

COURS DU GENIE CIVIL.

ECLUSES

Notes publiées avec l'autorisation
de Monsieur le Professeur CAMPUS.

IMPRIMERIE LITHOGRAPHIE
AUG. PHOLIEN
57, RUE SUR LA FONTAINE, 57
LIÈGE

Ouvrages de navigation pour franchir les chutes

Chapitre I

Ecluses à sas

§ 1) Généralités Dans les rivières canalisées et dans les canaux il faut des ouvrages spéciaux pour permettre aux bateaux de franchir les chutes ; on les nomme généralement des écluses.

Un système assez sommaire est celui de la navigation par écluses ou lâchures, qui ne peut d'ailleurs se pratiquer que dans les cours d'eau à débit, et pour de faibles chutes, elle correspond à une canalisation imparfaite des cours d'eau à mouillage insuffisant. Dans le barrage, généralement il existe une passe à bouche mobile, appelée écluse, qui peut livrer passage aux bateaux, qui passent sur l'onde de dérusement et sont aidés dans leur navigation en aval par l'onde de propagation de débit. Le procédé convient surtout au flottage des bois. C'est ainsi que les barrages de la Moldau présentent des passes de flottage obturées par des vannes à segments. Mais il ne convient pas pour une navigation développée, à cause de l'intermittence, du danger de passage des bateaux et de la difficulté de la remonte contre l'onde des éclusées.

Le type d'ouvrage le plus approprié est l'écluse à sas, qui consiste en une capacité intermédiaire entre les biefs d'amont et d'aval et qui peut être mise successivement en communication avec eux. Le niveau de l'eau dans le sas oscille donc entre ceux d'amont et d'aval et, dans ce mouvement fait remonter ou descendre les bateaux qui sont dans le sas. Un tel ouvrage comporte le sas et les 2 têtes, qui constituent à vrai dire les barrages mobiles, dont les bouchures sont appelées ^{vanne} portes de l'écluse.

On donne aussi le nom d'écluse à des ouvrages analogues à une tête d'écluse à sas et qui servent à l'irrigation

au drainage ou comme déversoirs. Ce sont à vrai dire des types spéciaux de barrages mobiles, dont nous avons déjà parlé brièvement dans l'étude des barrages et qui sont examinées dans la partie du cours relative aux drainages et irrigations. Certaines écluses maritimes du même genre, ainsi que les écluses maritimes à sas sont étudiées dans la partie du cours relative au génie maritime.

§ 2) Écluses à sas. Les caractéristiques principales d'une écluse à sas sont la hauteur de chute et la superficie du sas; leur produit représente le volume d'eau de la sassée. A chaque éclusée on envoie en moyenne du bief amont dans le bief aval un volume d'eau égal à la sassée; c'est la consommation d'eau par éclusage (voir cours de canaux). Pour réduire la consommation d'eau, il y a avantage à réduire la sassée, soit par réduction de hauteur de chute ou de superficie du sas. Mais les écluses retardent la navigation et dans son intérêt, il est désirable d'augmenter les chutes, pour réduire le nombre d'écluses, et d'augmenter la superficie des sas, pour augmenter le rendement des écluses. Dans les canaux à point de partage, pour lesquels la question de la consommation d'eau est très importante, il faut tenir compte, dans le choix des dimensions des écluses de ces points de vue contradictoires. Cependant la tendance actuelle est aux écluses à grand rendement, c'est à dire à grand sas, parce que la dépense considérable d'un canal ne se justifie plus que pour les grands trafics, dont il faut assurer l'écoulement aisé. Sur les eaux d'eau naturels, la question de la consommation d'eau des écluses est moins importante, même si la puissance est transformée en énergie électrique. Les écluses des canalisés sont donc généralement à grand volume.

Les dimensions horizontales du sas sont déterminées par le matériel de navigation de la voie d'eau. Les écluses pour un seul bateau doivent pouvoir contenir le plus grand bateau

autorisé à circuler sur la voie, en laissant une certaine aisance. La détermination des écluses pour train de bateaux est plus complexe; elle dépend de la disposition des bateaux dans l'écluse, qui peuvent éventuellement se mettre bord à bord. C'est notamment le cas lorsque sur la voie d'eau circulent des bateaux de tonnages divers; les plus grands sont éclusés seuls, les plus petits en trains. C'est un cas d'espèce qui ne soulève pas de difficultés de principes.

Mais comme le but recherché dans l'éclusage des trains est l'augmentation du rendement; il y a évidemment intérêt à ne pas décomposer ni modifier le train et à l'écluser en ordre de marche, le plus rapidement possible. Les écluses longues sont, sous ce rapport, préférables aux écluses larges (à bassins)

Les aissances sont en moyenne les suivantes pour permettre le mouvement aisé des bateaux :

	Largeur	Profondeur	Longueur
1) <u>Ecluse de canal</u>	(des 2 côtés)		
a) pour bateau isolé	0,50	1,25	2,00
b) pour train	1,00	1,25	5,00
2) <u>Ecluse de rivière</u>			
a) pour bateau isolé	1,00	1,25	3,00
b) pour train	1,50	1,25	9,00

Les circonstances peuvent justifier des écarts de ces moyennes dans des limites raisonnables; toute réduction augmente les difficultés de passage des bateaux et toute augmentation augmente la consommation. La revanche de terre plein sur le plan d'eau amont est la même que celle des berges du bief amont en canal ou dérivation.

Lorsque la navigation ne se fait pas régulièrement en trains de composition déterminée ou que les tonnages des

Bateaux sont très divers, pour proportionner la consommation et la durée de l'éclusage au tonnage éclusé, on peut diviser le sas par des portes intermédiaires ou disposer plusieurs écluses accolées; généralement 2. Cette dernière combinaison est surtout applicable aux canaux à fort trafic. Les trains sont peu importants, le type des bateaux est peu variable, les sas servent de bassin d'épargne l'un à l'autre, la consommation est réduite. Les écluses doubles sont à grand rendement, surtout si l'on prend des dispositions spéciales aux abords, comme dans les écluses du canal St Quentin. Le doublement d'une écluse peut se faire après coup lorsque la capacité est devenue insuffisante pour le trafic. La seconde écluse peut être à plus grande section si le tonnage des bateaux s'est accru.

En rivière où les trains sont plus importants et de composition plus variable et où la consommation d'eau joue un moindre rôle, on préfère les écluses pour train de bateaux ou en tandem, c'est à dire de grande longueur et à porte intermédiaire, ce qui n'empêche pas que les écluses accolées peuvent être utiles, notamment pour le passage rapide de bateaux isolés; remorqueurs, autoporteurs, vedettes, etc.

Les dimensions des écluses et les hauteurs de chute ont crû fortement au cours des dernières années. La section normale des écluses des canaux français de 300 t est de

5,20 x 38,50 m. (Loi de 1879)

Les écluses du canal Meuse-Waal en Hollande ont 16 x 136 m. Les hauteurs de chutes de certaines écluses allemandes atteignent jusqu'à 15 m. (écluses de Minden et de Heuriefenbourg). Des écluses de 20 m de hauteur de chute sont projetées ou en exécution.

On ne parle pas des écluses spéciales: de rebroussement, de jonction, carrées, à vées multiples etc, qui ne sont que de cas particuliers, d'ailleurs exceptionnels et dont

l'étude peut se faire d'après les mêmes principes que pour les écluses à sas simples.


§ 3) Terminologie des écluses à sas.

