

RECHERCHE D'UNE METHODE D'APPROCHE  
POUR L'ETABLISSEMENT DE LA LOI HAUTEUR DEBIT  
EN RIVIERE SOUMISE AU REMOUS DE LA MAREE

Le problème d'étalonner des cours d'eau remontés par la marée océanique n'est pas nouveau. Il a pu recevoir des solutions diverses suivant l'importance tant en incidence économique qu'en étendue géographique des études concernées. Nous n'avons pas connaissance qu'un schéma de portée générale ait été indiqué.

Dans le cadre des études pour l'adduction d'eau de LIBREVILLE, de nombreuses rivières visitées par la marée ont été pressenties et testées, le problème posé se ramenant à ceci : trouver un module, dont on s'est fixé la valeur minimale, en un point localisé le plus près possible du centre à pourvoir en eau donc non loin, ici, des estuaires. Il ne paraît pas que la question ait reçu une solution de principe quant au mode opératoire. Des jaugeages ont été faits sans préjuger de leur position dans le temps par rapport aux heures de la marée. Quel que soit le soin apporté aux mesures, il ne faut pas s'attendre alors à trouver un tarage univoque pour la section. Plus on augmente le nombre de mesures, plus le nuage de points  $Q = f(H)$  s'élargit et plus apparaît une dispersion irréductible.

Nous adoptons une méthode qui, si elle ne fournit pas la relation univoque désirable entre débit et hauteur, précèdera du moins la "fourchette" à prendre en compte et permettra de se faire une idée de la moyenne à adopter à l'intérieur de cette fourchette.

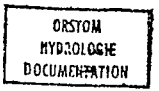
La technique consiste à rapporter non plus une valeur de  $Q$  instantanée, ou ponctuelle dans le temps, à une de  $H$  également ponctuelle, comme en étalonnage ordinaire, mais une moyenne temporelle de  $Q$  - établie sur la période (ou la demi-période) de la marée - à la valeur de  $H$  correspondante convenable. Pratiquement, on mesure facilement les vitesses moyennes par verticale en procédant par descente continue du moulinet ; d'où l'esquisse de la méthode :

A. MESURES COMPLETES.

Chaque mesure consiste en deux jaugeages réalisés en étales de pleine mer et de basse mer consécutifs (ou basse mer puis pleine mer si c'est cela qui se présente) et dont l'intervalle de temps -avoisinant six heures- sera rempli par des mesures équidistantes, toutes les demi-heures, de la vitesse moyenne en descente continue sur par exemple cinq verticales -toujours les mêmes- choisies pour représenter l'ensemble

28 AVR. 1970

16 JUL. 1992



71016

ORSTOM Fonds Documentaire  
N° : 33427  
Cote : B

de la section. Il s'agit de sections de faible largeur : vingt à quarante mètres, et de faible tirant puisque le problème de la marée ne concerne que les basses eaux de la rivière en règle générale (la crue repoussant vers l'aval de la station la limite de remontée de la marée). Les mesures de  $V_m$  intégrées sont donc rapides, "ponctuelles" dans le temps, rattachables à une heure précise et à une cote précise de l'eau. Un aide technique peut s'en charger tandis que l'hydrologue conduit les jaugeages de PM et de BM encadrant ces mesures. Bien entendu, un relevé serré des fonds est réalisé de façon à ne pas introduire d'imprécision dans la connaissance des sections auxquelles on appliquera les  $V_m$  instantanées mesurées.

Dans le cas où la rivière n'est ni en crue ni en décrue due à son propre régime amont, on a des chances de déterminer au moyen des deux séries de jaugeages de PM et de BM deux courbes sensiblement univoques, ou peu dispersées, qui sont les enveloppes du nuage des points  $Q(H)$  qu'on obtient par des jaugeages placés au hasard. On se place entre ces courbes limites en considérant l'évolution, durant la demi-période de marée observée, du flux par verticale, ou p.v., déduit de chaque mesure de  $V_m$ . On peut procéder ainsi :

1. a) CALCUL DE LA MOYENNE TEMPORELLE DE LA VITESSE MOYENNE INSTANTANEE SUR UNE VERTICALE

On porte en abscisses par exemple les temps et en ordonnées les valeurs de  $V_m$  mesurées de 30 en 30 minutes entre les deux étales de PM et BM consécutifs, (Figure 1). On procède à l'intégration graphique du diagramme et trouve ainsi :

Vitesse moyenne moyenne 
$$\bar{V}_m = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} V_m(t) dt$$

