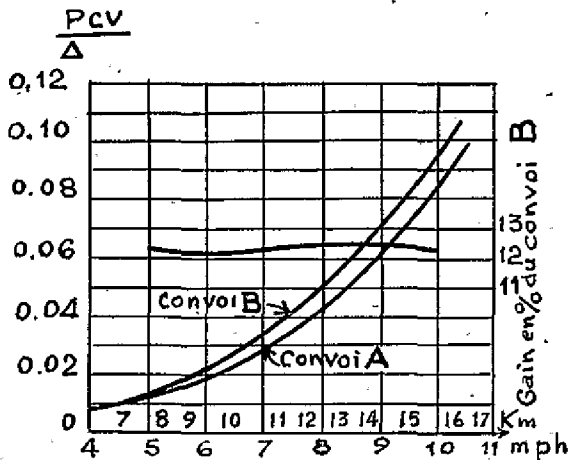
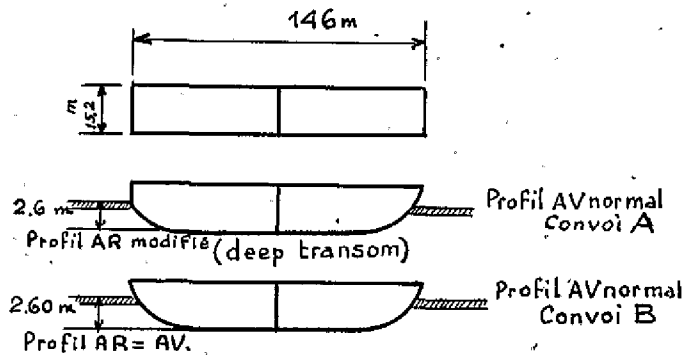


Fig. 3. — Influence de la modification du profil arrière (« deep transom ») sur la résistance à l'avancement d'un convoi. En ordonnée, le rapport puissance en ch/tonnage Δ . Convoi de 5 à 6.000 tonnes. Le gain en faveur du convoi A (arrière en deep transom) est de 12% environ. (D'après C.G.T.A.)

réaliser un gain de l'ordre de 10% sur la résistance à l'avancement.

--- Elle permet d'autre part une intégration partielle du convoi lorsque deux des profils en « deep transom » de deux barges successives se trouvent placés l'un contre l'autre.

— Enfin si l'on désire diminuer encore plus la résistance à l'avancement, l'intégration peut être poussée plus loin ; dans ce cas, la partie arrière d'une barge et la partie avant de la barge immédiatement postérieure sont verticales de façon à s'assembler sans solution de continuité, formant une seule et même coque. Cela suppose bien entendu, pour les deux barges successives, le même tirant d'eau et par conséquent une charge de même importance.

On peut ainsi concevoir des barges de différentes formes ; soit deux extrémités symétriques dessinées comme une forme avant, soit une forme avant classique et une forme arrière « deep transom », soit deux formes en « deep transom », soit une forme verticale et une forme différente, etc... Le choix de ces différents dessins dépend des possibilités de constitution des convois ; il a l'inconvénient de ne permettre l'utilisation des barges que dans une position et dans un sens privilégiés. Le sens du déplacement est toutefois secondaire puisqu'il est toujours facile de faire faire demi-tour à une barge mal orientée.

Le raccordement entre les bordés et le fond des barges est généralement arrondi ; cela permet une gouverne plus facile et réduit la résistance à l'avancement.

Tout ce que nous venons de dire montre que la construction des barges est assez simple puisqu'elles sont faites uniquement de surfaces planes, ou de surfaces développables.

Les convois.

Ce que nous venons de dire sur les formes avant et arrière des barges permet de faire la différence entre les convois dits hétérogènes formés de barges quelconques, les convois semi-intégrés formés de barges ayant chacune une extrémité en « deep transom », et les convois intégrés dont les extrémités successives d'une barge à l'autre sont verticales.

