

Computer Methods and Water Resources

1st International Conference,
Morocco 1988

Vol. 4 Computer Aided Engineering in Water Resources

Editors:

D. Ouazar

C.A. Brebbia

Computational Mechanics Publications
Southampton Boston

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo

Le Réglage des Flottaisons dans les Biefs par des Barrages Mobiles
- Calcul et Conception

P. Rigo

*Université de Liège, Laboratoires d'Hydrodynamique, d'Hydraulique Appliquée
et de Constructions Hydrauliques, Institut du Génie Civil, 6 quai Banning,
B4000 Liège, Belgique*

RESUME

Une proposition de **vanne segment en une pièce** est développée pour l'aménagement des biefs de faible retenue. Pour le calcul de ces vannes, le **logiciel des bordages raidis** est un outil performant permettant notamment de mettre en évidence l'effet favorable des bras au niveau des contraintes et déplacements dans la vanne.

I. INTRODUCTION.

L'existence des barrages mobiles est une condition fondamentale du développement de la navigation fluviale. Ceux-ci permettent en effet de conserver un tirant d'eau suffisant pour autoriser la navigation des unités de transport dans les meilleures conditions et ce, le plus grand nombre de jours possible par an.

Dans le principe, leur rôle est de maintenir les niveaux d'eau entre deux niveaux de référence: le niveau inférieur devant garantir une aisance suffisante aux bateaux et le niveau supérieur devant, quant à lui, limiter les débordements en amont du barrage mobile.

II. RAPPEL DES BARRAGES MOBILES EXISTANTS.

II.1. Les anciens barrages à commande manuelle.

Les plus connus en Europe sont sans aucun doute les barrages à aiguilles, à fermettes, à poutrelles, à hausses. La figure 1 donne à titre d'exemple la vue en coupe transversale d'un barrage à

fermettes et aiguilles. Dans ces barrages, la bouchure est réalisée par des aiguilles, c'est-à-dire des pièces de section carrée disposées verticalement (ou sous une faible pente vers l'aval). Elles prennent appui au bas sur un seuil en saillie et sont retenues à la partie supérieure par un dispositif qui peut être un câble tendu, une poutre, ... Placées jointivement, les aiguilles travaillent indépendamment et forment une paroi plus ou moins étanche. Le paramètre fondamental en ce qui concerne la résistance des aiguilles est la **hauteur de la retenue**. En effet, c'est celle-ci qui conditionne totalement la charge à supporter ; la largeur de la passe n'ayant ici aucune influence. Les contraintes liées à la manutention conduisent à des dimensions très réduites de ces aiguilles ; par exemple 15cm x 15cm de section.

Le nombre d'éléments composant la bouchure étant très important, la précision du réglage du débit évacuable est très bonne. Mais par contre, l'étanchéité devient fort aléatoire vu le grand nombre d'éléments constitutifs entre lesquels aucun dispositif d'étanchéité spécifique n'est prévu et la vitesse d'exécution des opérations de manoeuvre est fortement réduite avec l'accroissement du nombre d'éléments à déplacer. De plus, le danger pour les barragistes qui effectuent ce travail n'est pas négligeable, et nombre de mesures de sécurité ont dû être prises au cours du temps pour le réduire.

Ces considérations s'appliquent dans leur principe à tous les anciens barrages composés d'un grand nombre de petits éléments ; poutrelles, fermettes et hausses.

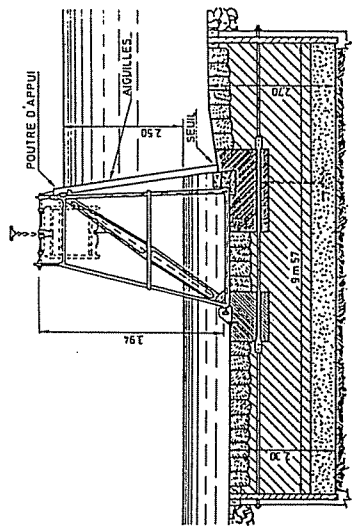


Figure 1. Barrage mobile à aiguilles.