Les extrémités des écluses, qui contiennent les portes, portent les noms de têtes d'amont et d'aval. Elles sont terminées par des murs en retour dont les angles, arrondis pour faciliter l'entrée des bateaux, portent le nom de musoirs. Dans les murs des têtes, à l'extérieur des portes et parfois de part et d'autre, il y a des rainures ou fentes pour l'appui des poutrelles, ou d'un bateau-porte, de fermeture de seaux. Dans le cas où la fermeture se fait par portes busquées, c'est à dire à 2 vantaux verticaux arc-boutés, les murs contiennent des enclaves pour le logement des portes en position ouverte, sans saillie sur les parements. Le bord de l'enclave où s'effectue l'appui du vantail de la porte est le chardonnet. Le dé sur lequel s'appuie la porte s'appelle bourdonnière. Le fond de la tête est le radier, il est limité du côté aval par un seuil qui est en chevron et porte le nom de buse en cas de portes busquées; du côté amont par une plate-bande. Entre la buse et la plate-bande se trouve un approfondissement, correspondant aux enclaves et qui est la fosse de porte. La sortie en aval de la porte aval s'appelle chambre de fuite.

En aval du busé amont commence le sas dont le plafond est généralement plus bas que celui de la tête amont le mur vertical qui réunit les deux radiers est le mur de chute. Dans les écluses en rivière de faible chute, il n'existe pas. Les parois latérales du sas portent le nom de bajoyers. Le terrain voisin de l'écluse arasé au niveau de la tablette de couronnement des bajoyers et qui porte les dépendances de l'écluse est le terre-plein. Les écluses bien équipées comportent de multiples accessoires destinés à faciliter l'éclusage et à la circulation du personnel, nous les étudieront ulté-

riement.

§ 4) Stabilité des maçonneries d'un sas d'écluse

Les maçonneries d'un sas d'écluse comportent les 2 bazoys réunies par le radier ; ils forment un solide en  renversé.

Cet ensemble est généralement symétrique et sollicité symétriquement, nous étudierons d'abord cette hypothèse qui nous permet d'examiner le dispositif formé par un bazoys et le demi radier accolé : Il doit être en équilibre sous l'effet des actions suivantes :

1° le poids propre qui comprend le poids P_b du bazoys et P_r du radier

2° la poussée des terres Q sur le bazoys, qui comprend la poussée Q_t des terres sèches et celle Q_e de l'eau que contient le terrain

3° les pressions de l'eau sur le radier et sur le parement intérieur du bazoys dans le cas où le sas est plein, nous les désignerons par P_i et P_b

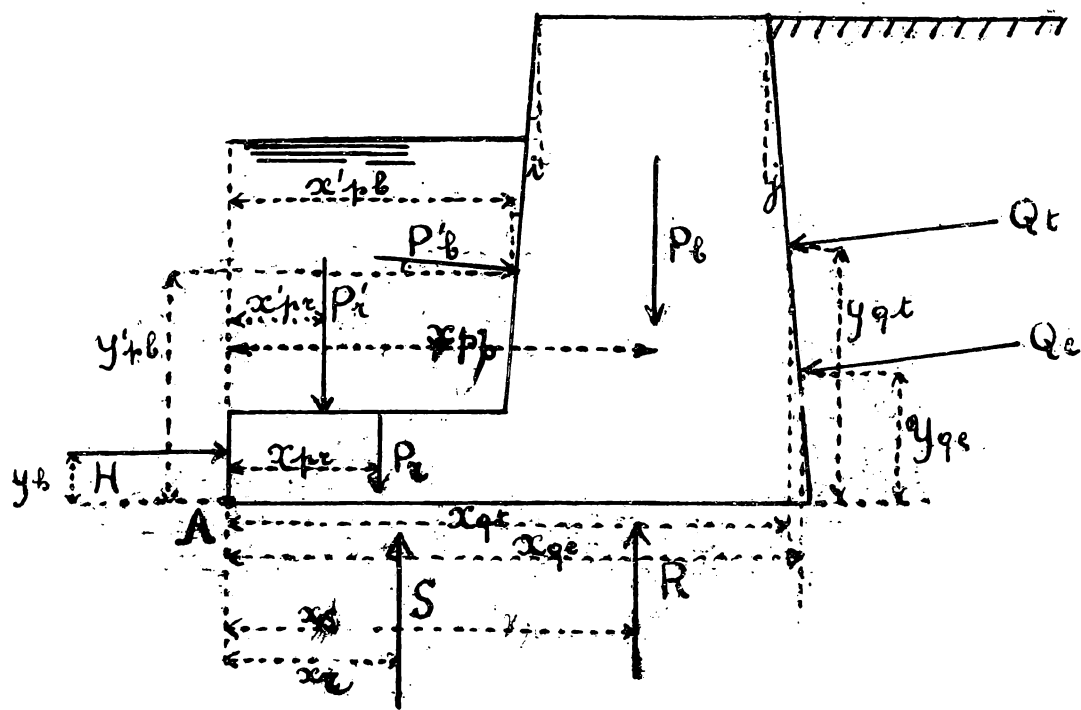
4° les sous-pressions sur le radier et la fondation du bazoys dont la résultante est S

5° les réactions du sol de fondation, dont la résultante est R

6° la réaction horizontale sur la section médiane du radier de la partie symétrique, que nous appellerons H

Observons que de toutes ces actions, seule la première est pratiquement invariable, les autres se modifient par suite de multiples circonstances, dont certaines se répètent fréquemment : le remplissage et la vidange du sas. Les sous-pressions et pressions extérieures de l'eau sont mal connues et peuvent varier avec le temps. Enfin, il faut envisager que pendant la construction ou en cas de travaux de réparations, le remblai derrière les bazoys et la poussée correspondante peuvent être inexistantes. Il faut envisager les

diverses hypothèses afin de déterminer les fatigues dangereuses dans toutes les régions de l'ouvrage



Nous supposons tout d'abord que toutes ces actions existent afin d'établir les équations les plus générales d'équilibre. Supposons les 2 faces du radier, horizontales et les fixements des bords inclinés de i et de j ; soit φ l'angle de frottement des terres sur le radier.

Les équations de projection d'équilibre de translation vertical et horizontal sont :

$$R + S = P_b + P_e + P_i + P_e' \sin i + Q_t \sin(j + \varphi) + Q_e \sin j$$

$$H = Q_t \cos(j + \varphi) + Q_e \cos j - P_e' \cos i$$

L'équation d'équilibre des moments autour de A s'écrit

$$Hy_b = Sx_e + Rx_e - P_e x_{pe} - P_b x_{pb} - P_i x_{pi} - P_e' \sin i x_{pe'} -$$

$$Q_t \sin(j + \varphi) x_{qt} - Q_e \sin j x_{qe} - P_e' \cos i y_{pe'} + Q_t \cos(j + \varphi) y_{qt}$$

$$+ Q_e \cos j y_{qe}$$

Ces trois équations définissent les inconnues R , H et y_b à condition que la loi de répartition de R soit connue (c'est à dire x_e)

En somme, il y a plutôt 4 inconnues : H , y_b , R et x_e .

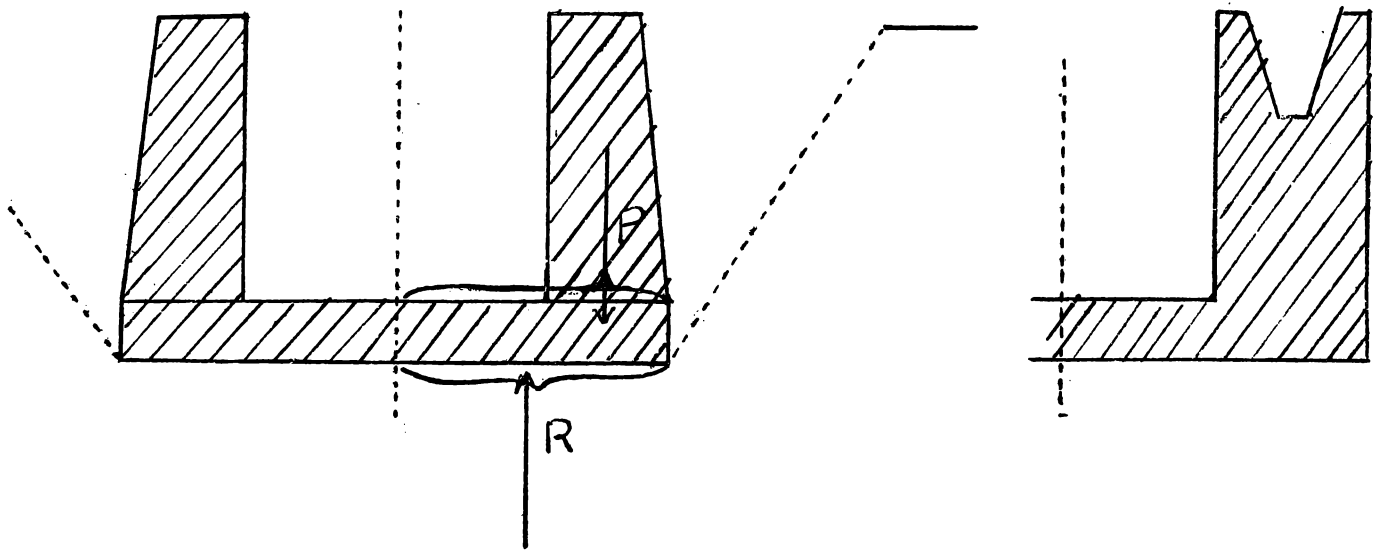
La 4^{ème} équation est donnée par la loi de répartition des pressions du sol, qui définit x_e

