

IX^e CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION.
DUSSELDORF — 1902.

I^e Section.
5^e Communication.

La résistance des bateaux
à la traction.

Communication

par

G. Rota,

Ingénieur en chef du génie naval italien, Ministère de la Marine — Rome.

Münster i. W.

Buchdruckerei von Johannes Bredt.

1902.



II- 354180

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316724

Nouveaux essais concernant la résistance des bateaux à la traction, spécialement dans les canaux.

Note sur la question des expériences avec les modèles
dans les recherches sur la résistance à la marche des
bateaux en usage dans la navigation d'intérieur.

Communication

par

G. Rota,

Ingénieur en chef du génie naval italien, Ministère de la Marine — Rome.

A l'occasion du VIII^{ème} Congrès international de navigation, qui eut lieu à Paris en 1900, j'eus l'honneur de présenter un bref mémoire¹ sur l'argument de la résistance à la marche des bateaux employés pour la navigation intérieure. — Principal but des recherches fut celui de trouver une réponse à la question posée par le VII^{ème} Congrès (Bruxelles) c'est à dire si la loi de similitude mécanique établie par Newton et appliquée aux navires de mer par le célèbre expérimentateur anglais W. Froude, pouvait aussi bien s'employer dans les recherches expérimentales avec les modèles des bateaux dont on se sert pour la navigation intérieure. Et voici les conclusions auxquelles je suis parvenu : »Les essais avec les modèles des bateaux employés dans la navigation intérieure pourront être admis comme moyen d'établir les valeurs relatives des différentes formes de bateaux et de choisir les plus convenables, même en les essayant dans le simulacre d'un profil donné de canal, mais ils ne pourront jamais donner les éléments de la résistance vraie qu'on rencontre dans les conditions réelles, parce qu'on ne sait pas quelle doit être l'augmentation de résistance produite par la nature des surfaces mouillées des berges.

Si, au contraire, il s'agit de fleuves à grande profondeur, ou de canaux de dimensions suffisantes pour ne pas avoir d'influence pratique sur la résistance au mouvement, alors les conclusions qu'on peut tirer des expériences avec les modèles peuvent être admises avec grande

¹ 4^{me} question. Résistance au mouvement des bateaux, expériences avec des modèles. — G. Rota.

confiance, même pour déterminer absolument, les valeurs de la résistance à la marche des bateaux.»

On pouvait toutefois faire encore avec les modèles de bateaux en mouvement dans les canaux beaucoup de recherches en comparant les formes des bateaux même et des canaux pour satisfaire mieux que possible aux exigences spéciales de chaque cas particulier.

C'est avec une vive complaisance, que nous avons constaté que le Congrès de Paris (VIII^{ème}) a ratifié cette idée, car nous trouvons dans le compte rendu du même Congrès la conclusion suivante :

»Les résultats des recherches faites depuis le Congrès de Bruxelles (VII^{ème}) en vue de déterminer la résistance des bateaux à la traction, justifient pleinement la résolution adoptée par ce dernier Congrès à savoir qu'il est nécessaire de poursuivre les recherches et de les mener parallèlement avec des bateaux en vraie grandeur et avec des modèles, *les premières pouvant seules donner des valeurs absolues exactes, les secondes permettant d'effectuer rapidement et à moins de frais la comparaison entre les différents types d'embarcation ou les différents profils des canaux.*»

Cependant dans le cours de la discussion, qui eut lieu après la lecture de mon mémoire, on a fait quelques objections auxquelles je ne sais mieux répondre qu'avec cette communication, qui dans tous les cas pourra bien servir de plus ample éclaircissement au très bref exposé de mon mémoire présenté au VIII^{ème} Congrès.

Resumons brèvement le procédé des mes expériences.