11.2. Les barrages mobiles à commande électro-mécanique. L'évolution des techniques, à savoir le développement de la confection des matériaux, l'élaboration de nouvelles techniques de calcul plus performantes, la tendance à l'automatisation, ont conduit au remplacement des barrages les plus anciens par des systèmes à segment, à secteur, à clapet, à vanne levante, ... , dont la figure 2 montre un exemple désormais classique. **Ces barrages sont tous caractérisés par un nombre réduit d'éléments constitutifs.**

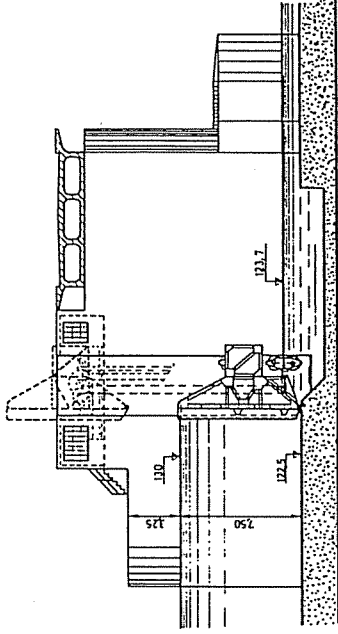


Figure 2. Coupe transversale dans une vanne levante en une pièce.

L'élément principal couvre à lui seul la totalité du pertuis et la manoeuvre se fait à l'aide de câbles, chaînes ou vérins. Dans ces conditions, l'étanchéité est très bonne vu ce nombre réduit d'éléments constituant la bouchure. Il en résulte une grande sécurité pour le personnel de contrôle et une grande vitesse d'exécution des manoeuvres. N'ayant souvent qu'un seul élément pour régler le débit, la précision des manoeuvres à effectuer doit cependant être d'un très haut niveau, pas toujours aisée à atteindre en pratique. La recherche de la finesse de réglage que permettaient les anciens barrages mobiles du fait de la multiplicité des éléments constitutifs, a été réalisée par l'utilisation de vannes en deux parties : **vanne et vannette**. La partie supérieure (vannette) étant manoeuvrée pour l'évacuation des faibles débits, le corps principal (vanne) restant fixe. Ce n'est qu'en période de crue que l'ensemble est manoeuvré. En effet, le réglage du débit est plus aisé à obtenir lors d'un écoulement de surface que lors d'un écoulement par lame de fond. Connaissant cette règle, le concepteur actuel place couramment une vannette sur ou au-dessus du corps principal de la vanne. Celui-ci reposant sur le radier, peut rester en place la plus grande partie de l'année, seule la vannette se déplaçant à la

attention particulière doit donc être portée sur la courbe des débits classés de la rivière afin de déterminer la fréquence de chaque type d'écoulement.

En outre, il y a intérêt à réduire le nombre de piles en rivière c'est-à-dire à augmenter la longueur des pertuis, l'objectif à atteindre étant : une longueur utile pour l'écoulement la plus grande possible sans élargir la voie d'eau au droit du barrage. L'accroissement des portées est permis par l'utilisation de plus en plus fréquente de vannes en caisson : structures fermées résistant bien à la torsion mais aussi à la flexion quel qu'en soit le sens. La figure 3 retrace brièvement l'évolution de forme des corps de vanne à clapet. Les formes données à leur section transversale tenant compte des efforts sollicitants et des progrès réalisés en construction métallique ont évolué comme suit :