$\left. \begin{array}{l} t_0 : \text{heure du jaugeage initial} \\ t_1 : \text{" " " terminal} \end{array} \right\} t_1 - t_0 \approx 6 \text{ heures}$

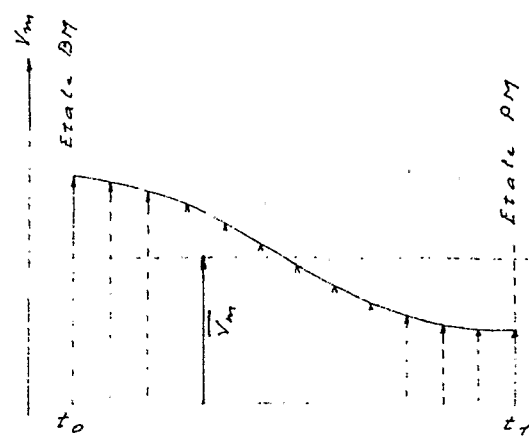


Fig. 1

Evolution de la vitesse moyennée par verticale  $V_m$  entre une basse mer et une pleine mer consécutives.

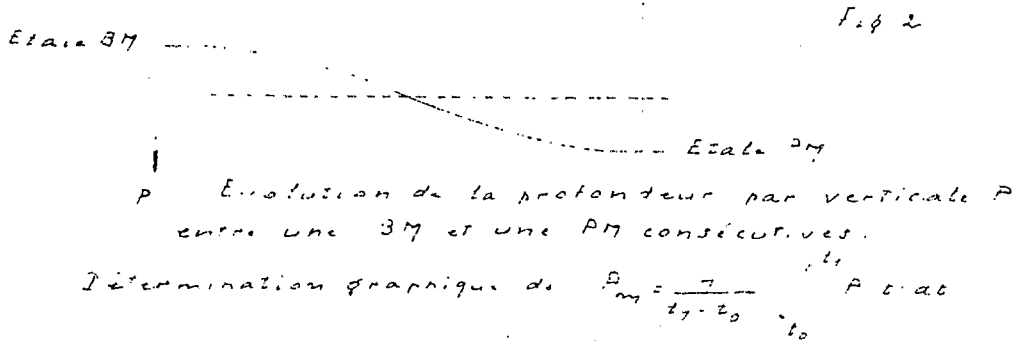
Détermination graphique de 
$$\bar{V}_m = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} V_m(t) dt$$

La moyenne de la vitesse moyenne par verticale ainsi trouvée est différente de la moyenne arithmétique entre les  $V_m$  mesurées lors des jaugeages de BM et PM consécutifs puisqu'elle tient compte de la variabilité dans le temps du gradient de vitesse pendant le flot (ou pendant le jusant si l'on va d'une mesure PM à une BM).

$$\bar{V}_m \neq 1/2 (V_m \text{ BM} + V_m \text{ PM})$$

3 / CALCUL DE LA PROFONDEUR MOYENNE APPLICABLE

Le relevé des profondeurs étant inclus dans l'opération mesure des  $V_m$  en descente continue on tracera de même (fig. 2)



le diagramme des profondeurs applicables (profondeur extrême du moulinet + tiers résiduel) et on le planimètrera pour avoir

$$P_m = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} P(t) \, dt$$

On forme alors pour les verticales considérées les produits  $\bar{V}_m \times P_m$  qui sont les flux moyens unitaires verticaux pendant la demi-période de marée utilisée  $P_{U_m}$

2. CALCUL DIRECT DES FLUX UNITAIRES MOYENS VERTICAUX

La descente continue fournissant simultanément  $V_m$  et P sur la verticale de travail on peut remplacer les deux diagrammes fig. 1 et 2

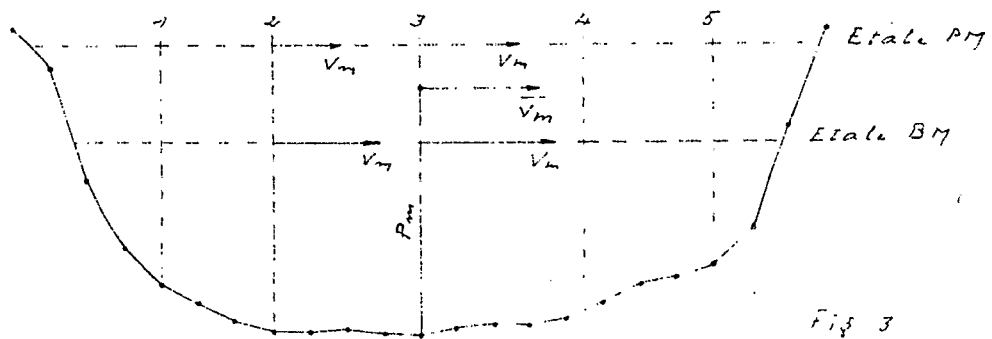
et leur intégration graphique par le diagramme de variation du produit  $V_m \times P$  mesuré toutes les demi-heures, dont le planimétrage donnera directement  $PU_m$  (valeur peu différente de celle établie en deux opérations).

$$PU_m = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} V_m P dt$$

3.