Pouvent être connus avec certitude les éléments P_b , P_x , P'_x et P'_b .
 Pour ce dernier, il faut observer que le plus souvent le parement intérieur du bapoyer est vertical et que P'_b est donc horizontal ($i = 0$).

Nous savons que les efforts dus à la poussée des terres et aux pressions des eaux d'infiltration sont beaucoup moins connus. Si le terrain est très perméable et que l'on ne s'oppose pas aux infiltrations, on pourrait mettre en compte la pleine pression d'amont. Mais cette circonstance serait très défavorable pour la consommation du canal, par suite de l'importance du débit passant par infiltration du bief amont dans le bief aval. On établit généralement des dispositifs pour réduire les infiltrations, d'autant plus importants que le terrain est plus perméable. Il en résulte certainement une réduction des sous-pressions. Je me réfère au cours de barrages; il faut accorder à la question des sous-pressions une judicieuse attention.

Au sujet de la poussée des terres, il faut observer que les méthodes habituelles de calcul supposent un léger déversement du mur vers le vide. Dans le cas présent, par suite des sous-pressions et réactions du sol sous le radier solide du mur, il peut y avoir une tendance antagoniste appliquant le mur contre les terres. Nous savons que l'angle de frottement des terres change de sens dans cette hypothèse. Pour cette raison on admet souvent $\varphi = 0$ et en outre on rend le parement extérieur du bapoyer aussi lisse que possible. Cela a le double avantage d'augmenter la poussée et de réduire l'angle de la poussée sur l'horizontale, ce qui est désirable pour équilibrer le moment des sous-pressions et réactions sur le radier. Pour cette raison aussi, il serait avantageux que $\varphi = 0$ (parement vertical), ce qui est possible au moyen de bapoyers évidés. Cette disposition présente encore d'autres avantages que

nous définissons plus loin. Donc, moyennant certaines hypothèses on connaît S , Q et Q_e . Pour que le problème soit déterminé, il faut connaître la loi de répartition de R . C'est la clef du problème et elle dépend du mode de construction. Avant de l'étudier dans un nouveau paragraphe, il reste à faire remarquer que les formules précédentes permettent l'étude de tous les cas de sollicitation, il suffit d'y supprimer les actions inexistantes, par exemple $P'a$ et $P'b$ en cas de sas vide.



§ 5) Répartition des réactions du sol

A propos de l'étude des barrages à gravité, j'ai fait la remarque que dans les massifs de maçonnerie, il n'existe pas d'état naturel non contraint, mais que des contraintes capitales naissent pendant la confection même du massif. Il en résulte que les contraintes ultérieures quelconques d'un tel massif dépendent toujours du mode de confection, c'est ce que M.

Pigeaud appelle l'élément historique. Le mode de construction agit principalement sur la répartition initiale des réactions du sol, qui, de la sorte, influent sur la répartition ultérieures des contraintes dans le massif.

Supposons que le sas soit construit en établissant tout d'abord sur toute sa largeur une plateforme rigide de l'épaisseur du radier, sur laquelle on construit ensuite

des bajeoyers. Il est évident que la répartition des pressions sur le sol sera voisine de l'uniformité, d'autant plus que le radier sera plus rigide et le sol plus mou, et il y a des sous-pressions importantes, elles contribuent à cette uniformité, même sans recourir aux formules précédentes, il est apparent qu'il se développe des moments de flexion importants dans le radier, dont le maximum correspond à l'axe médian et qui tendent à ouvrir des fissures d'extension à la face supérieure du radier. La seule action réductrice de cette flexion provient des poussées des terres et de l'eau derrière les bajeoyers. Or, d'après le mode de construction, qui se fait en tranchée ouverte jusqu'après achèvement complet, ces poussées font défaut pendant la construction. Des accidents peuvent donc se produire pendant la construction, surtout si le sol est très perméable, parce que le radier, en béton coulé sans eau ou effectué dans l'air comprimé, est souvent de médiocre qualité. En très mauvais terrain, on fonde souvent sur pilotis. Il se présente alors un moyen de remédier à la situation précédente, c'est d'établir une disposition de pieux plus serrée sous le bajeoyer que sous le radier. De la sorte on rapproche les alignements de P et de R et on peut réduire les moments de flexion.

On voit également qu'il y a intérêt à réduire les effets de sous-pressions, qui ne peuvent guère influencer sous les bajeoyers, mais surtout sous le radier, qui ils tendent à soulever en créant un moment positif. Pour de fortes charges d'eau, la recherche d'un poids suffisant conduirait à des épaisseurs excessives. On peut escompter la résistance à flexion du radier constitué comme une voûte renversée ou bien comme une dalle ou un hourdis armés (voir cours de fondations). Les bajeoyers servent d'appui et, bien entendu il faut que l'ensemble du sas soit assez lourd pour ne pas

flatter. On peut aussi réduire les sous-pressions en établissant sous le radier une couche d'argile étanche d'assez forte épaisseur h . Si Δ est le poids spécifique, les sous-pressions sont réduites de $h(\Delta - 1000)$ kg/m² ou environ $800 h$ kg/m². Tout récemment, à la nouvelle écluse d'Ymuiden, on a utilisé la résistance à la traction des pieux de fondation pour résister aux sous-pressions (voir *Revue Ingénieur*, n° 1 de 1923).

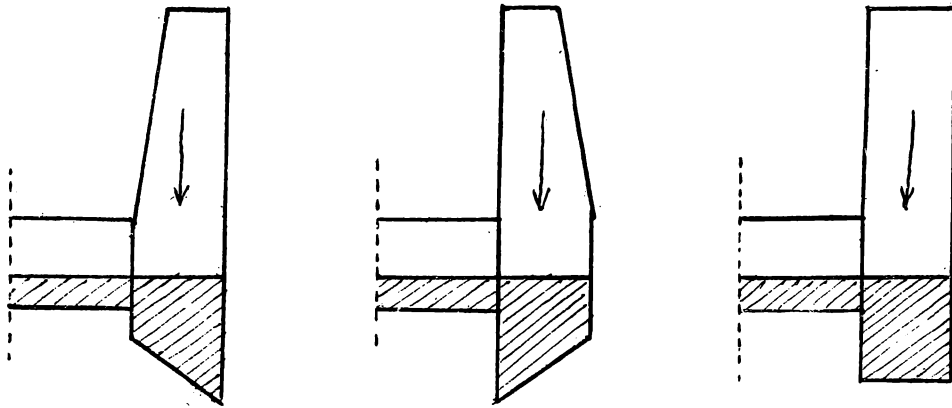
En terrain assez résistant, on peut construire d'abord les bajoyers seuls, ensuite le radier. Il en résulte qu'on peut admettre en toutes circonstances que les réactions du sol sur le radier et les bajoyers ne correspondent qu'aux seules actions qui s'exercent sur ces éléments si les joints subsistent. Il ne peut y avoir transmission que d'efforts horizontaux, non d'efforts tranchants sauf dans la mesure réduite correspondant à l'adhérence, qui peut d'ailleurs être faible par suite des déformations résultant de la sollicitation variable.

