

LE CONTACT DES EAUX FLUVIALES AVEC LES EAUX MARINES. LA PENETRATION DES EAUX DE LA MER NOIRE DANS LES EMBOUCHURES DU DANUBE

Constantin BONDAR

Institut National de Météorologie et Hydrologie
Sos. Bucuresti-Ploiesti nr.97, Bucarest, Roumanie
Tel : +40-1- 230.32.40 ; Fax : +40-1-230.31.43

Abstract. A display of the outcome of combined hydrological measurements in the stream and Black Seawater contact area at the sea opening of the Sulina channel, is being presented. Unlike the free jets of water currents discharged into large equal-density filled water basins, at the mouth of channels emptying themselves into the sea and oceans it is seen that the streamlines go into the sea under much larger deflection angles, reaching values up to nearly 40 degrees. The cause of this flare out is for by the discrepancy which exists between river and seawater densities. As it is known, the hydraulics involved in the contact of free streaming of various densities, is intricate. The observations on site, at the mouth of the Danube, have shown that within the area where the river water comes into contact with the seawater, three superposed layers of water are formed (Fig.1): the plain river water layer-the river wedge-very slightly changed by the seawater salt, having the direction of flow, seaward; the intermediate brakish water layer -wedge of the boundary layer- having the same direction of flow as river wedge; and the lower layer of plain seawater-the seawater wedge-where the direction of flow is reversed. The forming up of the three wedges when the Froude number in the streamwater reaches the critical value put in Equation (1). Depending on the hydrologic pattern of the river, the Froude number of the streamwater in the outflow area can be either greater or smaller than figures contained in Equation (1). When the Froude number in the outflow area goes beyond the level (Equation 3) then the contact between the two bodies of water takes place at sea. When the Froude number in the outflow area, is less then the critical level (Equation 2), then the seawater encroaches upon the river bed, and the contact of the two bodies of water is done mixtly, in the river bed and at sea. According to the two river and seawater contact situations, another two hydrodynamical spectra for the riverwater fanning out into the sea, are being forming (Fig.2): the fan-like spectrum, when the seawater comes into the river bed; the jet-like spectrum, when the seawater keeps clear of the bed. The divergence of the surface streamcurrents when the spectrums fan like, realizes at angles wider then 30 degrees, and the flat limits of the river wedge keep unchanged with respect to the bodies of water (Fig.4). The divergence of the surface streamcurrents when the spectrums is jet-like,realizes at angles subtending 7 to 9 degrees as far as the area where the hydraulic prerequisite expressed in Equation (1) fulfils (Fig.3).

Key words: hydrological measurements, hydrodynamical spectra, Froude number, Danube mouth, Black Sea

GENERALITES

Dans cette étude on présent quelques caractéristiques du processus de contact entre les eaux marines et fluviales in situ. Pour l'élaboration de cet ouvrage on a utilise les observations et mesures hydrologiques, effectuées a l'embouchures du canal de Soulina pour étudier l'hydraulique de contact des eaux fluviales avec les eaux marines.

Les courants fluviaux a l'embouchures du Danube peuvent être considères comme un prolongement de l'écoulement des eaux fluviales dans les eaux marines. Du point de vue hydraulique cet écoulement a la forme d'un jet liquide noyé a niveau libre, limite latéralement par les eaux de la mer qui constituent de vrai parois liquides.

Ce phénomène complexe apparaît très souvent aux débouches a niveau libre dans les mers ou océans, aux embouchures des fleuves, des rivières, des canaux, la ou les liquides qui entrent en contact, ont des densités différentes.

A l'encontre des jets liquides habituelles, jets fluviaux qui se dispersent dans les mers et

océans, sont noyés dans une masse d'eau de grand densité. A ce point de vue, le contact du jet fluvial avec les eaux marines présente des particularités hydrodynamiques complètement différentes des jets liquides a niveau libre noyés dans des liquides de la même densité.

CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES ET HYDRAULIQUES

Les recherches hydrologiques qui ont fait a la bouche de bras de Soulina, ont élucide surtout les problèmes concernant les limites verticales et horizontales en plan, des courant fluviaux, la variations des vitesses, la distribution spatiale de la salinité etc.