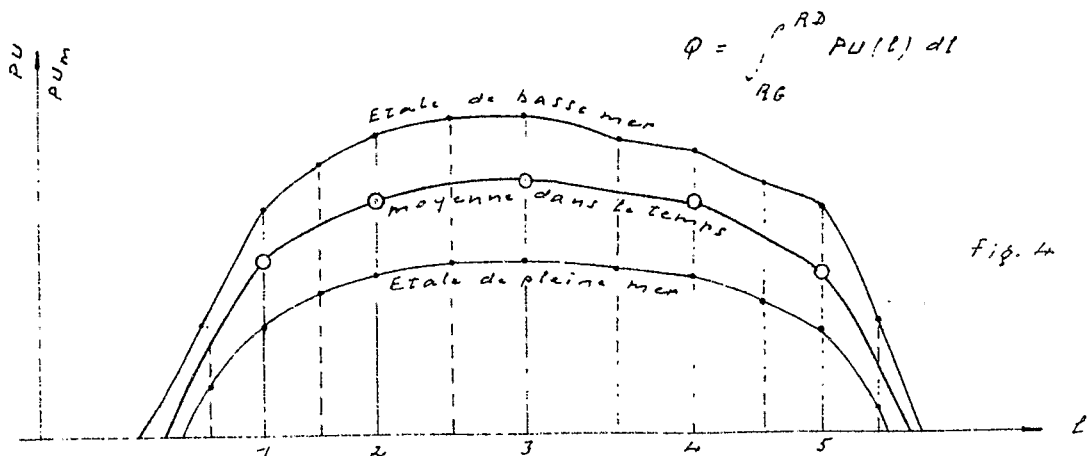
UTILISATION DES  $PU_m$  DES DIFFERENTES VERTICALES

Dans le cas (fig. 3) de cinq verticales représentatives



on portera sur un même diagramme (fig. 4) :

Aires des courbes externe et interne :



Aire de la courbe milieu :

$$Q_m = \int_{l_0}^{l_1} PU_m(L) dL$$

- les valeurs du  $PU$  obtenues sur toutes les verticales de jaugeage en étala de BM et de PM,

- les valeurs du  $PU_m$  calculé pour les verticales de contrôle, soit à partir des opérations 1- a et 1- b suivant la relation  $PU_m = V_m P_m$ , soit par l'opération 2.

