

PROPAGATION
DE L'ONDE DE CRUE
DUE A LA RUPTURE DU BARRAGE
SUR L'ISSOIRE

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES
 ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES
 POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS
 ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

MM/MG " C. E. R. A. F. E. R. "

Division des Travaux d'Hydraulique

NOTE AU SUJET DE LA PROPAGATION DE L'ONDE
 DE CRUE DUE A LA RUPTURE DU BARRAGE SUR
 L'ISSOIRE

=====

Dans une précédente note (12 mars 1971), j'ai présenté, avec un bref aperçu de la théorie, les résultats du modèle de propagation de crue pour un canal rectangulaire horizontal, résultats que l'on pouvait confronter avec des essais. La phase suivante consistait à l'utiliser pour une rivière quelconque, et notamment pour la rivière Issoire. Une première difficulté provenait des équations des caractéristiques elles-mêmes, que l'on peut écrire sous la forme :

$$\left[\frac{\partial V}{\partial t} + (V \pm c) \frac{\partial V}{\partial x} \right] \pm \frac{g}{c} \left[\frac{\partial y}{\partial t} + (V \pm c) \frac{\partial y}{\partial x} \right] = g (S_0 - S_f) \mp \frac{c}{A} V A_x^y$$

en reprenant les notations et les formules de 1

- A = Aire de la Section mouillée
- y = Tirant d'eau
- c = $\sqrt{\frac{gA}{L}}$ célérité
- L = Largeur au miroir
- V = Vitesse moyenne
- S₀ = Pente du fond
- S_f = Pente due aux frottements
- A_x^y = Variation de section mouillée à y constant

Pour un canal rectangulaire, le terme A_x^y est nul. Mais pour une rivière quelconque, ce terme intervient. Il existe différentes possibilités pour l'obtenir. J'ai finalement adopté celle qui consiste à calculer les superficies des sections mouillées avec le même tirant d'eau pour la section considérée et la section du maillage qui se trouve juste en amont, et à faire leur différence. Il aurait peut être été préférable d'opérer cette différence à partir de la section en amont et de celle qui est en aval,

.../

5131

comme on le fait pour calculer la pente du fond, mais la programmation en était plus complexe et le temps de calcul vraisemblablement augmenté de façon non négligeable pour un gain de précision qui ne devrait pas être très important.

Autre difficulté qui n'a pas de réponse théorique évidente : l'équation du front d'onde relie les caractéristiques du front aux grandeurs de l'écoulement à l'amont et à l'aval [2] et [3]

$$(V_2 - V_1)^2 = g (A_2 \bar{y}_2 - A_1 \bar{y}_1) \cdot \left(\frac{1}{A_1} - \frac{1}{A_2} \right)$$

\bar{y}_1 et \bar{y}_2 Distances du centre de gravité à la surface libre

2 Indice de l'amont du front

I Indice de l'aval du front

Quand on passe du temps t au temps $t + dt$, on coupe l'équation du front et l'équation de la caractéristique positive partant de F_1 (voir note du 12 mars 1971) pour déterminer V_2 et y_2 en F_1 . Pendant le trajet du front de F à F_1 les grandeurs A , V , \bar{y} et y varient. Faut-il en tenir compte ou non ? Etant donné que nous réalisons un modèle explicite, il semblerait que nous n'ayons pas à nous en préoccuper, mais à ce moment-là, on risque dans les rivières à forte variation des grandeurs aval, de trouver un front d'onde qui ne suit ces variations qu'avec un temps de retard. Le fait que le calcul de la célérité du front se fasse en F (donc explicite pur) incite quand même, pour la cohérence de l'ensemble, à ne pas tenir compte des variations des grandeurs aval. Ou bien alors faudrait-il réaliser un modèle qui résolve de façon totalement implicite la propagation du front (c'est-à-dire détermination de la célérité, des coordonnées de F_1 et des grandeurs V_2 et y_2 en F_1). Nous avons étudié pour l'Issoire la propagation avec les deux solutions : solution I explicite pur et solution 2 qui tient compte des variations des grandeurs aval.

Autre difficulté théorique : l'équation écrite ci-dessus et utilisée à l'heure actuelle pour tous les modèles qui étudient la propagation d'un mascaret, ne tient pas compte de la pente ni du frottement. Ces termes sont effectivement négligeables dans la plupart des cas. Mais quand le mascaret se propage sur une contre pente, ou quand la pente est très forte ou le frottement très grand, peut-être ne faut-il plus les négliger ? Nous étudierons éventuellement l'influence de ces facteurs ultérieurement.