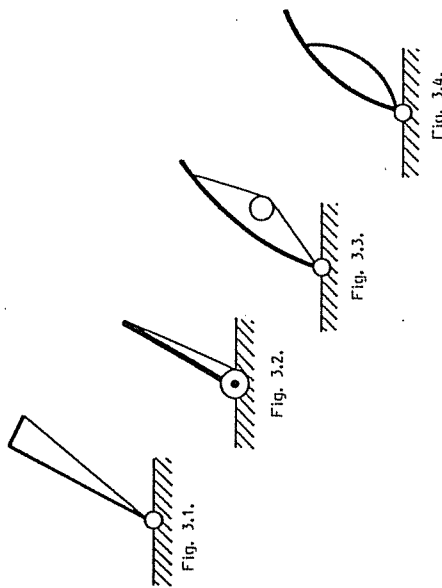


Fig. 3.1 - bordé en forme d'équerre raidi appuyé sur le radier sur de très nombreux appuis, par suite du peu de rigidité à la torsion.

Fig. 3.2 - bordé plan raidi fixé sur une poutre tubulaire prenant appui sur le radier par des paliers en nombre limité, la poutre tubulaire résistant bien à la torsion.

Fig. 3.3 - abandon du bordé plan et profilage de façon à lui donner une forme hydro-dynamique plus favorable l'écoulement des eaux : la poutre de torsion ne doit pas nécessairement se trouver à l'axe de torsion.

Fig. 3.4 - le clapet est constitué par une poutre tubulaire en forme de lentille dont le bordage fait partie; selon les dimensions de la section transversale, il y a ou non un tube anti-torsion.

L'accroissement de la rigidité torsionnelle permet en outre de songer à ne manoeuvrer la pièce que d'un seul côté.

Ayant considéré ces divers paramètres, on aboutit à la conclusion qu'il n'est pas possible de définir un type de barrage mobile s'adaptant à toute la gamme des retenues existantes. En effet, pour des retenues de grandes hauteurs (10 à 20 m), le système de vanne et vannette semble particulièrement bien indiqué pour atteindre des portées élevées (30 m), tout en assurant une bonne régulation du débit (fig. 4). Il en est autrement des retenues plus faibles (3 à 5m), pour lesquelles la conjugaison d'emploi du système à vanne et vannette, avec des portées élevées conduit à un manque évident de rigidité de chacune des 2 parties de la vanne (figure 5)

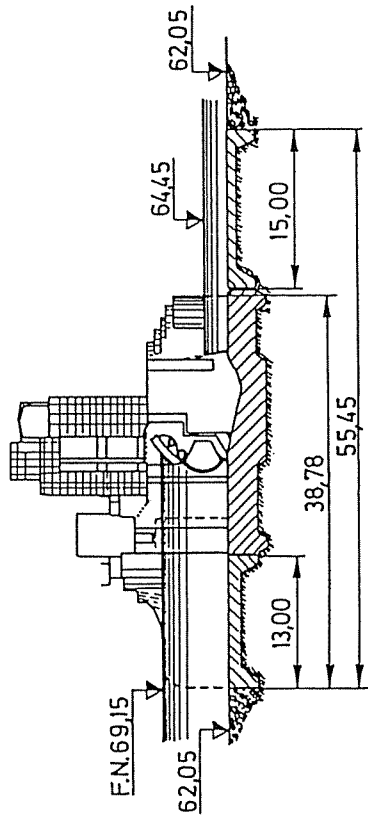


Figure 4. Barrage à vanne levante composée d'un corps de vanne principal en caisson et d'un clapet à la partie supérieure. - Hauteur de la retenue = 7 m -

Il ne semble donc pas raisonnable d'implanter dans des biefs de faible retenue des ouvrages calqués sur des barrages existants correspondant à des retenues beaucoup plus grandes (10 à 20m) où le problème de la rigidité ne se pose pas (figure 6).