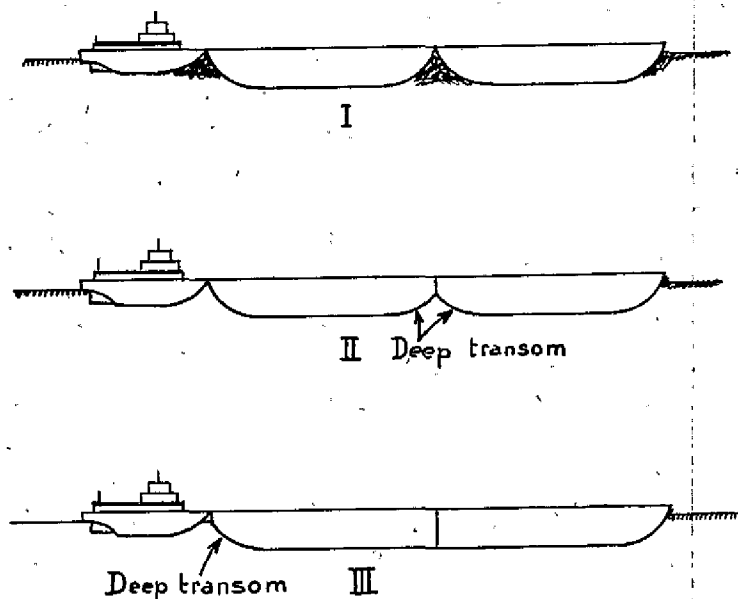


Fig. 4. — Rendement de poussée en fonction de l'intégration des convois.

- I. convoi standard, extrémités AV et AR des barges identiques. — Rendement 1,
- II. convoi semi-intégré. — Rendement 1,2,
- III. convoi intégré. — Rendement de poussée 1,3 à 1,35.

(D'après C.G.T.A.)

Par rapport à un convoi hétérogène, la semi-intégration permet un gain de puissance de 15 à 20 %, l'intégration un gain de puissance de 30 à 40 %.

Vitesses.

Le poussage est d'autant plus intéressant que le chenal navigable est en toute saison de largeur suffisante, que les profondeurs sont convenables toute l'année et que la vitesse du courant reste modérée (3 à 4 km/h).

Pour maintenir une vitesse de 6 à 7 km/h par rapport aux berges, la vitesse du convoi par rapport à l'eau doit être de 10 à 11 km/h dans le cas d'un courant faible et de 14/16 km/h dans le cas d'un courant fort (de l'ordre de 8 à 9 km/h). Le passage du premier cas au second représente une multiplication par 3 ou 4 de la puissance motrice nécessaire, à condition toutefois que la forme des barges soit soigneusement étudiée.

Quand la hauteur d'eau sous la quille diminue, la résistance à l'avancement augmente très vite, elle double par exemple aux vitesses usuelles lorsque la hauteur d'eau sous quille descend de 0,60 m à 0,30 m.

Dans le cas des transports sur le Congo, la vitesse économique est en général voisine de 11 km/heure.

Longueur des convois.

La C.G.T.A. utilise des convois de 200 à 240 mètres en hautes eaux et 100 à 150 m seulement en basses eaux. Dans l'ensemble, on s'efforce de constituer des convois dont toutes les barges aient un tirant d'eau voisin. La figure 6 indique les résistances à l'avancement de différents formes de convoi, selon la disposition des barges. Pour cette raison le jeu entre les barges doit être réduit au minimum ; de même la longueur du convoi doit être la plus grande possible eu égard aux conditions de navigation.

Les pousseurs.

Ils sont mûs par des moteurs diesel. Ce sont la plupart du temps des bateaux à hélices d'un tirant d'eau de 1,20 m à 1,65 m (contre 1,80 m et 2,40 m en Amérique) ; ce faible tirant d'eau tient compte des conditions de navigation sur les rivières africaines, mais il peut néanmoins être trop important dans bien des cas. On utilise alors dans certains

FIG. 6. — Résistance à la tonne de déplacement (R/Δ) pour différentes formations de trains de barges. Noter le bon rendement de la formation 1 + 2 + 1 comparé à la formation 2 + 2. L'existence d'un « ventre » rappelant la section d'un navire apparaît bénéfique.

(D'après C.G.T.A.)