J'ai pris en examen les conditions de résistance d'un bateau commun employé dans la navigation intérieure et j'ai choisi la »Jeanne«, qui a déjà été sujet d'études par expériences de remorquage en vrai par M. De Mas¹, l'éminent Inspecteur général des Ponts et chaussées en France. Les essais de remorquage ont été faits au moyen d'un modèle de bateau à l'échelle de $\frac{1}{10}$ dans un simulacre de canal de forme régulière et symétrique à l'égard du plan diamétral longitudinal du bateau. — Le profil de la section du canal pouvait se varier à volonté. — On commença par le profil rectangulaire, passant ensuite à celui trapézoïdal à inclination variée, pour finir avec celui qui correspondait à un canal avec fond plat, horizontal et de grande largeur relativement aux dimensions du bateau. En variant successivement la profondeur du canal, la distance entre les talus et l'inclination des mêmes talus, je fus en condition d'examiner, dans les limites considérées la fonction $f(r, v, i, l, \alpha)$, savoir de déterminer la relation entre la résistance à la marche (r) et la vitesse (v), étant donnés les éléments :

profondeur du canal (i);

largeur des talus (l);

inclination des talus (α).

¹ Recherches expérimentales sur le matériel de la batellerie — par F. B. de Mas, Inspecteur général des ponts et chaussées. Paris. Imprimerie Nationale 1891—97.

La limite maximum de la vitesse du modèle de bateau était, à-peu-près, de 1 mètre par sec.

Les limites de la profondeur: de 275 mm à 3000 mm, avec les positions intermédiaires correspondantes à: 580 mm et 780 mm.

Celles de la largeur des talus: de 1000 mm à 6000 mm avec les positions intermédiaires correspondantes à: 2000 mm et 3000 mm.

Celles, enfin, de l'inclination des talus de 0° à 90°, avec les positions intermédiaires correspondantes, à peu près, de 22° et 45°.

Les essais s'exécutèrent dans le bassin pour les expériences d'Architecture Navale à la Spezia, avec autorisation spéciale du Ministère de la Marine. -- Un plan horizontal très solide construit avec des grosses planches en bois, bien rabotées et bien assemblées, était mis en place pour constituer le fond du simulacre de canal et des dispositions particulières étaient assurées pour maintenir un tel plan à hauteur donnée au dessous du niveau de l'eau du bassin. Les talus étaient réalisés avec de semblables planches de bois bien solides et ayant une hauteur suffisante pour rester dans tous les cas avec le profil supérieur au dessus du niveau de l'eau. Des particulières dispositions assuraient de maintenir les berges du modèle de canal à l'inclination donnée sur l'horizont. -- Pour bien conduire au but les expériences de traction avec le modèle de la »Jeanne«, on avait pris toutes les précautions nécessaires pour obtenir l'uniformité de la vitesse de traction du bateau en chaque expérience dans le simulacre de canal — la plus grande exactitude dans la régistration de la résistance, la régularité de la route du modèle de bateau, son plan diamétral ayant été toujours maintenu dans sa direction initiale — l'uniformité de l'état de rugosité des parois du canal et de la surface du modèle de bateau — l'uniformité des conditions de l'eau du bassin etc.

Pour chaque spéciale disposition du fond du canal et des talus on a recueilli les éléments nécessaires pour déterminer la fonction (r, v) sous la forme de courbes dont les abscisses représentaient la vitesse (v) et les ordonnées la résistance (r) du modèle.

On avait, par conséquent, trois grandes classes de courbes distinguées, chacune, par la même profondeur du canal savoir:

1^{ère} classe: profondeur mm 275

a)	largeur des talus au pied	mm 1000	inclination	0°
	»	»	»	22°
	»	»	»	45°
b)	largeur des talus au pied	mm 2000	inclination	0°
	»	»	»	22°
	»	»	»	45°
c)	largeur des talus au pied	mm 3000	inclination	0°
	»	»	»	22°
	»	»	»	45°

d) sans les talus.

2^{ème} classe: profondeur mm 580: même subdivision;

3^{ème} classe: profondeur mm 780: même subdivision.