III. PROPOSITION D'UN BARRAGE MOBILE NE COMPORTANT QU'UNE VANNE PAR PERTUIS (figure 6).

Pour pallier le manque de rigidité et pour simplifier la commande du barrage, il est suggéré d'employer un système de barrage mobile en une seule pièce, couvrant en hauteur toute la retenue (ref. 1). Comme décrit plus haut, il permettra l'évacuation des petits débits et des glaces par un écoulement de surface ; les débits de crues et les débits solides éventuels étant évacués par un écoulement de fond. On observe sur la figure 6 que ce système de vanne unique a été adapté à la vanne segment (ref. 2) mais il pourrait l'être également à la vanne levante qui serait de ce fait aussi baissante. La comparaison des figures 5 et 6 montre nettement la moindre

rigidité de la version vanne et vannette (fig.5) par rapport à la solution a pièce unique (fig.6) pour un même écoulement total.

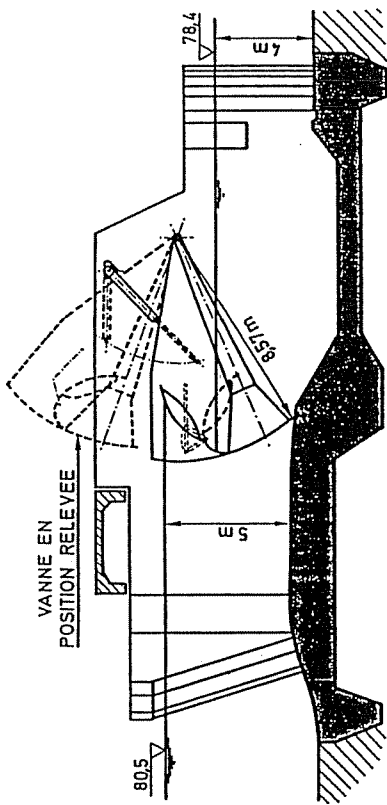


Figure 5. Vue de la vanne segment traditionnelle.
- Vanne et vannette -

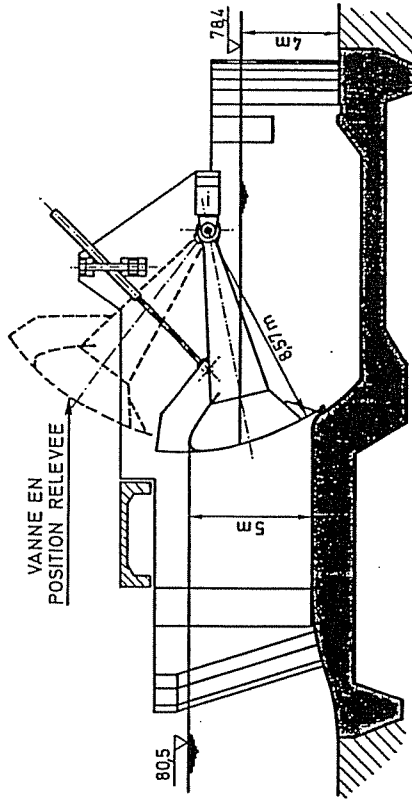


Figure 6. Vue de la vanne segment à corps unique, levante et baissante.

La manoeuvre se fait à l'aide de vérins hydrauliques placés entre les deux bras et les piles. Le choix d'une vanne unique a de plus l'avantage d'économiser les systèmes mécaniques (vérins, pompes) ainsi que les systèmes de régulation et de commande nécessaires à la manoeuvre de la vannette.

L'étanchéité au pied de la vanne est particulièrement importante vu que celle-ci ne repose jamais sur le radier, les vérins étant en permanence en charge. L'évolution des techniques au niveau des vérins hydrauliques permet la conception de tels vérins. On notera l'importance du choix du positionnement des vérins de

manière à conserver ceux-ci en permanence hors de l'eau. Les points d'attache des vérins, d'une part sur le bras de la vanne segment et d'autre part sur la pile, conditionnent totalement le diagramme des efforts dans les vérins pour une position donnée de la vanne.