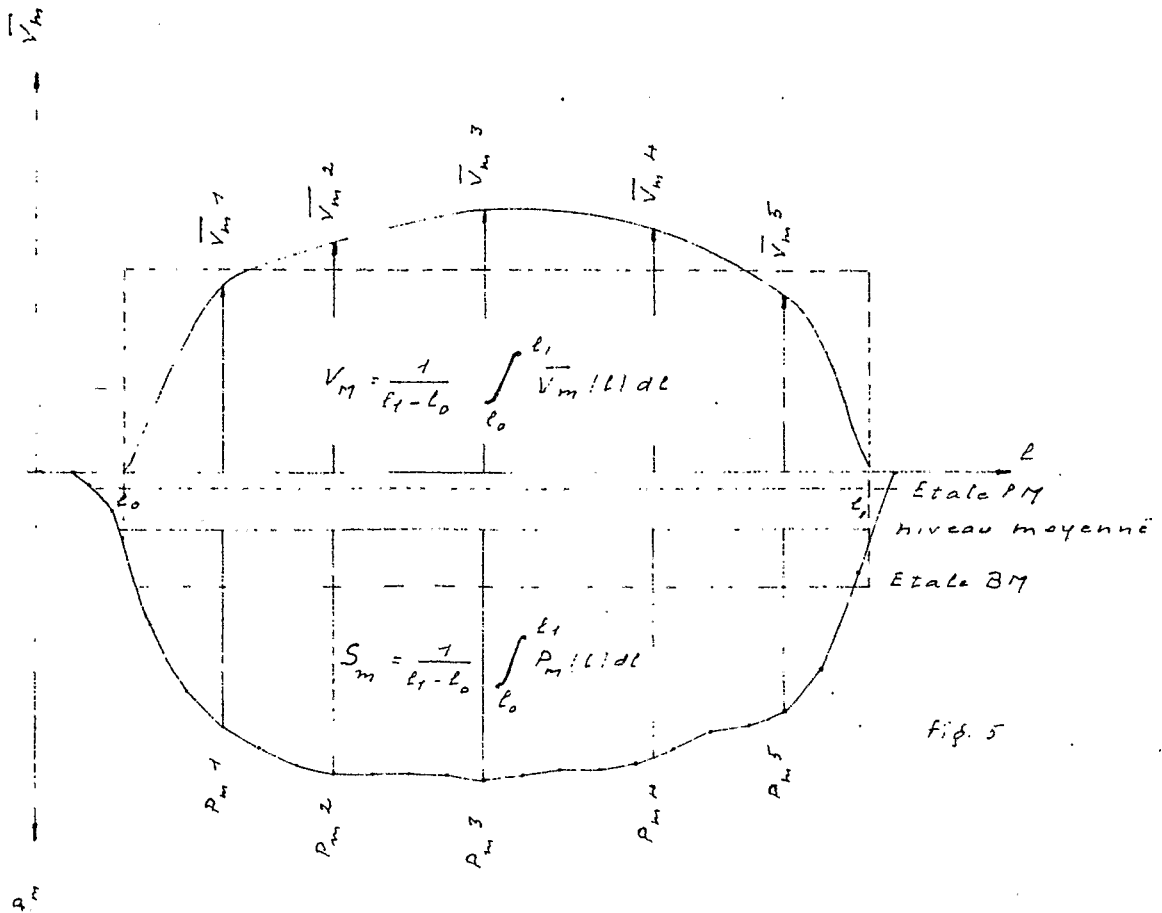
Les points dessinent une courbe supérieure qui, planimétrée, donne le débit maximal (en étale de basse mer), une inférieure qui donne le débit minimal (pleine mer), et une intermédiaire, tracée sur un nombre plus petit de points mais qui peut être guidée, entre ces points, par imitation "pondérée" des irrégularités -s'il s'en présente- des deux autres courbes. On obtient ainsi l'équivalent d'un véritable jaugeage continu effectué entre une BM et une PM consécutives, la valeur moyenne de Q à laquelle on parvient étant sommée tout le long de la demi-période de marée. Cette valeur doit, bien entendu, être rapportée, pour la loi Q (H) que nous cherchons, non à une moyenne des cotes lues à l'échelle mais à la pure cote d'étale de basse mer et il faut avoir pris la précaution de chiffrer le dénominateur  $t_1 - t_0$  en secondes.

4.

CALCUL DE Q<sub>m</sub> PAR VITESSE ET SECTION MOYENNES

La vitesse moyennes par verticale V<sub>m</sub> ayant été sommées (opération 1- a) sur la durée du flot, ou sur celle du jusant, on a obtenu les valeurs  $\bar{V}_m 1, \bar{V}_m 2, \text{etc...} \bar{V}_m 5$ . En intégrant maintenant suivant la largeur l de la section la fonction  $\bar{V}_m = f(l)$  on obtient (fig. 5) la vitesse moyenne dans la section au cours de la période utilisée :

$$\bar{V}_M = \frac{1}{l_1 - l_0} \int_{l_0}^{l_1} \bar{V}_m(l) dl$$



La largeur  $l_1 - l_0$  à prendre ici en compte (graphiquement) résulte elle-même de la détermination de la section moyenne sommée sur la marée : L'opération 1- b ayant fourni les profondeurs moyennes par verticale à appliquer dans le calcul des PU moyens, la section moyenne cherchée s'obtient en portant à leur place sur les fonds sondés les segments représentatifs des profondeurs moyennes. Leurs sommets déterminent le niveau moyen de l'eau, qui fixe à la fois  $l_1 - l_0$  et la section moyenne, à planimétrer. On dispose alors des deux facteurs constituant le débit moyen