Le but de notre programme était d'étudier la propagation d'une onde sur tirant d'eau aval non nul. Mais dans le cas de l'Issoire, le profil en long de la rivière présente des points à très faible tirant d'eau et d'autres à tirants d'eau importants (ceci est dû principalement à la cote du confluent

avec la Vienne qui est de 125 m. alors que le lit en amont se trouve à 124). Aussi, pour les très faibles tirants d'eau, nous avons parfois une célérité du front supérieure à celle des caractéristiques positives. Par conséquent, pour ces cas-là nous devons propager le front d'onde comme sur un fond sec et pour cela nous utilisons la théorie de Witham [4] de propagation d'onde sur fond sec. Mais ceci ne doit intervenir que sur de faibles longueurs, la théorie de Witham ayant été ici adaptée pour cet objet particulier.

Application à l'Issoire -

Conformément aux vœux de la D.D.A. nous avons étudié la propagation du front d'onde avec les lignes d'eau initiales suivantes : débit nul, puis débit de 100 m³/sec avec pont obstrué. Nous avons donc d'abord étudié les lignes d'eaux pour 100 m³/sec., pont obstrué. Le premier graphique montre ces résultats. Pour le pont non obstrué nous avons remplacé la section du pont par une section rectangulaire de même superficie que celle du pont, de cote au plafond, 124 m. et de cote au miroir 129,8 m., cote à partir de laquelle l'eau s'écoule au dessus du pont. Nous avons utilisé la même façon de représenter le pont pour le modèle de propagation ($Q = 0$ m³/sec.), la ligne d'eau initiale étant alors, vu son importance secondaire, introduite de façon très approximative.

Les résultats de la propagation de l'onde sont représentés sur la fig. 2. (1°) Pour $Q = 0$, on a tracé les deux courbes $H(t)$ obtenues au pont et 60 m. en amont du pont, dans les deux hypothèses théoriques de propagation expliquées ci-dessus. Pour le modèle explicite pur (hypothèse I), on obtient un front d'onde moins élevé, donc qui ne franchit la section étroite du pont qu'avec une hésitation (saut à 130,6, puis descente à 129,9 et remontée jusqu'à 131,3 m.). Le modèle qui tient compte des variations de l'aval (hypothèse 2), par contre, franchit d'emblée la section du pont et donne presque immédiatement le maximum (131,5 m.). En effet, le front d'onde est plus élevé que pour le modèle explicite (à l'arrivée au pont la hauteur du front est de 5 m contre 2,2 m). La variation brutale des conditions aval le fait croître de plus de 1 m, contre 20 cm dans l'autre cas. Le fait que la hauteur du front d'onde soit très élevée provient d'abord des différences théoriques indiquées ci-dessus, mais elle est renforcée par le fait que le front d'onde devenant trop grand pour la profondeur aval, on utilise alors la théorie de la propagation sur fond sec de Witham qui contribue à ralentir

l'onde donc à accroître sa hauteur. Les lignes d'eau $H(t)$ à 60 m. en amont du pont montrent le même effet : retard de la ligne n° 2 par rapport à l'autre donc hauteur supérieure et arrivée plus tôt à la hauteur maximum. A noter pour ces deux courbes, le passage du torrentiel au fluvial qui fait croître la hauteur à sa hauteur conjuguée. Théoriquement, ce ressaut qu' impose la présence du pont provoque une perte d'énergie dont il faudrait tenir compte, mais le régime étant faiblement torrentiel ($F < 2$) les valeurs obtenues peuvent être considérées comme valables.

On peut voir sur les courbes obtenues que les différences dues aux deux méthodes de propagation n'ont que peu d'importance sur la hauteur maximum obtenue ; en effet, la retenue est très longue et c'est plus sa vidange qui crée la hauteur maximum que l'arrivée du front.

(2°) Pour $Q = 100 \text{ m}^3/\text{sec}$, pont obstrué, on a tracé les courbes $H(t)$ obtenues à 90 m. en amont du pont, pour les deux hypothèses théoriques de propagation du front ; là aussi, elles diffèrent par la propagation du front : la courbe 2 montre une onde plus haute et plus rapide qui fluctue un peu. à l'arrivée au pont (brusque croissance à 133,6, puis décroissance à 133,2). La courbe 1 manifeste elle aussi cette variation mais bien plus légère (croissance à 133,1 et décroissance à 133,0). Puis les deux courbes sont confondues, le maximum pour les deux étant à 133,6. Là aussi c'est la vidange qui fournit le maximum.

Remarques.-

La différence essentielle entre les deux propagations de l'onde (hauteur plus grande pour l'hypothèse 2) conduit à des résultats inverses suivant le débit de base. En effet, pour $Q = 0$ la hauteur d'eau aval est trop faible pour que l'onde se propage comme un mascaret dans l'hypothèse 2, aussi le front d'onde, propagé comme sur un fond sec, est très nettement ralenti. Au contraire pour $Q = 100 \text{ m}^3/\text{sec}$., le front d'onde de hauteur plus grande, mais propagé comme un mascaret à une célérité plus grande.