Donc sous le radier, la réaction est toujours uniformément répartie. Sous les bajoyers, elle peut se faire de 2 manières différentes :

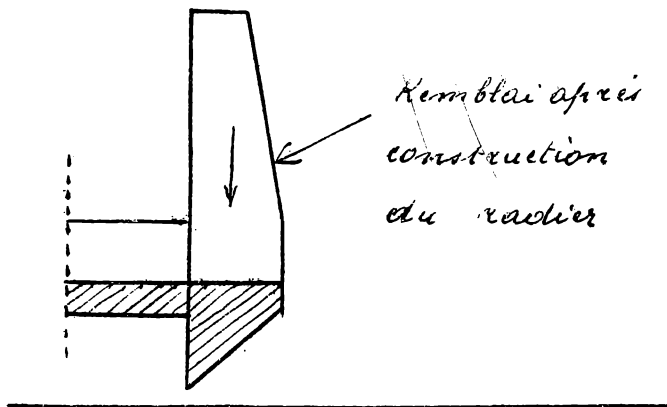
1° Le bajoyer est construit en famille ouverte et le radier est construit avant remblai : La répartition des réactions du sol, correspond à la loi du trapèze et dépend de la forme du mur, c'est à dire de son poids propre. Le profil étant généralement assez massif et de forme trapézoïdale, la répartition est généralement assez uniforme. Le développement ultérieur de la poussée des terres après remblai ne peut guère modifier cette répartition, par suite de la butée du radier qui s'oppose au déversement du mur. La poussée est équilibrée par les réactions normales dans le joint du radier et du bajoyer.

2° Si au contraire, on remblaise avant de construire le radier, le mur se déverse et la loi des réactions du sol

Correspond à celle d'un mur de soutènement en charge, c'est à dire maximum sous l'arête intérieure. La construction ultérieure d'un radier épais conserve cette répartition.



Remblai avant construction du radier

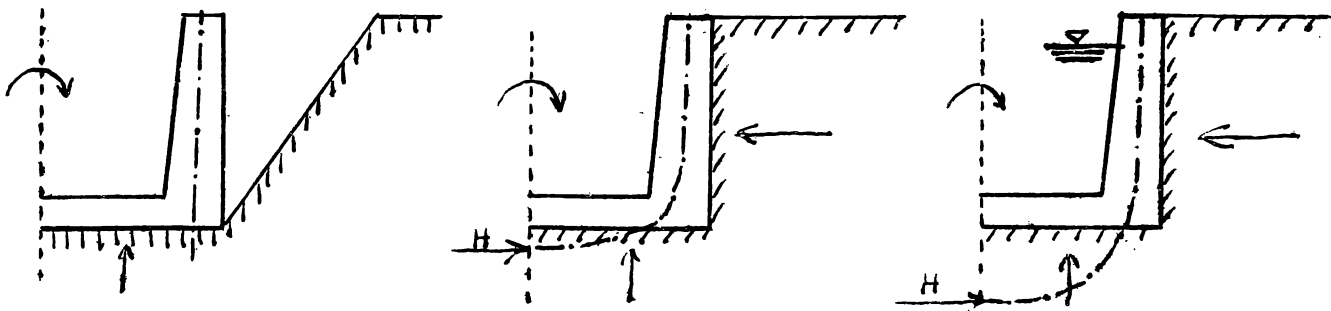


Remblai après construction du radier

L'une et l'autre de ces situations se trouvent réalisées en principe, lorsque, après accident en cours d'exécution ou de service, un radier général doit être démoli entre les baysers et reconstruit dans la fouille qui ils protègent

Ces répartitions simples peuvent toutefois être modifiées en cas de sous pressions importantes. A moins d'empêcher le soulèvement du radier par des dispositifs indépendants des baysers, il faut ou bien établir obliquement les joints entre ces éléments, ou bien établir après coup la solidarité (voir planche 8, sécluses nouvelles du Haut Escout). La répartition initiale des réactions est alors modifiée lorsque les sous pressions agissent, par transmission d'effort tranchant. Il y a intérêt à réduire le plus possible ces sous pressions, par des dispositifs d'étanchement s'opposant en même temps aux infiltrations. Ce sont les mêmes que ceux employés pour les barrages de même chute dans un terrain identique. L'~~ancien~~ radier étanche en amont raccordé à des perrés étanches sur les berges, possède une grande efficacité, il est accompagné d'un certain nombre de

de parois de pulpimentes profondes et étanches, établies en traverses, prolongées dans les rives comme ancrages. A l'abri d'un tel étalement assez sûr pour éviter les appels d'eau, on peut éviter à coup sûr les sous pression par drainage. Le dispositif le plus simple consiste à perforer le radier, mais on peut aussi établir des tuyaux de drainage en relation constante avec l'aval (voir planche 9, écluse du canal d'Orlians). Il faut éviter que le drainage ne favorise les infiltrations et ne donne lieu à des affaiblissements dangereux sous l'aufrage.



§ 6) Lignes des pressions

En mesure de déterminer la loi de répartition des réactions du sol d'après les dispositions constructives, nous pouvons connaître R_z et déterminer, d'après les équations généralement précédemment établies, $R \cdot H \cdot y \cdot z$. Il est possible alors de tracer complètement la ligne des pressions, enveloppe des résultantes des actions dans toutes les sections. Cette ligne de pressions, doit en toutes hypothèses plausibles de sollicitation, être dans l'intérieur de la région centrale, afin d'éviter les extensions sur aucune face. En effet, des pressions hydrostatiques sont susceptibles de se développer sur tous les parements et d'agir dans les fissures de la maçonnerie. En outre, les fatigues de compression ne peuvent dépasser la limite de sécurité.

Examinons comment ces conditions peuvent être réalisées dans les diverses hypothèses faites au sujet des réactions du sol. Dans le cas du radier général, par suite de réacti...

uniformes, il y a nécessairement un moment positif (sens direct) dans le radier; il est maximum dans la section médiane. Pendant la construction, en absence de poussées, $H = 0$. Il y a flexion simple, la ligne des pressions est à l'infini sous le radier et il se développe à la face supérieure de celui-ci des tractions égales aux compressions de la face inférieure. Après remblayage, la ligne des pressions remonte car il se produit une poussée

$H = Q_t$ et un moment négatif $Q_t Y_{qt}$. Pour qu'elle rentre dans la région centrale, il faut donc une très forte poussée aussi horizontale et aussi élevée que possible. Les conditions seraient réalisées le mieux par un parement arrière vertical et du sable très fin et très perméable. Le niveau de l'eau dans le terrain serait au niveau amont et Q_e serait très important. Mais les pressions sur le radier exerceraient un moment positif aggravant la situation. D'autre part, quand le sas est plein, les poussées de l'eau sur les parements se neutralisent et la présence de l'eau a pour effet de réduire Q_t par la réduction du poids des terres dans l'eau. Donc, si H est hors du noyau central lorsque le sas est vide, il l'est a fortiori lorsqu'il est plein.