Une série d'essais à profondeur de mm 3000, la plus grande qu'on pouvait obtenir dans le bassin, achevait la partie expérimentale de l'étude. Ayant ainsi déterminé les éléments de la résistance à la marche du bateau dans les conditions de la voie navigable ci devant exposées, on compila 9 figures particulières contenant des courbes de résistance, chacune correspondant à une vitesse, mesurant les inclinations des talus sur l'échelle des abscisses. Les figures ainsi assemblées permettaient de déterminer la résistance à la marche en fonction de la vitesse, correspondant à un profil quelconque de canal, bien entendu ayant la forme symétrique et trapézoïdale ou rectangulaire et dimensions contenues dans les limites fixées par les essais avec le modèle du bateau. Ces diagrammes généraux étaient reproduits en petite échelle dans le mémoire présenté au Congrès de 1900¹, et il ne vaut plus la peine d'en parler ici. Seulement nous répétons qu'ils étaient applicables au cas du modèle de la «Jeanne» construit en paraffine et au simulacre de canal avec parois en bois raboté, toujours de la même rugosité et de plus on ne tenait pas compte de toutes les causes qui pouvaient augmenter la résistance et qu'on rencontre en vraie grandeur, c'est à dire l'action du gouvernail, pour maintenir le bateau en route, les oscillations pour les rotations qui succèdent dans le bateau autour d'un axe vertical pendant le remorquage, et qu'on ne peut introduire dans les expériences avec les simulacres établies selon la méthode rationnelle de M. Froude.

Guidé par les neuf diagrammes fondamentaux déjà rapportés, j'eus occasion de faire des comparaisons entre deux types de profils de canal un avec section rectangulaire, l'autre avec section trapézoïdale tous les deux ayant la même surface de section et la même profondeur. L'avantage a été pour le type trapézoïdal. — Selon moi il n'y a pas de doute sur cette déduction car il n'est pas question d'une opinion personnelle, mais elle est la conséquence de l'interprétation des diagrammes fondamentaux qui sont donnés par des véritables mesurations de forces et de vitesses sous différentes conditions géométriques du canal dans lequel fut remorquée la «Jeanne» en petite échelle.

Et ici je dois ouvrir une parenthèse pour ôter complètement le doute qui a été exprimé pendant la discussion de mon mémoire au Congrès de 1900, à propos d'une discordance, tout à fait apparente, entre les éléments: profondeur, résistance, vitesse dans le cas de mouvement du modèle de la «Jeanne» dans les canaux trapézoïdaux de surface égale à m 1,50 avec inclination des berges fixées à 54°, cas reporté dans la figure 24 Pl. II du mémoire ci dessus. Cette figure et toutes les

¹) Figures 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 11, du mémoire déjà cité.

autres annexées au mémoire, à cause des imperfections inévitables de la reproduction typographique, n'étaient plus en condition de donner des éléments de mesure et l'harmonie entre les différentes courbes représentant la résistance à la marche pour différentes profondeurs du canal, qui était parfaite dans mes originaux ne pouvait plus s'exiger dans une telle reproduction.

Par conséquent la remarque qui a eu lieu à cause de cette reproduction imparfaite, tombe d'elle même.

Néanmoins je veux relater ici d'autres, comparaisons et plus évidentes, entre deux profils, l'un rectangulaire et l'autre trapézoïdal de même profondeur et de même surface de la section droite.

J'ai choisi le cas de la profondeur de mm 275 qui correspond à une des stations fondamentales du plan horizontal des simulacres des canaux dans les expériences originales. La fig. 1 montre la variation de la résistance à la marche du modèle de bateau à la vitesses de m 0,3, 0,4, 0,5 et 0,6 par sec., dans les deux cas. — Les courbes représentées dans la figure ont été relevées *directement*, par les diagrammes fondamentaux et les points a, a¹ — b, b¹ — c, c¹ — correspondant aux valeurs de la résistance dans les deux cas, à égalité de surface, profondeur et vitesse, respectivement. — La supériorité du profil trapézoïdal sur le profil rectangulaire en résulte tout à fait évidente.

Une deuxième partie de l'étude présentée au Congrès de 1900 contenait la comparaison entre les résultats de quelque essais exécutés en France par M. de Mas avec le bateau la «Jeanne» et les correspondants à l'échelle de $\frac{1}{10}$, en cherchant d'utiliser, mieux que possible, les expériences exécutées à la Spezia avec le modèle du même bateau dans les simulacres de canaux ayant formes régulières et berges en bois rabotées. Je n'avais pas beaucoup de confiance sur le succès de la comparaison, parce que d'un côté on avait un bateau en bois soumis à des essais de remorquage, pour longtemps et par conséquent ayant le coque probablement déformée, et encore on avait exécutés les essais dans des canaux avec talus de différentes nature qui affectait en différente mesure la résistance à la marche du bateau, de l'autre côté j'avais un modèle de bateau avec la carène très régulière et reproduisant, très exactement, les formes représentées dans le plan que je dois à la courtoisie de M. de Mas, et enfin les simulacres des canaux étaient, en tous les cas, avec les talus de même rugosité.