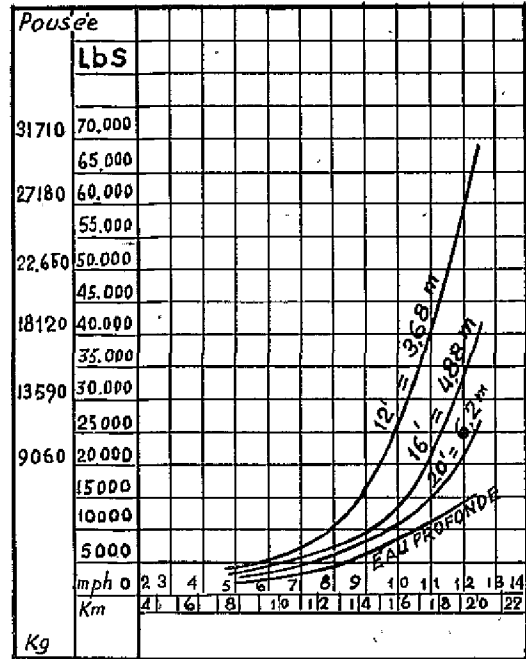
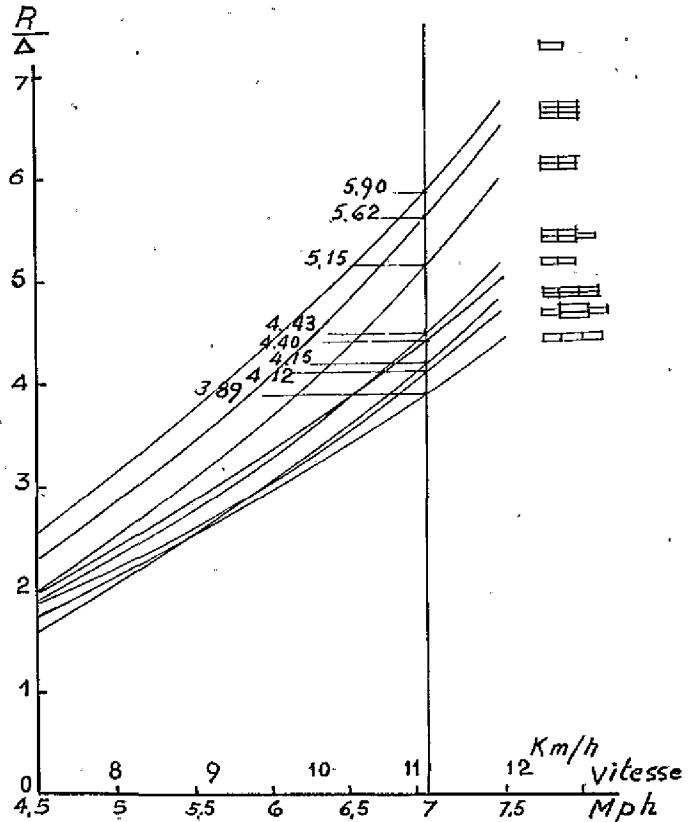


FIG. 5. — Influence de la profondeur d'eau sur un convoi intégré de 150 m de long et de 10 m de large. En ordonnée la poussée, en abscisse la vitesse.

(D'après C.G.T.A. et U.S. Navy.)



cas des bateaux à roues arrière dits « Stern Wheelers » dont l'enfoncement n'est que de 0,65 m à 1 m.

Sur les bateaux à hélices, celles-ci sont montées sous voûte et sous tuyères Kort ; cette disposition permet un bon approvisionnement en eau de l'hélice et un rendement de propulsion amélioré au moins de 25 %. Ils possèdent en outre un gouvernail arrière et des gouvernails avant spéciaux pour faciliter les manœuvres en marche arrière.

Les « Stern Wheelers » ont longtemps posé des problèmes sérieux puisqu'il faut réaliser dans leur transmission un accouplement entre des moteurs diesel tournant à 500 ou 1.000 tours et des roues ne tournant qu'à 30 tours. Ce sont des coupleurs à poudre BILLANT-GENTH qui ont permis de résoudre ce problème d'accouplement. Les roues ont l'avantage de conserver un rendement à peu près constant quel que soit le tirant d'eau sous la quille ; il n'en est pas de même pour les hélices dont le rendement baisse très vite quand le pied de pilote diminue. D'autre part, les pales des roues sont articu-

lées ; ce sont des organes robustes et peu sensibles aux objets qui peuvent se trouver dans l'eau. Il est assez facile de réparer une roue sur la rivière alors qu'une avarie d'hélice oblige à passer dans un atelier souvent fort éloigné.

La C.G.T.A. met en œuvre sur le Congo des pousseurs de 100 à 1.000 ch. Temporairement, la puissance de certaines unités peut être accrue de 25 à 30 % en accélérant le régime de leur moteur ; cette possibilité est précieuse pour le franchissement de rapides dont le courant peut atteindre 15 km/heure. Pour la navigation de nuit, les pousseurs sont équipés de projecteurs BRÉGUET spéciaux à grande portée (2 km).

Les amarres entre pousseurs et barges et entre barges entre elles sont tendues à l'aide de treuils capables de développer un effort de 15 tonnes. Pour la navigation sur le Congo, des liaisons radio permettent au poste central de Brazzaville de correspondre directement avec les navires et avec un certain nombre de postes à terre, sur le Congo, l'Oubangui et la Sangha.

CONCLUSION

D'excellents résultats ont été obtenus depuis une quinzaine d'années par la navigation sur le Congo grâce au poussage. Cette méthode de propulsion se développe en Europe sur la Seine et le

Rhin. Il est probable que cette technique de transport fluvial continuera à prendre de l'importance en raison des avantages qu'elle comporte.