Conclusions.-

I°/ Si le paramètre important à obtenir est la hauteur maximum à laquelle arrive l'onde, on les obtient de façon satisfaisante avec l'une ou l'autre des deux hypothèses adoptées : 131,5 ou 131,3 pour $Q = 0$ et 133,6 m. pour $Q = 100 \text{ m}^3/\text{sec}$. Par contre, si l'instant d'arrivée du front et sa hauteur sont importants à connaître, il faudra pousser plus loin cette étude. La difficulté est qu'on manque d'essais sur modèle qui étudient cette propagation en section variable.

2°/ Des essais comparatifs ont été faits quant à la précision qu'on peut espérer de ces modèles 5; les comparaisons portant sur la rupture du barrage de Malpasset, ont estimé à 10% les écarts avec l'écoulement quand la vallée à représenter ne présente pas de coudes à faible rayon de courbure ou de variations brusques de sections. Vu la présence du pont, nous sommes obligés d'admettre que nos résultats sont valables à 10% près. Par contre, pour le reste de la vallée, la précision serait meilleure.

M. MEUNIER

BIBLIOGRAPHIE

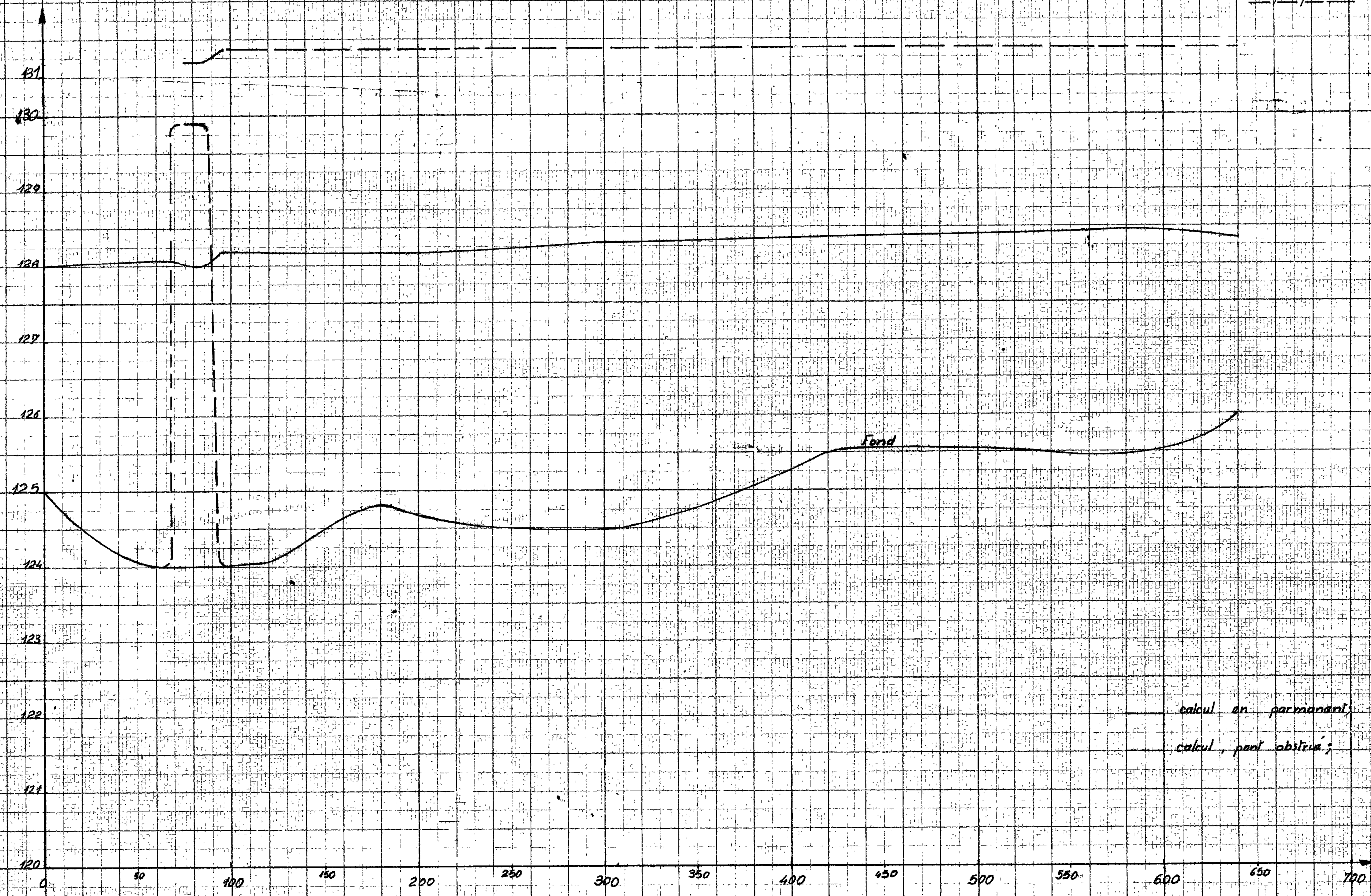
- 1.- M. COLIN, C.E.R.A.F.E.R. Solution numérique des equations de St-Venant
D.T.H.