Les études in situ (Bondar, 1968; 1968a) ont démontre que, aux embouchures de Danube, dans la zone de contact entre les eaux fluviales et marines, on observe trois couches superposes d'eau (fig.1):

- la couche supérieure d'eau fluviale pure (le coin d'eau fluvial), très peu altérée par la salinité, ou l'écoulement est dirige vers la large de la mer;

- la couche intermédiaire d'eau marine (la coin de la couche limite) très peu altérée par l'eau douce du fleuve, ou l'écoulement est dirigé dans même sens que le coin fluvial;

- la couche inférieure d'eau marine pure, très peu altérée par l'eau fluviale et par le coin intermédiaire, ou écoulement est dirigé en sens contraire.

Le coin fluviale (supérieure) et le coin limite, les deux ayant le même sens d'écoulement, forment ensemble le jet fluviale.

Le coin d'eau limite et le coin inférieure avec le contre-courant de fond, les deux salins, forment ensemble le coin d'eau saline.

Sur la figure 1, on donne en plan vertical et longitudinal un exemple de contact des eaux fluviales et marines à l'embouchure du bras de Soulina.

Au dessus de cet figure, on voit la distribution au long du contact, la variation de la vitesse moyenne dans le coin fluvial (U_1), dans le jet fluvial (U_f) et dans le coin marine ($-U_2$). Sur la figure 1b, ont été séparés par des lignes interrompues et des lignes et points, les trois couches caractéristiques.

La formation de trois coins d'eau, commence quand le nombre Froude atteinte à l'embouchure une certaine valeur définie par la relation suivante (Bondar, 1968a; Kuelegan, 1968):

$$Fr = U_0^2 / g \cdot h_0 = \Delta \gamma_{21} / \gamma_1 \quad (1)$$

Où: U_0 est la vitesse moyenne du courant fluvial dans la section de l'embouchure (m/s);

h_0 - la profondeur du courant dans la section de l'embouchure (m);

g - l'accélération de la gravitation (de 9.8 m/s²);

γ_1 - le poids spécifique de l'eau fluviale (t/m³);

$\Delta \gamma_{21}$ - la différence entre le poids spécifique de l'eau de mer (γ_2) et celui de l'eau fluviale (γ_1).

Pour connaître les limites de la dispersion horizontale dans la mer des masses liquides fluviales et de vitesse de surface du jet fluvial, ont été organisées à l'embouchure du canal de Soulina des mesures des courants fluviaux de surface avec des flotteurs de surface. Les trajectoires des flotteur constituent une image plane très suggestive pour voir des limites de dispersion dans la mer du jet fluviale (fig.2a, b).

En examinant les trajectoires des flotteurs de surface employées pour chaque mesure, il résulte que des masses d'eaux fluviales une fois échappées des limites du lit fluvial, sont dispersées librement en éventail dans la mer. La forme en éventail du jet fluvial dépend du régime hydrologique du Danube et du régime de la direction et force du vent.

L'angle de divergence des trajectoires des flotteurs est moindre si les débits d'eau à l'embouchure sont plus grands, et plus grands si les débits sont moindres. Sur la figure 2 on voit cette caractéristiques d'une façon prégnante. On peut expliquer ces caractéristiques du jet fluvial de la façon suivant:

Les observations (Bondar, 1968) et la théorie (Bondar, 1968a; Keulegan, 1966), montrent que grâce aux différences de densité entre les eaux marines et fluviales, dans la section de dispersion dans la mer, masses d'eau des courants fluviaux sont forcés de flotter à la surface. Long temps après la sortie dans la mer, les masses fluviales gardent leur uniformité, sans mélange considérable avec les eaux de mer, ce qui détermine l'élargissement et l'amincissement rapide du jet fluvial, phénomène provoque par une condition hydrodynamique critique (Bondar, 1968a) du jet fluvial, exprimée par le nombre Froude sous la forme de l'équation (1).

Si dans une section au long du jet fluvial apparaît une telle condition hydrodynamique critique, exprime par l'équation (1), les masses d'eau du jet fluvial se détachent du fond et flottent en se répandant rapidement à la surface de la mer.

Ainsi, entre l'embouchure et la section où se produit la condition de l'équation (1), l'écoulement des masses d'eau fluviales a une caractère classique, comme si le jet fluviale était noyé dans une masse liquide latérale de la même densité, tandis qu'au delà de la section critique, l'écoulement des masses d'eau fluviales, ont la forme d'un éventail très évasé, qui en plan vertical s'amincit d'un façon illimitée vers le large.