Une des comparaisons, dont il est question dans le mémoire de 1900, se reportait au mouvement de la «Jeanne» dans la Seine et qui par conséquent n'était pas exposés à l'influence du voisinage des berges et du fond, elle était donc semblable au cas d'un bateau de mer et on avait ainsi beaucoup de probabilité de succès dans la comparaison qu'on allait faire.

Les prévisions étaient appuyées par les suivantes considérations sur la composition de la résistance à la marche d'un bateau dans un canal.

Sans considerer, d'avance, les irrégularités de la surface mouillée du bateau et des berges du canal et supposant que le liquide dans lequel a lieu le mouvement, soit capable de transmettre en totalité l'énergie qui lui est donnée, en un mot sans considerer l'influence du frottement, de la viscosité du liquide etc, on peut admettre que la résistance à la marche du bateau dans cette condition, tout à fait idéale, dans eaux illimitées, se compose des suivants facteurs:

1^o résistance par formation de remous;

2^o résistance par formation des vagues.

Si les parois du canal sont rapprochées à suffisance au bateau pour changer le mouvement de remouage et par vagues considerées, on a un autre facteur, à savoir:

3^o résistance additionelle par l'influence des berges et du fond.

Encore, en considerant que le liquide ait les caractères ordinaires aussi bien que les parois des berges et la surface mouillée du bateau, on a:

4^o résistance par frottement sur la surface de la carène du bateau;

5^o résistance par le frottement qui a lieu sur les parois du canal.

Il y a d'autres facteurs supplémentaires que l'on rencontre dans les services ordinaires d'un bateau, à savoir:

6^o résistance par les déformations de la coque, notables lorsqu'elle est en bois;

7^o résistance par l'action du gouvernail qui doit nécessairement entrer en fonction pour tenir en route le bateau;

8^o résistance additionelle par les oscillations naturelles qui surviennent pendant le remorquage autour d'un axe vertical.

Or, tandis que l'on pourrait appliquer au cas de la vraie grandeur les facteurs de résistance No. 1, 2 et 3, quand ils fussent connus ou singulièrement ou dans leur ensemble, obtenus par les essais en petite échelle, car ils suivent la loi de similitude de Newton, et aussi bien, avec suffisant exactitude, celui No. 4 avec le système de calcul établi par Froude en changeant le coefficient de frottement et l'exposant de la vitesse, il va sans dire que, à cause de la nature même du revêtement des berges et du fond il n'est pas possible de juger *à priori* quelle doit être l'augmentation de résistance causée par l'influence des berges mêmes et du fond et par cela on n'a pas un moyen rationnel pour établir, *à l'avance* la variation de la résistance à la marche pour cause du facteur Nr. 5 dans les applications à la vraie grandeur des résultats obtenus en petite échelle.

Egalement, il n'est pas possible de reproduire les facteurs No. 6, 7 et 8. — Dans le cas de la »Jeanne« en vraie grandeur on était précisément, dans la condition de connaître la valeur complexe de la résistance aux No. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 et on était de même dans l'impossibilité de séparer la partie correspondante aux premiers cinq éléments et en particulier celui au No. 5. — Dans le cas du modèle de

la même »Jeanne« on était, par contre, en position d'évaluer la totalité des éléments au No. 1, 2, 3, 4 et 5 liés par la condition de l'uniformité de la rugosité des berges et du fond du simulacre de canal. — On avait aussi la possibilité d'évaluer la différence de la résistance par le fait que le modèle était en paraffine et le bateau en vraie grandeur en bois goudronné, mais une grande lacune on devait subir par le manque de moyens rationnels pour adapter les courbes de résistances à la marche au conditions différentes qu'on doit avoir rencontré en vraie grandeur, savoir l'impossibilité d'introduire, à priori, une correction nécessaire pour cause que le facteur No. 5 n'était, *certainement* pas correspondant aux conditions réelles.