IV. CALCUL DE LA VANNE SEGMENT A L'AIDE DU LOGICIEL DES BORDAGES RAIDIS.

Le calcul des vannes segments s'effectue traditionnellement sans tenir compte de la collaboration des bras à la flexion et à la torsion de la vanne. Afin de préciser les champs de déplacement et de contrainte réels au sein de la vanne, nous avons voulu dans notre étude tenir compte de la présence des bras. Pour ce faire, un calcul de l'ensemble de la structure (vanne et bras) a été réalisé à l'aide du logiciel des bordages raidis. Avant de préciser les résultats obtenus, nous présentons d'abord ce logiciel (réf. 3).

IV.1. Principe du logiciel des bordages raidis.

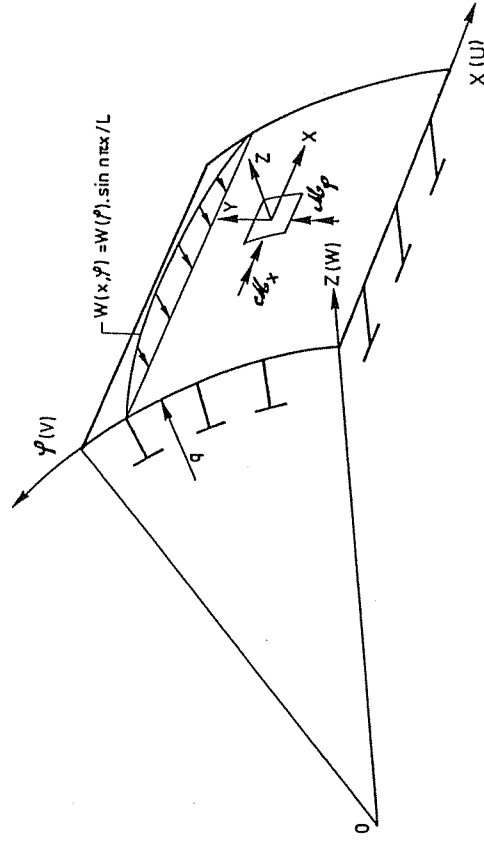


Figure 7. Coque cylindrique raidie.

Cette méthode de calcul des plaques et des coques cylindriques (figure 7) allie la simplicité et la rapidité à une grande précision de résultats. La précision étant garantie par une résolution analytique des équations différentielles de base des coques cylindriques d'épaisseur constante. Les équations différentielles de base sont issues de la méthode de Donnell-von Karman-Jenkins (réf. 4).

Les équations d'équilibre (1),(2) et (3) d'une coque cylindrique raidie (figure 7) en fonction des déplacements u,v,w et de leurs dérivées s'écrivent:

$$\frac{D}{q}(u'''' + v'''' + w''') + \frac{D}{q} \cdot \frac{1-v}{2}(u'''' + v''') + f(x) \left[\frac{v''}{q}(v'' + \frac{v''''}{q}) \right] + f''(\varphi) \left[\frac{1}{q}(v' + \frac{v''}{q}) \right] + f(\varphi) \left[\frac{1}{q}(v'' + \frac{v''''}{q}) \right] + x = 0 \tag{1.}$$

$$\frac{D}{q}(v'''' + u'''' + w''') + \frac{D}{q} \cdot \frac{1-v}{2}(u'''' + v''') + f(x) \left[\frac{v''}{q}(v'' + \frac{v''''}{q}) \right] - \frac{H_0}{q} w'''' + S_\varphi(v'' + \frac{v''''}{q}) + f'(x) \left[S_\varphi(v' + \frac{v''}{q}) \right] + f(\varphi) \left[S_\varphi(v'' + \frac{v''''}{q}) \right] + Y = 0 \tag{2.}$$