Si la condition hydrodynamique critique de l'équation (1) se produit exactement dans la section de l'embouchure, la forme éventail en plan horizontal du jet fluvial, commence à s'évaser brusquement juste à l'embouchure.

Si dans la section de l'embouchure le nombre Froude diminue sous la valeur critique exprime de l'équation (2), alors il se produit un phénomène nouveau, à savoir; le jet fluvial sous la pression des eaux marines ne peut pas occuper intégralement la section de l'embouchure, et dans la couche de fond du lit, pénètre l'eau saline de la mer.

$$Fr < \Delta \gamma_{21} / \gamma_1 \quad (2)$$

La théorie (Bondar, 1968a; Keulegan, 1966) et les résultats des dépouillements de données issues de mesures in situ, montrent que la forme plane du jet fluvial, est invariable dans la conditionne (2).

Sur la figure 3 on a donné un exemple de

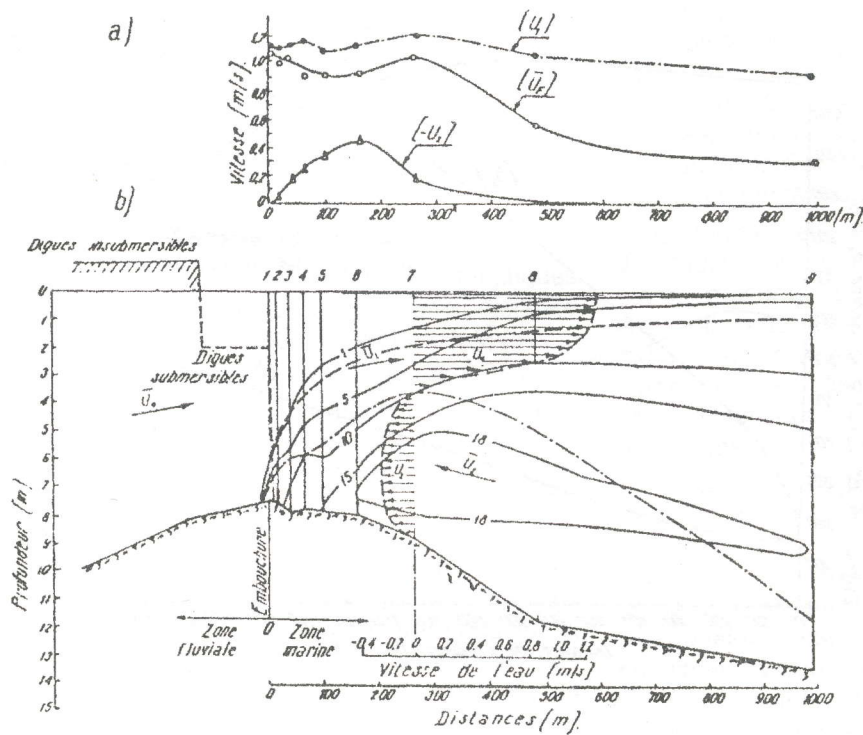


Fig.1 Distribution de la vitesse et de la salinité dans l'axe de l'embouchure du canal de Sulina le 31.03.1967.

a. Variation de la vitesse moyenne dans le coin fluvial (U_1), dans le jet fluvial (U_j) et dans le coin marin (U_2).

b. Distribution verticale de la salinité (‰) et de la vitesse (m/s).