Exposée la question des comparaisons entre les essais de la »Jeanne« à vraie grandeur et de son modèle à l'échelle de $\frac{1}{10}$, on reconnaît qu'il n'y avait pas beaucoup d'espoir de les voir couronnés de succès et les faits ont confirmé une telle opinion. Les canaux dans lesquels a été remorquée la »Jeanne« en France et qui furent choisis pour la comparaison, sont illustrés dans le mémoire de 1900. C'était pour quelque cas qui correspondait à un profil de canal ne pouvant être considéré comme symétrique, ni trapézoïdal, ni rectangulaire, que les neuf diagrammes fondamentaux obtenus avec les essais de la »Jeanne« en petite échelle, ne pouvaient s'appliquer exactement. Je dus pourtant introduire des modifications dans le profil de quelque section de canal pour la transformer en figure de la forme considérée. Selon mon opinion les mêmes modifications ne pouvaient changer pratiquement les résultats parce que les profils considérés, au point de vue de la résistance du modèle, étaient à classer comme pratiquement équivalents à ceux naturels de forme irrégulière. La comparaison de chaque cas particulier donna les résultats sommaires suivants.

N. d'ordre	Dénomination de la voie navigable	Forme de la section droite considérée	Résultats de la comparaison entre les éléments de la résistance obtenus avec les essais en vraie grandeur et ceux en petite échelle.
1	Seine	—	satisfaisant
2	Dérivation de Joigny	trapézoïdale	plus grande résistance dans les essais en vraie grandeur
3	Canal de Bourgogne	trapézoïdale	le même
4	Canal de la Cure	trapézoïdale	le même
5	Canal de la Marne au Rhin.	quasi-rectangulaire	concordance suffisante
6	Canal de la Marne au Rhin	quasi-rectangulaire	le même
7	Canal de la Marne à la Saône	trapézoïdale	plus grande résistance dans les essais en vraie grandeur
8	Canal de la Marne à la Saône (Balesmes).	quasi-rectangulaire.	concordance suffisante.

Ce fait prouve l'existence d'un défaut dans le système de recherches expérimentales en petite échelle pour pouvoir en faire l'exacte application dans les conditions de vraie grandeur, défaut auquel, selon mon opinion, il n'est pas possible de trouver un remède, car la nature de la surface des berges et du fond des canaux a beaucoup d'influence sur l'augmentation de la résistance au mouvement du bateau et on ne peut pas affirmer quelle est effectivement la part qu'elle a dans la résistance au mouvement. — Et si une grossière concordance on a eu dans les cas No. 5, 6 et 8 pourquoi on ne devait pas l'obtenir de même dans les autres: 2, 3, 4 et 7? Cela veut dire que pour ces derniers l'influence des berges devait être de plus grande importance de celle qui correspondait aux cas: 5, 6 et 8 pour lesquels, par simple hasard elle est résultée à-peu-près en harmonie avec celle donnée par les parois de bois des simulacres à l'échelle de $\frac{1}{10}$.

Par conséquent c'est une vaine prétention celle de demander aux essais avec les modèles des bateaux et des canaux des données précises, absolues, sur la résistance à la marche, et c'est avec bien de savoir que, dans cet ordre d'idées, le VIII^{ème} Congrès (Paris 1900) a fait les conclusions que nous avons relaté plus haut.

Il reste ainsi un vaste champ aux études expérimentales avec les modèles des bateaux de navigation d'intérieur, car on peut arriver à des grands progrès dans ces importantes recherches en comparant différents types des bateaux et différents profils de canaux. — Dans le cas des bateaux en service sur les grands fleuves les essais avec les modèles donneront des précieux éléments de valeur absolue tout à fait comme pour les bateaux employés dans la navigation maritime, pour laquelle les études expérimentales ont chaque jour un plus grand succès et qui commencées en Angleterre par le célèbre W. Froude, à présent suivent non seulement en Angleterre par son fils R. E. Froude et par Mr. Denny, mais aussi bien près des autres nations qui ont un intérêt particulier au progrès de la navigation, c'est à dire en Italie depuis 1888 dans le bassin d'essais de l'arsenal de Spezia, en Russie depuis 1890 près de S. Petersbourg, en Amérique depuis 1899, en Allemagne depuis 1900 près de Bremerhaven et bientôt aussi en France.

G. Rota,

Ingénieur en chef du Génie Naval Italien.
Ministère de la Marine.