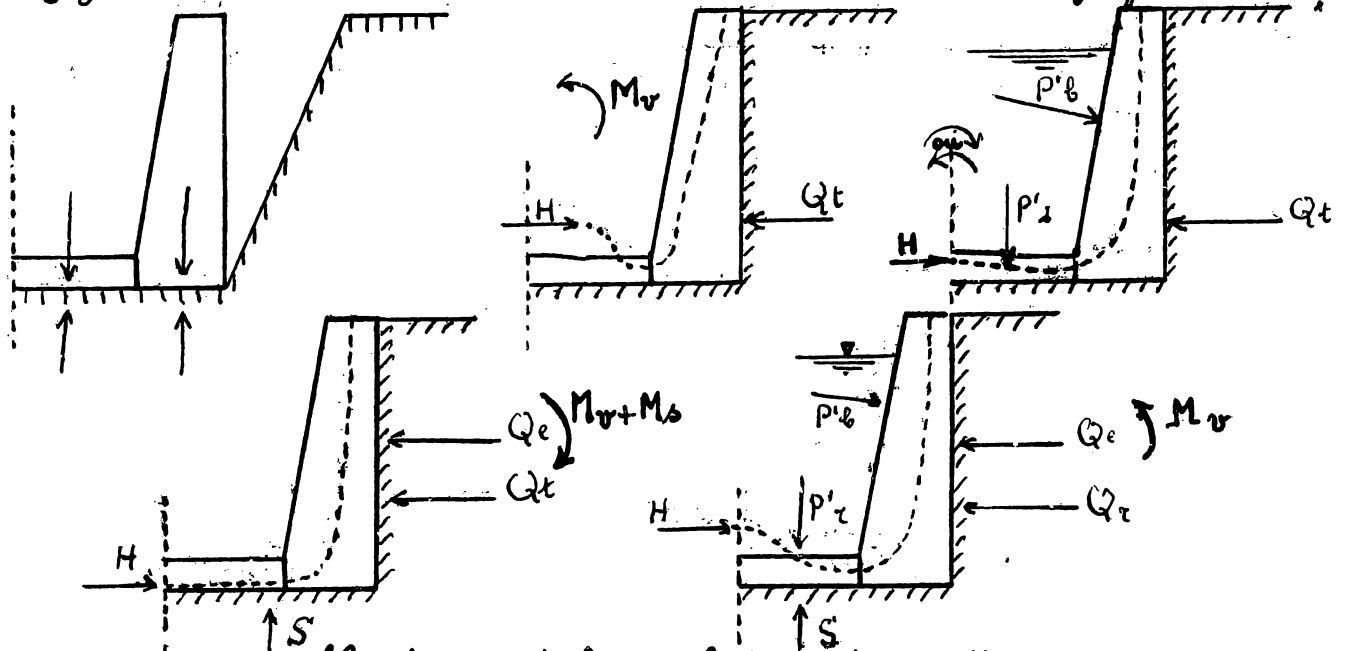
Un drainage au niveau d'aval ne peut guère modifier cette situation et aggrave la situation en cas de sas plein, car $P'b$ n'est pas compensé par Q_e . Par contre, si le radier est percé, on peut admettre que cette compensation s'établit à peu près et la poussée résultante sur le bazooyer est peu variable. Il faut qu'elle soit en outre assez grande, pour que H rentre dans la région centrale. Cette disposition est réalisable dans les sas peu larges et élevés; elle est alors favorable pour la réduction des dimensions des bazooyers. C'est le type de la plupart des belues pour bateaux de 300 T. Il est favorable de percer le radier.

2) Dans le cas où les bazooyers et le radier sont construits séparément avant remblayage, les réactions du terrain équilibrent

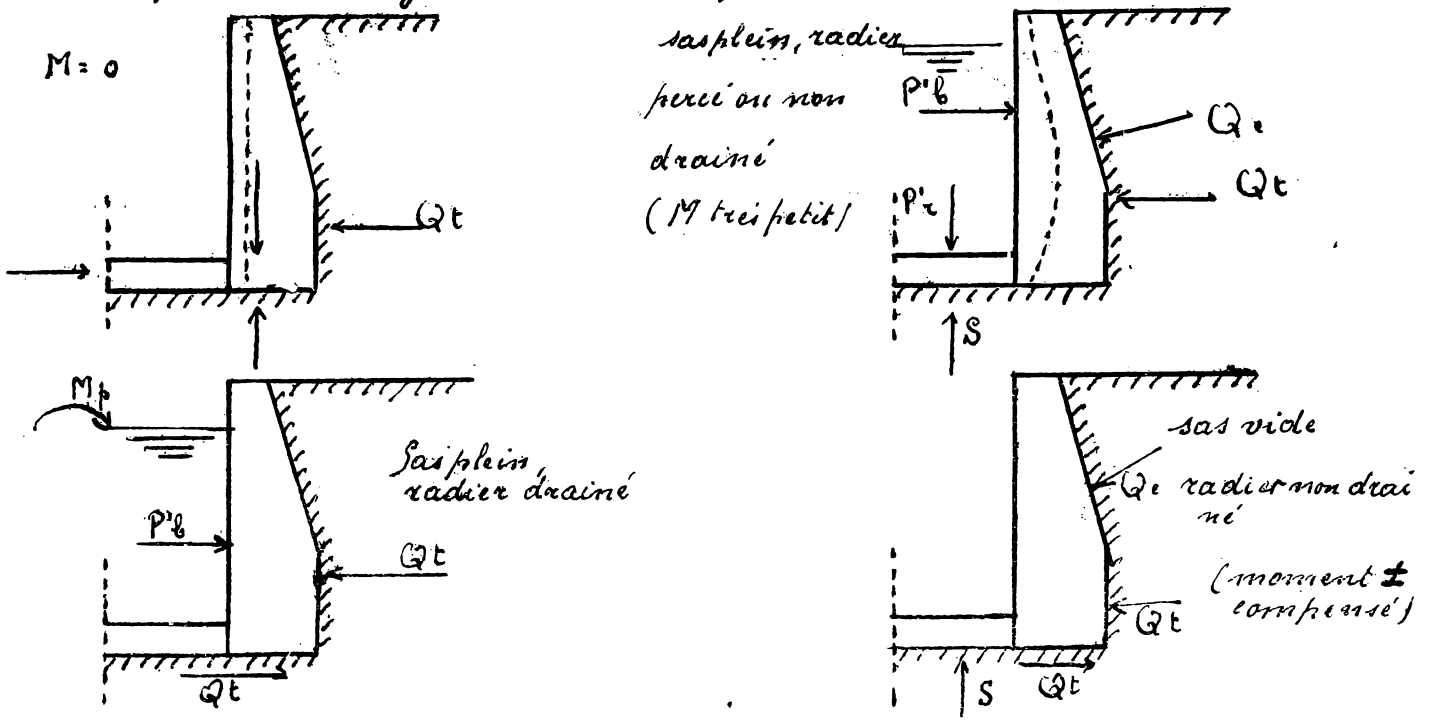
librent sans moment respectivement les poids de ces éléments. Initialement, il n'y a pas de poussée H et pas de flexion. Le développement ultérieur de la poussée des terres produit dans le radier un moment de flexion négatif M_v . H doit équilibrer directement Q_e et se trouve donc en général, vu les dimensions usuelles, en dehors du noyau central. Il en résulte des tractions à la face inférieure du radier. La poussée de l'eau dans le sas développe un moment positif qui réduit au contraire, l'effet précédent, d'autant plus que Q_e est plus petit. Donc il n'y a pas intérêt à percer le radier. Le radier étant étanche, les sous-pressions produisent un moment positif, qui améliore la stabilité du sas vide. La valeur optimum du moment des sous-pressions serait telle que $M_s + M_{\frac{1}{2}} > 0$, H restant toutefois dans le noyau central. Si le sas est vide, P' compense S et $P'b$ compense Q_e ; il reste Q_t qui est d'ailleurs réduit du fait de la poussée de l'eau. Il se développe donc un moment négatif inférieur à M_v . H est réduit, mais son excentricité subsiste. Les sous-pressions sont donc susceptibles d'améliorer la situation. Si l'on perce le radier au niveau d'aval, la sollicitation du sas plein sera la meilleure possible et celle du sas vide assez bonne, Q_e étant seul. Cette solution est aussi admissible. Si le radier est percé, le moment est toujours négatif et égal à M_r ; cette solution ne présente aucun avantage. On doit donc, en toute hypothèse, escompter toujours une certaine extension à la face inférieure du radier. Le système peut convenir pour les sas moyennement larges et peu élevés; les joints entre radier et boyaux sont obliques ou bien fermés avant mise en service. Une légère armature assure éventuellement ^{la résistance} aux moments de flexion résultants; il faut en tout cas un radier résistant et assez épais.

f) Considérons enfin le cas du boyau dont le terre plein est remblayé avant la confection du radier. Il est donc stable par lui-même sans l'effet de la poussée des terres.