$$\frac{D}{q}(v'''' + u'''' + w''') + \frac{K}{q} w'''' + \frac{2K}{q} w'''' + \frac{K}{q} w'''' + f(x) \left[\frac{v''}{q}(v'' + \frac{v''''}{q}) \right] - \frac{2H_0}{q} w'''' - \frac{H_0}{q} v'''' + \frac{R_0}{q} w'''' + T_\varphi \frac{v''''}{q} + L_\varphi \frac{1}{q} (v'''' + \frac{v''''}{q}) + f(\varphi) \left[T_x \frac{v''''}{q} + L_x \frac{1}{q} (v'''' + \frac{v''''}{q}) \right] - H_x u'''' + R_x w'''' + f''(\varphi) \left[\frac{1}{q}(v' + \frac{v''}{q}) \right] + L_x (v'' + \frac{v''''}{q}) + f(\varphi) \left[\frac{1}{q}(v'' + \frac{v''''}{q}) \right] = -\frac{M_0}{q} x + M'_0 + Z \tag{3.}$$

Dans ces 3 équations (1),(2) et (3) il existe 3 types de termes - ceux relatifs aux charges extérieures X,Y,Z, M_0, M'_0, M_0, M'_0 , - ceux relatifs aux nervures, affectés des fonctions f(x) et f(φ), dont les sigles $S_x, S_\varphi, L_x, L_\varphi, \dots, T_x, T_\varphi$ sont des coefficients dépendant uniquement de la géométrie des nervures (réf. 4), - ceux relatifs à la coque lisse.

Les fonctions $f''(\varphi) = \delta f(\varphi) / \delta \varphi$ et $f'(\varphi) = \delta f(\varphi) / \delta x$ dérivées de fonctions de Heaviside, sont des fonctions de Dirac et sont nulles partout sauf au droit des nervures où elles valent 1.

Les déplacements, efforts et contraintes seront mis sous la forme d'une somme de termes de Fourier suivant l'axe ox. Ainsi, les déplacements, équations (4),(5) et (6), s'écriront pour le terme n du développement :

$$w = w(x, \varphi) = w(\varphi) \sin(n \pi x / L) \tag{4}$$

$$v = v(x, \varphi) = v(\varphi) \cdot \sin(n \pi x / L) \tag{5}$$

$$u = u(x, \varphi) = u(\varphi) \cdot \cos(n \pi x / L) \tag{6}$$

Pour ce type de développement, les conditions aux limites sont réalisées d'office par des appuis simples en x=0 et x=L.

Les développements analytiques ne pouvant être repris ici, nous dirons simplement qu'à l'aide des séries de Fourier, nous pouvons résoudre le système des 3 équations différentielles (1),(2) et (3) relatives aux coques cylindriques raidies soumises à des forces de pression Z, à des forces longitudinales Y concentrées aux extrémités et à des moments de surface M_0 (figure 8).

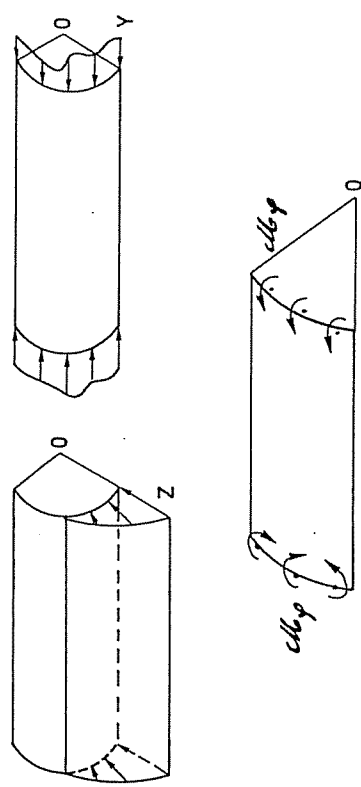


Figure 8. Schéma des sollicitations envisagées

Ces efforts Y et M_0 , vont nous permettre de simuler les forces et moments que transmettent les bras aux extrémités de la vanne (figure 9).