$$Q_m = \overline{V_{PM}} \times S_m$$

### B. MESURES PARTIELLES.

Un certain nombre de mesures complètes, telles que décrites ci-dessus, ayant été réalisées, on dispose d'une courbe  $C(H)$  placée entre une enveloppe supérieure et une inférieure de tous les couples de valeurs  $Q, H$  qu'il est possible d'établir à des moments quelconques du cycle de marée. Il est possible d'utiliser maintenant n'importe quel jaugeage fait en étals de PM ou de BM pour préciser les courbes enveloppes. Il doit même être possible, théoriquement, d'utiliser un jaugeage effectué à n'importe quel moment si l'on note précisément sa position dans le temps par rapport aux heures de PM et BM l'encadrant publiées pour le port le plus proche (ici LIBREVILLE) et si l'on connaît en outre le temps de propagation -de ce port à la station- de l'onde de marée, l'amplitude de la marée concernée et la réduction subie par cette amplitude "rendue station". Toutes ces questions sont d'ailleurs résolues si la station est équipée d'un limnigraphe en fonction, le temps d'opération du jaugeage pouvant être coché sur le limnigramme en cours d'enregistrement. Si l'on divise l'intervalle séparant les deux courbes enveloppes en zones, par exemple quatre -représentant chacune un temps d'une heure trente de l'intervalle BM, PM- un jaugeage partiel rapide repéré dans le temps fournira un point  $Q(H)$  dont on pourra vérifier qu'il se situe dans la zone à laquelle il doit appartenir.

POSITION DE LA STATION PAR RAPPORT AU REMOUS DE LA MAREE

ANALYSE DES CAS

Nous avons admis ci-dessus que la cote à l'échelle variait durant toute la période de la marée. Ceci n'est vrai en toute rigueur que si la station de mesures se trouve à l'altitude du littoral. La cote de l'eau à l'échelle décrit une parfaite sinusoïde en fonction du temps et stationne aussi peu longtemps à la valeur minimale qu'à la maximale (étales de BM et de PM). Le plus la cote propre de la rivière correspondant au niveau de BM (fig. 6) ne peut être que l'étiage le plus sévère.