Bajoyers et radier construits séparément avant remblayage



Terre-plein remblayé avant la confection du radier.



Pendant la construction et lorsque le sas est vide, en l'absence de sous-pressions, il ne se développe ni poussée ni moment de flexion. Lorsque le sas est rempli, il se produit un moment positif. La grandeur et la position de H dépend de $P'z$, Q_t et Q_e . Pour réduire l'excentricité au minimum afin que H reste dans le noyau central, il faut que Q_t et Q_e soient les plus grands possible, Il y a donc, dans ce cas, intérêt à percer le radier.

Car alors, on peut considérer que Q_e et $P'b$ se compensent à peu près et le moment positif ne peut provenir que des petites différences et de la diminution de Q_e en terrain noyé, c'est à dire être faible. Il reste généralement dans le noyau central. Les sous pressions ne peuvent pas modifier cette répartition si le radier est percé. Un radier étanche et drainé n'est pas désirable; le moment positif de $P'b$ serait maximum. Si le radier était étanche et non drainé, Q_e compenserait $P'b$, lorsque le sas serait plein. Mais si le sas était vide, les pressions sous le radier développeraient un moment positif. Donc la meilleure solution consiste à percer le radier. Dans ces conditions, on peut admettre qu'il ne supporte jamais aucune charge de la part des bagoyers et on peut le construire tout à fait mince et sans résistance propre; les bagoyers doivent être stables par eux-mêmes.

Effectivement, ils ne transmettent d'ailleurs aucune pression au radier, les efforts horizontaux étant absorbés par le frottement sur les fondations. Si le sas doit être étanche, on emploiera un radier épais, résistant, en voûte ou béton armé, non drainé, ce qui est le cas le plus favorable. La solution est meilleure que celle du radier général, car l'important moment positif dû au poids des bagoyers est supprimé. Il ne reste que le moment positif de $P'b$ ou des sous pressions plus ou moins compensé par celui de Q_e . Selon les cas, les joints seront obliques ou fermés. S'ils sont fermés, théoriquement, le déblai ultérieur derrière le bagoyer, à sec, donnerait un moment positif de flexion supplémentaire et des extensions à la face supérieure du radier, mais cette opération est improbable; on ne peut pratiquement déblayer que par parties.

En rivière, le bagoyer qui n'est pas à la rive reçoit généralement l'appui d'une extrémité du charnage; on l'appelle pile bagoyer. Les éléments qui interviennent dans son calcul sont les poids et les pressions hydrostatiques

Les actions extérieures sont donc connues sans ambiguïté. Les mêmes méthodes de construction que ci-dessus peuvent être envisagées. Il faut tenir compte du niveau des plus hautes eaux navigables, au delà duquel la chute est réduite à zéro par abatage du barrage.

§ 7) Constitution des écluses à sas

Les têtes, extrêmes ou intermédiaires, sont toujours en maçonnerie pour recevoir l'appui des portes et des bombures de secours. Elles ont un radier étanche, pour permettre la mise à sec en vue de réparations éventuelles aux portes. Les efforts particuliers provenant des portes sont étudiés en même temps qu'elles; les efforts provenant des bombures se calculent comme il a été montré dans le cours de barrages. A cause de ces efforts supplémentaires, du buseage, de l'ancrage des portes, des évidements divers pour les portes, les vannes, les appareils de manœuvre etc, les murs de têtes reçoivent généralement de fortes dimensions et sont souvent d'épaisseur constante de la base au sommet. Les actions principales exercées par les portes sont horizontales; il faut assurer la stabilité générale et locale de glissement sur l'assise de fondation sous l'effet de ces forces.

Entre les têtes le sas peut être constitué par un canal en terre dont le plafond et les berges sont simplement revêtus de pierres non étanches en pierres ou briques dures, en béton ou béton armé etc. Cette disposition est évidemment moins coûteuse qu'un sas en maçonnerie, mais à cause des talus, le volume de la sasse et la durée d'éclusage sont sensiblement augmentés. Pour maintenir les bateaux dans l'axe et éviter les échouages et accidents, ainsi que pour permettre l'amarrage et la circulation, il faut établir des estacades de pilotes, en bois ou béton armé, continues ou non, mais de préférence symétriques.

Cette disposition n'est guère en honneur. Si l'on veut réduire la dépense par rapport à une écluse en maçonnerie, on préfère à l'heure actuelle recouvrir le plafond d'un revêtement peu épais en béton, perforé en vue d'éviter les sous-pressions

qui le disloqueraient. Les parois latérales peuvent être constituées par des palplanches métalliques ou en béton armé, ancrées dans le terre-plein ou bien par des vaissettes en briques ou dalles en béton armé assemblées sur fûts en béton armé ou des montants métalliques ancrés dans le terre-plein. Actuellement, on préfère généralement le béton armé, le métal étant trop altérable.

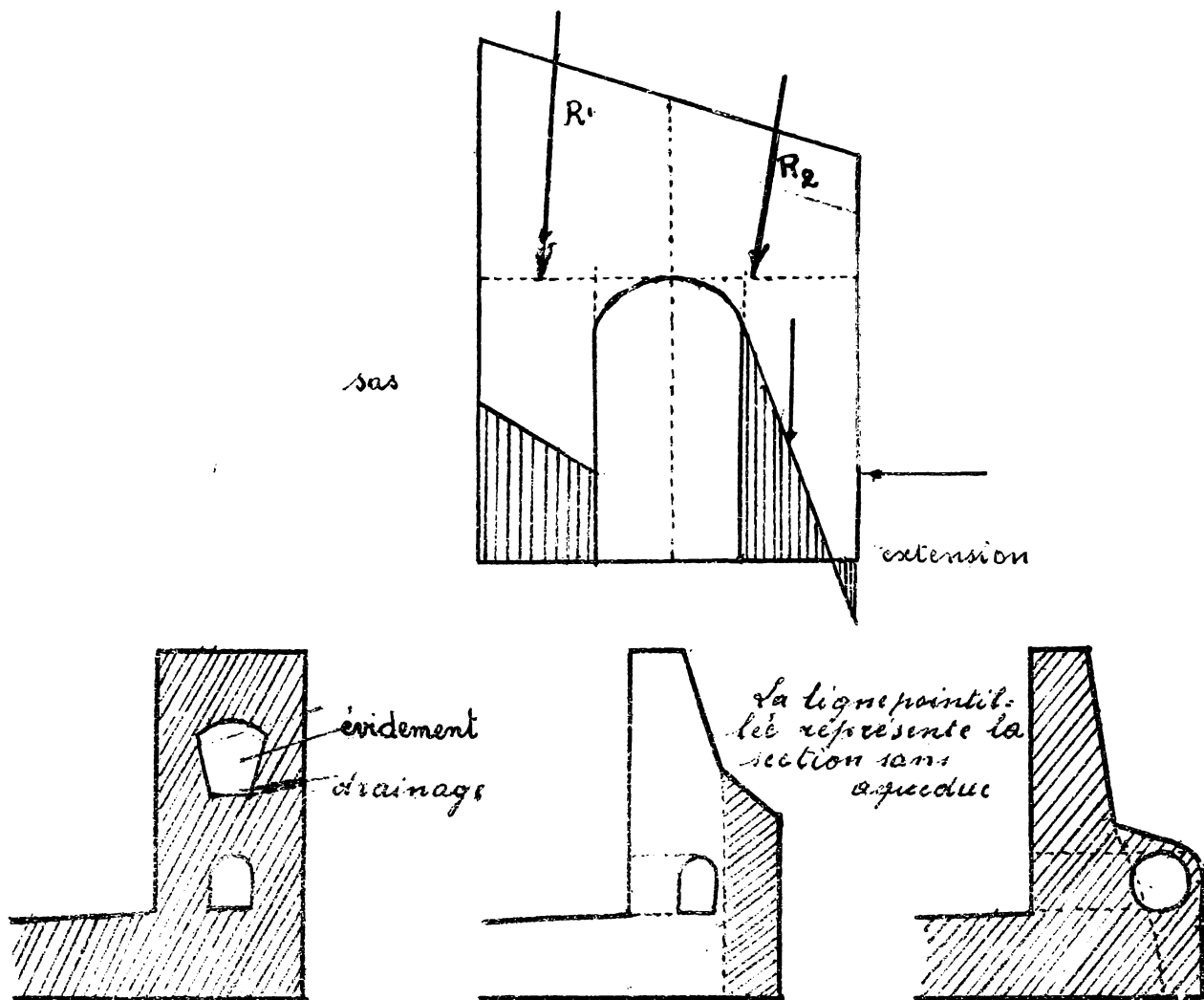
On peut aussi constituer des batardeaux indépendants comme des murs de soutènement de toutes les manières qui conviennent pour ces types de murs, principalement ceux qui, comme les murs de quai supportent des poussées de terre et hydrostatiques. On peut donc avoir des murs de maçonnerie ^{pleins} ou élèges, à semelle ou contreforts à console s'insérant dans les terres; en béton armé à contreforts et à cellules à ancrages etc. Dans les murs pleins, il faut que le fardement vers les terres soit plan, non en gradins en vue de renforcer l'étanchéité sous l'effet du tassement des terres.