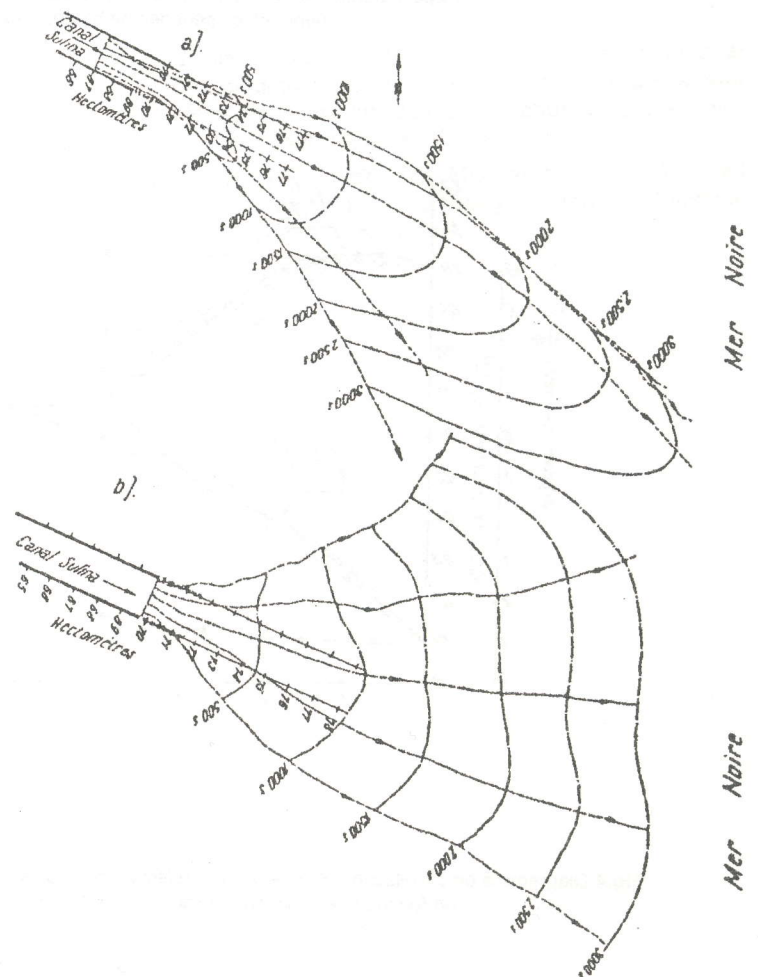


Fig.2 Trajectoires et fronts de flotteurs lancés de bouche du canal de Sulina pour mesurer des courants fluviaux de surface, le 29.06.1967 (a) et le 28.09.1967 (b).

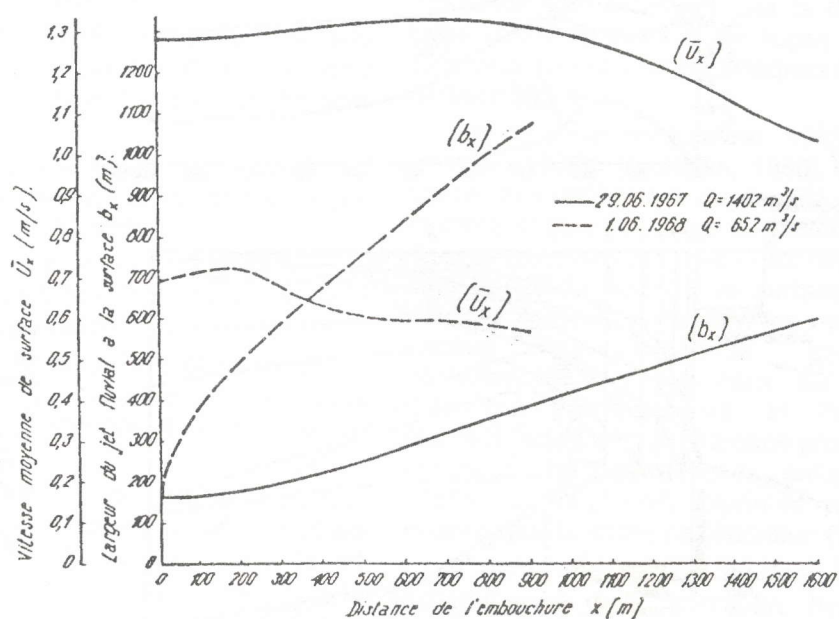


Fig.3 Variation de la largeur (b_x) et de la vitesse moyenne de surface, depuis l'embouchure, pendant les périodes de hautes eaux (a) et de basses eaux (b).