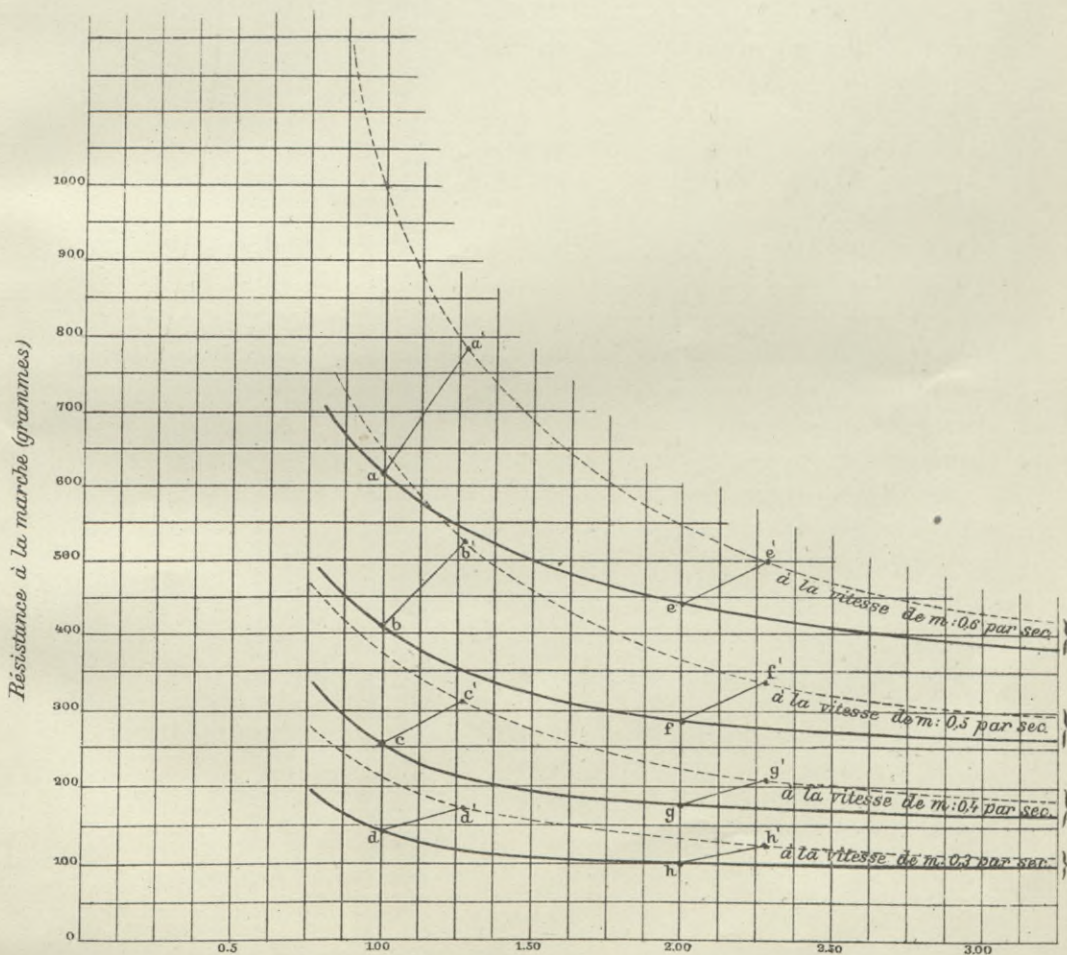
Résistance à la marche du modèle de la „Jeanne“

à l'échelle de $\frac{1}{10}$, dans canaux ayant la profondeur de m. 0,275 et la section droite rectangulaire ou trapézoïdale, avec talus inclinés 45° .

----- courbes correspondantes aux profils rectangulaires.

———— courbes correspondantes aux profils trapézoïdaux

a, b, c, d	points corresp. à la section trapézoïdale	} de même surface
a' b' c' d'	„ „ „ „ „ rectangulaire	
e, f, g, h	„ „ „ „ „ trapézoïdale	} de même surface
e' f' g' h'	„ „ „ „ „ rectangulaire	



Largeur entre les Talus (mètres)

(pour les profils trapézoïdaux la mesure a lieu au pied)