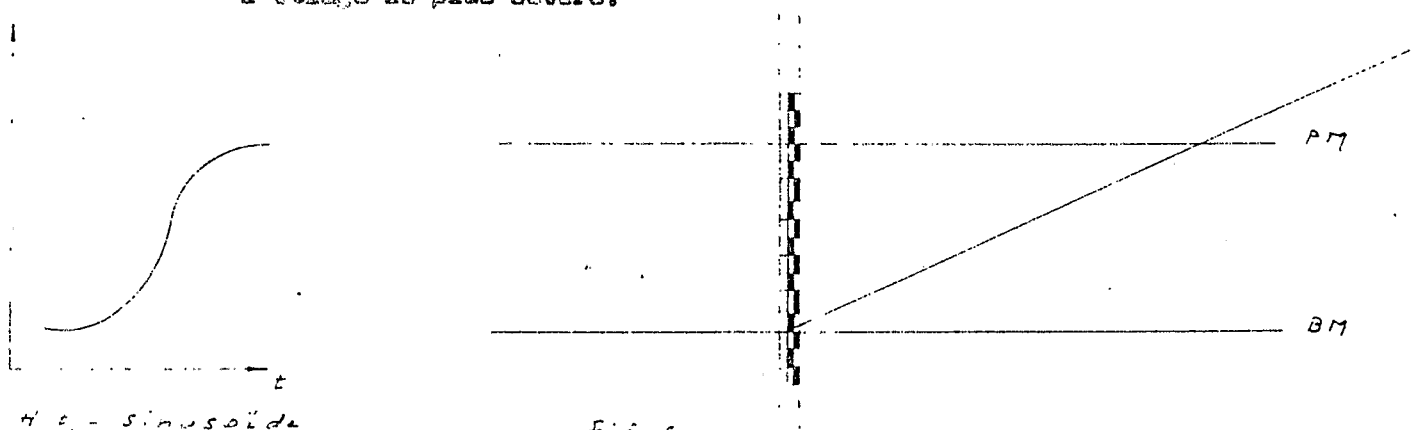


Fig. 6

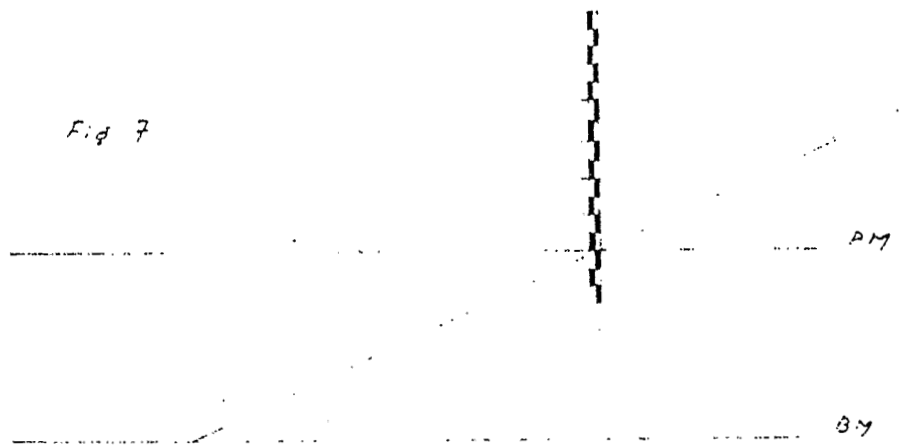
Un tel cas peut bien se présenter\*. Il donne lieu à l'observation d'une inversion du courant aux heures de renverse de la marée, la durée du flot et celle du jusant étant égales sensiblement. L'apport de la rivière, à l'étiage nous avons dit, est tellement petit en regard des volumes d'eau transitant ici par l'estuaire vers l'amont puis vers la mer qu'il est impossible de jauger la rivière proprement dite avec nos méthodes et nos instruments : Un résultat obtenu à 2 % près dans les meilleures conditions d'écoulement ne pourrait rendre compte de la proportion débit rivière/débit de jusant quand elle est d'un ordre de grandeur de 1 % ou inférieur encore.

Le cas montré par la figure 7 est, à l'opposé, le cas d'une station située, pour sa cote actuelle, au droit du remous de la marée haute. Il n'y a plus, à cette station, de marnage dû à la marée mais la loi  $Q(H)$  n'y est pourtant pas encore univoque ; ni à la cote

\* On a demandé à la Section Hydrologique de LIDREVILLE l'étalonnage de la LOWE au niveau du littoral.

montrée sur la figure (niveau de PM), ni pour des cotes un peu supérieures (qui repoussent un peu en aval la limite du remous de la marée).

Fig 7



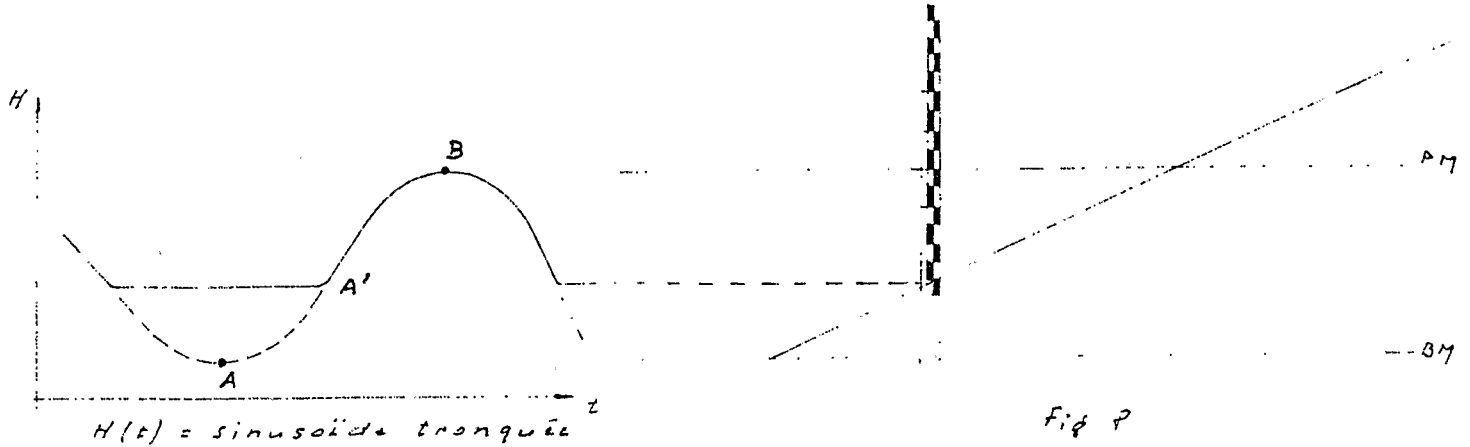
$H(z) = \text{constante}$

C'est que la marée, présente non loin en aval, exerce sur la rivière, par le cycle continu de contraction et détente, un effet de pompage entretenu. Ces pulsations, ou cette modulation du débit, sont mises en évidence par la représentation du champ des vitesses obtenu pour des jaugeages faits à la même cote mais différemment calés sur les heures de marée.