 2. J. FAURE & N. NAHAS, Deux problèmes de mouvements non permanents
CREC, Chatou à surface libre résolus sur ordinateurs
 électroniques AIRH 9e Assemblée. Dubrovnick
 Sept. 1961 III

 - 3.- A. CHERVET & P. DALLEVES Calcul de l'onde de submersion consécutive
 Ingénieurs aux Laboratoires à la rupture d'un barrage
 de Recherches Hydrauliques Schweizerische Bauzeitung, 7 mai 1970
 (VAWE) Zurich

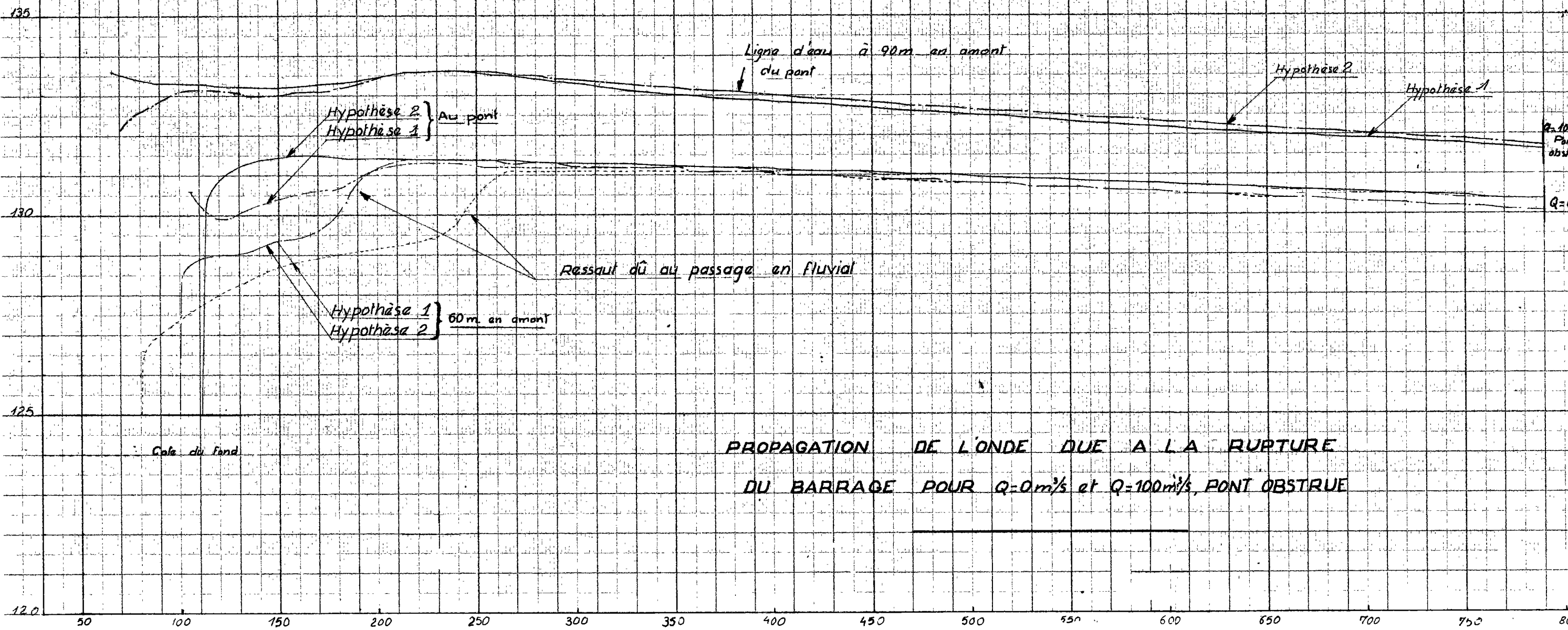
 - 4.- G.B. WITHAM, The effects of hydraulic resistance in the
 Department of Mathematics, dam-break problem.
 The University, Manchester

 - 5.- J. FAURE & N. NAHAS Comparaison entre observations réelles,
 CREC, Chatou calcul, études sur modèle distordu ou non,
 de la propagation d'une onde de submersion.
-



ISSOIRE : Calcul de la ligne d'eau

$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$



PROPAGATION DE L'ONDE DUE A LA RUPTURE
DU BARRAGE POUR $Q=0\text{m}^3/\text{s}$ et $Q=100\text{m}^3/\text{s}$, PONT OBSTRUE