Pour un tel sas à radier mince de revêtement, les théories précédentes de stabilité des maçonneries du sas n'ont pas d'objet. Les batardeaux se calculent comme des murs de quai; le radier ne se calcule pas. Mais les têtes doivent pouvoir être mises à sec pour la réparation ou visite des portes et des dispositifs de remplissage ou de vidange du sas. Elles doivent donc posséder les dispositifs nécessaires et un radier épais capable de résister aux sous-pressions calculé d'après les considérations exposées. Cette disposition de têtes indépendantes et de sas à radier mince se généralise pour les écluses de grande largeur à cause des épaisseurs considérables de maçonnerie qui exigent les radiers résistants, dont la fonction n'est pas indispensable.

Pour les écluses de moindres dimensions, il arrive encore qu'on les construise entièrement en maçonnerie avec radier épais. Pour les petites largeurs, si la chute est assez élevée, le radier peut être avantageux pour la stabilité et pas anti-économique. Elles s'exécutent et se calculent d'après les principes indiqués :

On en construit également tout en béton armé. Les bays sont constitués comme des murs de soutènement à contreforts ou cellules. Le radier consiste en une dalle renforcée par de fortes nervures transversales correspondant aux contreforts. Par suite de l'aptitude à la flexion du radier, le calcul s'effectue naturellement dans l'hypothèse de la continuité rigide des bays et du radier qui est assurée par la construction.

Le calcul des contraintes élastiques dans tous les éléments s'effectue par les méthodes ordinaires et ne présente pas de particularités sauf pour les bays contenant un aqueduc longitudinal.



Cet aqueduc se trouve généralement à la partie inférieure des bays en maçonnerie qu'il déborde. Le calcul se fait à la manière ordinaire pour toutes les sections horizontales au dessus

de l'aqueduc, auquel on substitue le rectangle circonscrit. On détermine la répartition des tensions élastiques dans la section horizontale tangente au sommet de l'aqueduc et on détermine les résultantes à droite et à gauche de l'aqueduc. On calcule ensuite chacune des parois de l'aqueduc sur lesquelles s'exercent les résultantes précitées, le poids propre et les poussées des terres et de l'eau sur les faces internes et externes. Il faut, au sujet des poussées hydrostatiques, envisager les diverses hypothèses plausibles du sas vide ou plein et de l'aqueduc en communication avec le bief amont ou aval, en tenant compte des communications, généralement libres, entre le sas et l'aqueduc. On voit qu'il se produit aisément des extensions dans la section de base de l'aqueduc au furement vers les terres. Il faut éventuellement armer.

Le calcul n'est qu'approximatif. Un calcul exact devrait se baser sur les déformations élastiques, il ne serait donc pas non plus absolument certain et constituerait une complication hors de proportion avec l'importance de l'objet. Mais la présence de l'aqueduc constitue toujours un déboisement et entraîne un supplément de maçonnerie important dans les bogyers, même si au dessus de l'aqueduc le furement vers les terres est très incliné. Ce qui est peu favorable pour la stabilité du radier. Il est préférable d'évider la partie supérieure du bogyer ou de placer les aqueducs longitudinaux en béton comprimé ou armé, contre, mais à l'extérieur des bogyers. Parfois, on les supprime en assurant le remplissage et la vidange par d'autres dispositifs. Les bogyers d'épaisseur constante à évidements internes présentent de grands avantages de stabilité; ils permettent éventuellement un drainage des terres derrière le bogyer ainsi qu'une exécution des maçonneries à pleine face, éventuellement blindées, ce qui est avantageux au point de vue de la stabilité des bogyers indépendants, car la poussée des terres est faible, et il suffit d'assurer l'équilibre des poussées hydrostatiques sur les deux

• faces du mur, en rendant le sas non étanche.

Dans les sas en maçonnerie de briques ou de moellons, on disposait généralement des radiers en voûte renversée. Cette disposition n'est pas nécessaire et ne se rencontre pas dans les têtes, où l'on doit pour des raisons de construction, tenir les radiers horizontaux. Actuellement, on emploie plus guère que le béton homogène pour les écluses en maçonnerie et on établit les radiers plans. Par suite des contraintes subies et en vue de l'étanchéité et de la durabilité de la construction, il faut employer du béton d'un dosage assez riche, bien plein et compact et pas trop menuilli, de préférence affiné pneumatique. Il faut tenir compte non seulement des contraintes élastiques, mais des frottements superficiels de l'eau dans les aqueducs et des battements contre les parements et de leurs chocs contre les arêtes. Il faut donc un béton dur et résistant à l'usure en parement. Pour cette raison il arrive qu'on paremente en pierres dures ou en blocs de béton comprimé préparés spécialement d'avance et de grande dureté. Les parements ont l'avantage de servir de coffrage. Mais ils présentent l'inconvénient de constituer, en tout état de cause, une discontinuité et une partie faible. Il faut veiller à une bonne liaison qui s'obtient mieux avec des blocs de béton éventuellement armés. Pour les grandes écluses, ce système paraît le plus propre; pour les petites écluses, les préférences doivent aller, semble-t-il, au béton coulé homogène. Il faut établir des joints de retrait rendus étanches par du bitume ou du plomb. Aux changements de section, le danger de fissure est le plus grand, il y a donc avantage à placer des joints aux jonctions des têtes et du sas, aux puits de vannes etc. De la sorte disparaissent les grandes pièces d'appareil qui formaient les chaînages des musais, des angles d'enclaves, du charbonnet, des rainures au fenilures, des palats bandes, seuils, buses et tablettes de couronnement etc. On y substitue, dans les parties exposées aux chocs et aux fortes pressions, des cornières métalliques pour

protéger les angles, ou des armatures longitudinales et des frettes pour éviter les éclatements et augmenter la résistance locale. De même pour la boudonnière que l'on constitue par un dé en béton armé ou par une armature locale dans le radier.