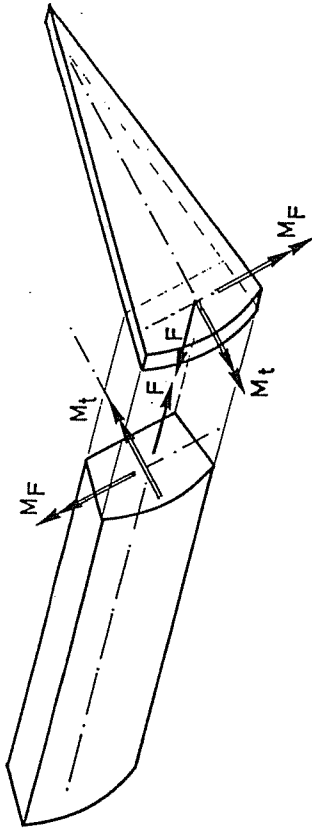


Figure 9. Forces et moments de liaisons entre la vanne et les bras.

IV.2. Les résultats.

Notre but n'étant pas ici de préciser les différentes phases du calcul de la vanne (figure 10), nous montrerons simplement l'influence de l'inertie des bras sur les contraintes et déplacements au sein de la vanne.

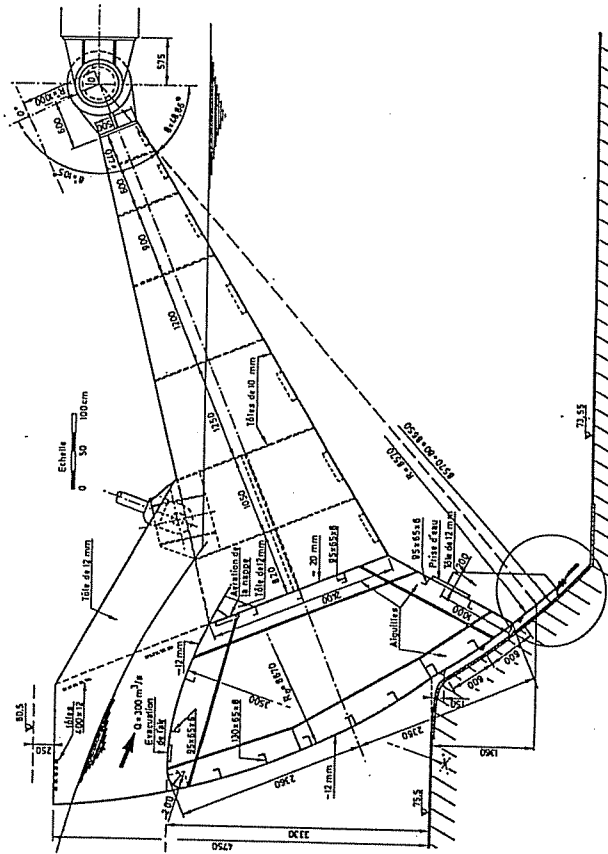
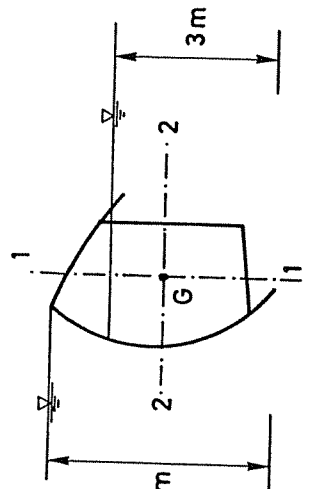


Figure 10. Vue en coupe transversale de la vanne segment en une pièce.