On ne se trouvera que rarement placé juste à la limite du remous de pleine mer puisque telle station répondant au cas de la figure 7 cesse d'y répondre si la cote propre de la rivière (en relation avec le régime en amont) varie ou si l'amplitude de la marée varie ; et ce dernier paramètre varie, justement, chaque jour. Le plus souvent on se trouvera dans le cas montré maintenant par la figure 8, cas d'une station placée entre les deux limites de remontée de la marée en PM et en BM. La figure montre le comportement de la cote lue à l'échelle (en l'absence de crue ou de décrue). C'est une telle forme du limnigramme, ou l'observation directe, sur l'échelle, de l'existence de paliers où la lecture minimale séjourne pendant une certaine fraction du cycle de marée, qui révèlent que la station est ainsi placée par rapport à la marée. Dans ce cas, c'est à la cote lue en palier qu'il faut rapporter le débit modulé moyen, cette cote étant celle qui caractérise le régime de la rivière durant la période utilisée. Quant à cette période elle-même - temps qui dans notre méthode sépare le centre de gravité du jaugeage initial du centre de gravité du jaugeage final ou les étales de PM et BM - on sera, dans le cas de la figure 8, tenté



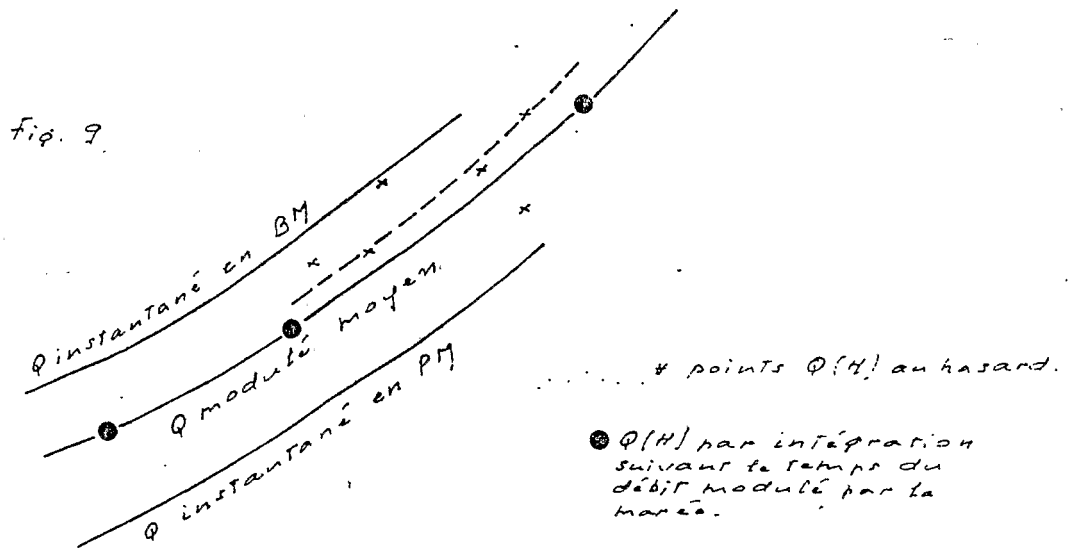
de la raccourcir en ne prenant que la durée dans laquelle la cote a varié (partie A'B du diagramme au lieu A B). Si, poussé par le souci



d'économie de temps, on fait cela, on devra au moment de tracer la courbe d'étalonnage de la station se rappeler que ce point Q (H) doit être laissé par la courbe un peu au dessous d'elle (les axes étant H en abscisses et Q en ordonnées). En effet, à cause de l'effet de pompage entretenu qu'exerce la marée en aval alors même que la cote à l'échelle est stationnaire, la durée que l'on néglige (temps séparant A' de A) est celle où le débit instantané a atteint sa valeur maximale (étale BM) et la moyenne du débit modulé sommée sur la période raccourcie se trouve donc atténuée par rapport à la moyenne sommée sur l'intervalle BM PM.

OBJECTION A LA METHODE

La méthode décrite ci-dessus étant longue, on dira qu'elle est dispendieuse. La figure 9 répond à cette objection.



On y'a représenté d'une part six points  $Q(H)$  obtenus par des jaugeages placés au hasard par rapport aux heures de marées, et d'autre part trois obtenus par la méthode, c'est-à-dire méthodiquement.

On voit que les six points, l'échantillon étant petit, permettraient de tracer une courbe moyenne (en tireté sur la figure) qui n'a pas même localisation entre les deux enveloppes que la courbe du débit <sup>modèle</sup> moyen. Et si l'on veut augmenter l'échantillon suffisamment pour que des points couvrent en densité convenable tout l'intervalle entre les enveloppes on retombe sur un étalonnage dispendieux, pourtant moins sûr.