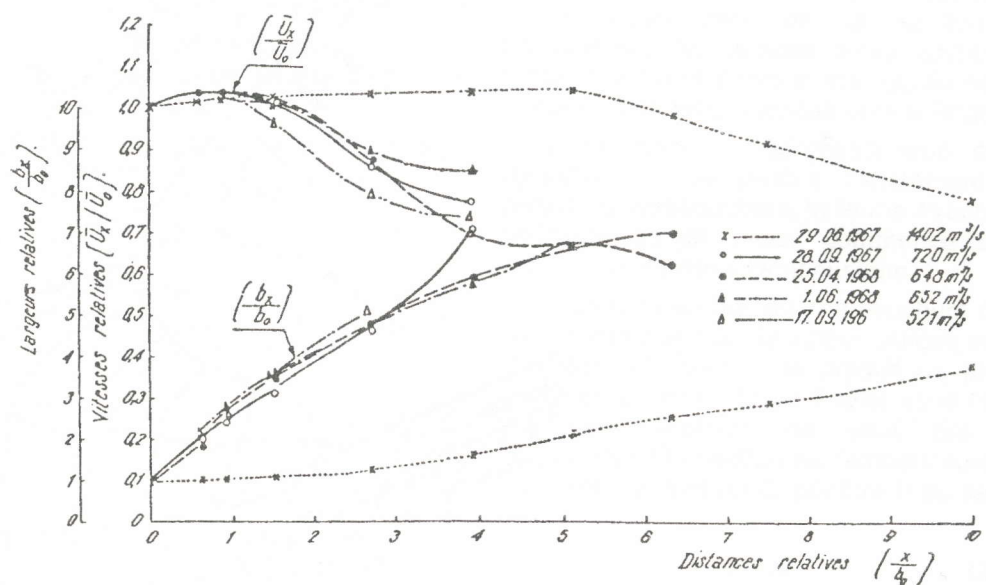


Fig.4 Diagramme de corrélation entre les valeurs relatives de la largeur (b_x/b_0) et de la vitesse moyenne de surface (U_x/U_0), en fonction de la distance relative (x/b_0) depuis l'embouchure du canal de Soulina.

variation de la largeur (b_x) et de la vitesse moyennes (U_x) a la surface du jet fluvial, quand dans la section de l'embouchure il y a la condition critique exprime par l'équation (2) - le jour de 01.06.1968.

L'autre exemple de la figure 3, se réfère a une situation hydrodynamique oppose, exprime par l'équation (3):

$$Fr > \Delta y_{21}/y_1 \quad (3)$$

quand le jet fluvial conserve les caractéristiques du jet fluvial classique jusqu'à une distance d'approximative de 300-400 m de l'embouchure.

Dans la zone ou la condition de l'équation (1) est remplie, se produit le détachement du fond marin du jet fluvial et les masses fluviales se répandent rapidement a la surface de la mer. Cette caractéristiques apparaît sur la diagramme (b_x) de la figure 3, pour la date de 29.06.1967.

En disposante de cinq séries de mesures complètes avec des flotteurs des courants fluviaux de surface, on a élaboré les diagrammes de la largeur relative (b_x/b_0) et de la vitesse moyenne de surface (U_x/U_0) du jet fluvial, fonction de la distance relative (x/b_0) depuis l'embouchure (fig.4).

REFERENCES

- BONDAR, C., 1968, Aspecte ale hidrodinamicii maselor de apa la gura canalului Sulina (Aspects de la hydrodynamique des masses d'eau a l'embouchure de Soulina): Studii de hidrologie, XXV, Bucuresti.
- BONDAR, C., 1968a, Asupra conditiilor hidraulice si hidrologice de pătrundere a apelor Mării Negre în

De cinq séries de mesures, quatre séries ont été effectuées dans les conditions hydrologiques de l'équation (2), de façon que la superposition des points et des courbes de corrélation de la figure 4, corresponde aux journées de 28 septembre 1967, de 25 avril 1968, de 1 juin 1968 et 17 septembre 1968 doit être considérée comme un résultat logique des phénomènes hydrauliques produit au contact des eaux fluvial et marines.

La mesure effectuée a l'embouchure du canal de Soulina le 29 juin 1967, est différente des autres mesures. Les diagrammes des résultats issus de cette mesure, sous leur forme absolue (fig.3) ou relative (fig.4), sont complètement différentes des résultats d'autres mesures cause des conditions hydrologique complètement différentes.

A cause du débit d'eau très grand du bras de Soulina, le jet fluvial au milieu marin est très concentré et a une grande vitesse, presque constante jusqu'au des distances qui dépassent cinq fois la largeur de l'embouchure. Il est possible que quelque part pour $3 < x/b_0 < 4$, il existe la condition hydrodynamique critique de l'équation (1), qui produit le phénomène d'élargissement plus accentué du jet fluvial et la réduction de la vitesse moyenne de surface (fig.4).

albiile gurilor Dunării (Conditions hydrauliques et hydrologiques de pénétration des eaux de la Mer Noire dans les lits des embouchures de Danube): Studii de hidrologie, XXV, Bucuresti.

- KEULEGAN, H.G., 1966, The Mechanism of an Arrested Saline Wedge. Estuary and Coastline Hydrodynamics: New York.