Prenons l'exemple suivant :

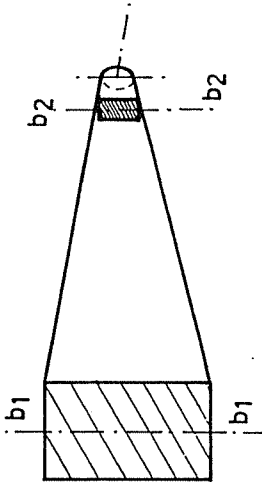
Soit la vanne de la figure 11 dont les caractéristiques sont :



- portée = 29m
- $I_{1-1} = 0.12 \text{ m}^4$
- $I_{2-2} = 0.40 \text{ m}^4$
- chute = 2m

Figure 11. Schéma de la section transversale de la vanne

Soit les bras, figure 12, symbolisés comme suit



- $I_{b1} = 30 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$
- $I_{b2} = 7.8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

Figure 12. Vue des bras

En fonction de l'inertie des bras, on obtient à mi-portée de la vanne, les déplacements horizontaux suivants (cfr. tableau 1) :

Inertie des bras (m^4)	Déplacement horizontal de la vanne à mi-portée (cm)
$I_{b1} = I_{b2} = 0$ (appuis simples)	4.30
$I_{b1} = 30 \cdot 10^{-4}$, $I_{b2} = 7.8 \cdot 10^{-4}$	3.73
$I_{b1} = 60 \cdot 10^{-4}$, $I_{b2} = 15.6 \cdot 10^{-4}$	3.50
$I_{b1} = 300 \cdot 10^{-4}$, $I_{b2} = 78 \cdot 10^{-4}$	2.55
$I_{b1} = I_{b2} = \infty$ (encastements)	1.15

Tableau 1. Evolution des contraintes et déplacements au sein de la vanne en fonction de la rigidité des bras.

L'analyse de ce tableau montre l'importance d'étudier la structure "vanne segment et bras" comme un tout indissociable ainsi que l'intérêt d'utiliser le logiciel des bordages raidis à cette fin. L'utilisation de ce logiciel à des structures telles que vanne segment, porte d'écluse, vantail raidi, tablier de pont, ... , est d'ailleurs particulièrement intéressante vu la rapidité d'utilisation

résolution par ordinateur et l'analyse des résultats peuvent être réalisés pour l'exemple cité, en deans les 8 heures. Cette méthode raccourcit donc considérablement le temps nécessaire à de telles études et voit s'ouvrir à elle la voie de la conception assistée par ordinateur.

V. CONCLUSION.

Bien que les barrages mobiles à vannes et vannettes donnent entière satisfaction pour la gamme des retenues importantes (10 à 20 m), il n'est pas souhaitable d'utiliser ce type de barrage pour les faibles retenues (3 à 5m). Pour des raisons de simplicité, de rigidité, et aussi d'économie, il est proposé pour les faibles retenues, une vanne unique couvrant toute la hauteur mais permettant néanmoins l'écoulement de surface pour les faibles débits et l'écoulement par lame de fond pour les crues.

Nous avons adapté ce système de vanne unique à la vanne segment, très prisée actuellement pour son faible encombrement et aussi sa parfaite intégration dans les sites touristiques.

Le calcul d'une telle structure est facilité par l'utilisation du logiciel des bordages raidis. Ce logiciel d'accès très aisé, ne nécessitant qu'une discrétisation très simple, fournit des résultats (contraintes et déplacements) très détaillés dans un laps de temps fort court.

REFERENCES

1. **N.M. Dehousse, Ph. Rigo**, (1987), Le réglage des niveaux par barrages mobiles pour des ouvrages à faibles retenues, Bulletin n°57 de l'A.I.P.C.N.
2. **Ph. Rigo**, (1981-82), Avant-projet d'un barrage muni de vannes à segment, Travail de fin d'études en Sciences Appliquées de l'Université de Liège.
3. **Ph. Rigo**, (1988), Utilisation des développements harmoniques aux calculs des ouvrages hydrauliques métalliques, Thèse en Sciences Appliquées, Université de Liège.
4. **N.M. Dehousse**, (1961), Les bordages raidis en construction hydraulique, Mémoires du Centre d'Etudes, de Recherche et d'Essais Scientifiques du Génie Civil (Nouvelle série), Vol. n°1, Liège.