### TRACE DE LA COURBE DE TARAGE

La figure 10 montre trois régions de la courbe traitées différemment dans le cas d'une station appartenant, en étiage de la rivière, au cas de la figure 8. La zone inférieure est traitée par la méthode des débits modulés moyens. La zone immédiatement adjacente concerne les hauteurs pour lesquelles la station n'est plus soumise au marnage de marées mais subit encore l'effet de pompage entretenu exercé sur le débit par la marées à partir de l'aval.

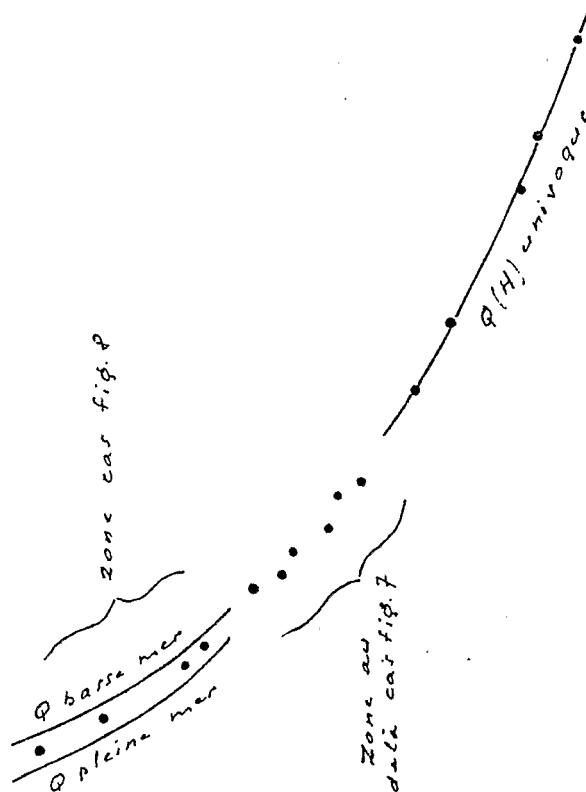


Fig. 10

11

On peut ne pas traiter cette région de la courbe aussi précisément que la précédente, sa dispersion étant moins grande, et le tracé pouvant s'appuyer sur la partie basse, déjà précisée, et sur les premiers points de la zone suivante, correspondant à la loi  $Q(H)$  univoque.

Mais si la station n'appartient jamais au cas de la figure 8 et se place, déjà en très basses eaux, juste à l'excent de la limite du serrage dû à la marée\*, la seconde zone de la figure 10 devient pour cette station la première. Il faudrait, en ce cas, la traiter par quelques points obtenus en sommant et moyennant le débit instantané le long d'une demi-période de marée. Même si, en l'absence du serrage de marée, on n'a pas connaissance exacte de l'heure des débits maximal et minimal, on peut faire les mesures complètes, indiquées par la méthode, sur une période quelconque de six heures consécutives. Mais souvent on aura cette connaissance, la marée se produisant encore à une échelle située peu en aval\*.

#### CONCLUSION

Nous avons simplifié l'exposé des principes de la méthode en supposant qu'il ne se produisait ni crue, ni décrue, durant le temps d'opération. La méthode s'applique en effet en période de basses eaux stables, en saison sèche ; la simplification est donc justifiée. Une crue légère ne changerait rien à la précision des mesures. On pourra de toutes façons prendre systématiquement toujours pour  $H$  de référence de la mesure complète (cas fig. 8) la moyenne de cote, que montrerait le palier non horizontal extrapolé sur six heures.

Nous avons aussi négligé les variations de l'amplitude de marée. Celles-ci ne peuvent que substituer aux courbes enveloppes de la loi  $Q(H)$  des bandes de largeur non ponctuelle ; autrement dit ces courbes - de par la variabilité de l'amplitude - ne sont elles-mêmes pas tout à fait univoques, et ainsi les points  $Q(H)$  obtenus en moyenne intégrée suivent le temps pourront ne pas se ranger parfaitement sur une courbe univoque. Mais dans la pratique on aura néanmoins très grandement réduit la dispersion dont jusqu'à présent on admettait l'irréductibilité en concluant que la section est mauvaise.

CRSTOM  
SERVICE HYDROLOGIQUE  
LIBREVILLE

\* C'est le cas d'ANDOK-FOULA, sur la MBEI.

17 Avril 1964