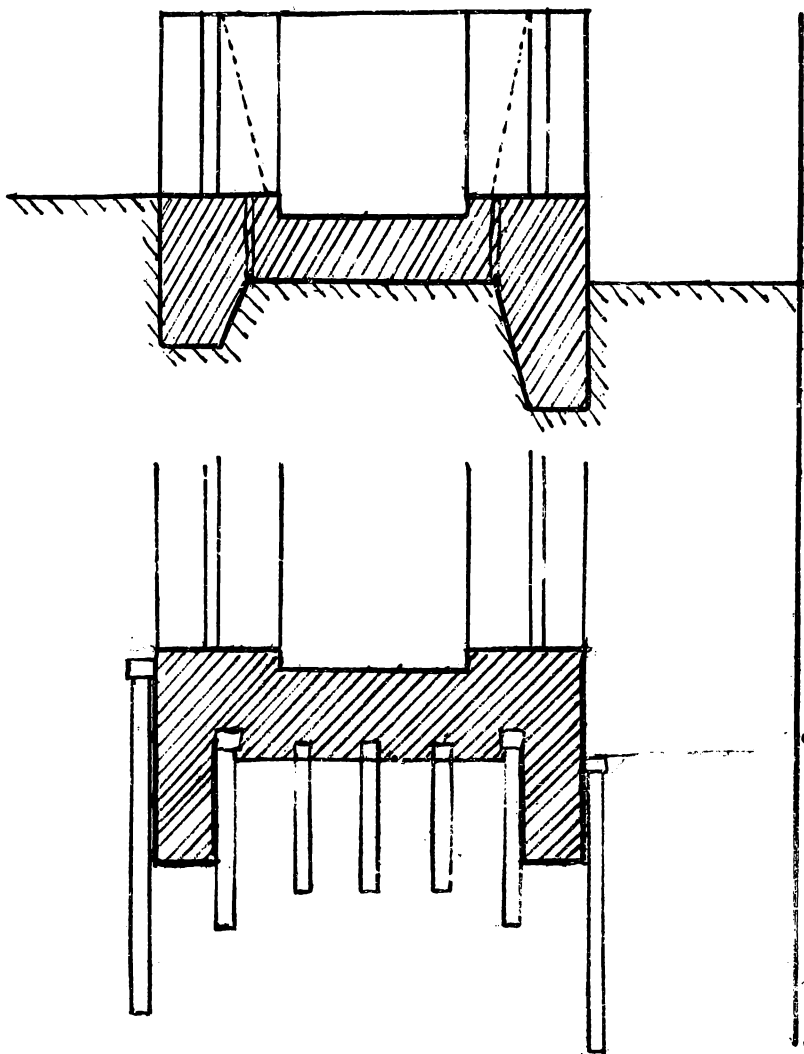
Le mur de chute constitue un élément particulier aux écluses. On lui donnait anciennement presque toujours la forme d'une voûte à axe vertical, principalement parce que le buse, en pierres appareillées en voûte, recevait cette forme pour résister aux poussées des vantaux de portes. D'ailleurs dans les écluses de canaux à forte chute, le mur de chute peut être soumis à la poussée des terres et la forme en voûte, prenant appui sur les bajoyers est très avantageuse.

§ 8) Fondation et exécution des écluses à sas

Les fondations des écluses présentent les mêmes caractéristiques et la même importance que celle des barrages de même chute. Elles doivent réaliser les mêmes conditions de résistance et d'étanchéité, notamment réduire les infiltrations et donc les sous-pressions et empêcher les affouillements. Les dispositions et méthodes à employer sont nécessairement les mêmes que pour les barrages.

L'analogie est la plus grande pour les têtes indépendantes qui constituent de vrais barrages mobiles. Leur fondation comporte donc en principe 2 murs de garde profonds et un radier. Si le terrain est incompressible, la fondation peut être établie à des niveaux différents, tout en étant continue. Sinon, il faut séparer par un joint les parties fondées à des niveaux différents. Par exemple, pour une tête importante, fonder les murs de garde et les murs en retour par caissons à air comprimé, ainsi que les bajoyers; le radier est ensuite établi à sec entre ces éléments, - ou bien établir les murs de garde sous forme de parafamilles bétonnés entre rideaux de palplanne et pieux de support, les murs en retour et bajoyers, étant fondés

sur pieux et toute la tête étant entourée d'une enceinte de planches. Le radier est alors fondé sur pieux de supports ou de compressions. Pour les petits ouvrages, toute la tête se trouve en mauvais terrain, sur un radier continu, supporté par des pieux convenablement répartis pour réduire les flexions. Anciennement ce plancher était généralement en charpente, actuellement on l'exécute surtout en béton, même sur pieux en bois. Les murs en retour forment avertissements latéraux et doivent donc être plus ou moins prolongés dans les terres d'après l'importance de la tête.

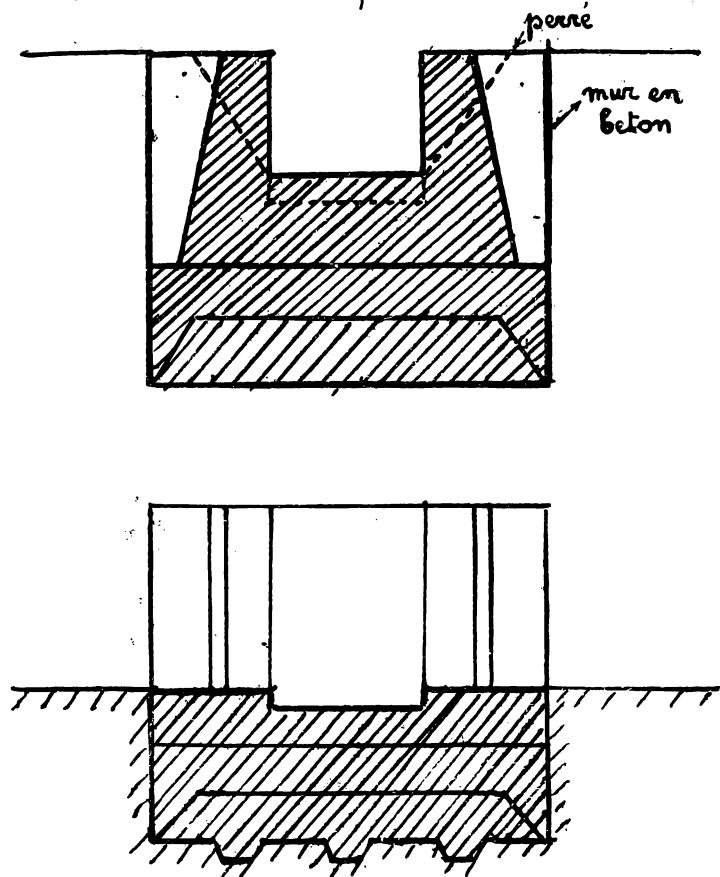


Étant données les dimensions des têtes, il arrive aussi qu'on les fonde par le moyen d'un caisson unique à air comprimé, on constitue ainsi un vrai radier général, armé à la partie supérieure par le plafond métallique du caisson. Il est donc apte à résister aux efforts d'extension qui se produisent dans ce mode d'exécution, il est donc théoriquement exact et techniquement approprié lorsque la fondation doit être établie profondément dans un terrain très aquifère. Au lieu de murs de garde on réalise

chicanes dans la base de fondation.

Lorsque l'exécution de la fondation se fait à sec, par rabattement de la nappe aquifère, le mode d'exécution sur radier général exige un radier épais et fortement armé.

Il est évident que le mode de construction divisé est plus approprié



dans ce cas; il évite du moins l'armature nécessaire pour résister au moment de flexion positif provenant de l'excentricité du poids des batoyers. L'épaisseur doit être suffisante alors pour résister aux sous-pressions (1.00 m de béton correspond en moyenne à une charge de 2.30 m d'eau). On peut d'ailleurs les réduire plus économiquement les sous-pressions par une couche d'argile couroyée sous radier, ou par perforation du radier, comme dans les barrages

fixes évités, à condition qu'il n'en résulte pas de danger d'infiltration excessive et d'affaiblissement. On peut d'ailleurs, comme nous l'avons vu, laisser transmettre une partie des sous-pressions sur les batoyers, moyennant flexion du radier.

Lorsque toute l'écluse, y compris le sas, est en maçonnerie et possède un radier étanche ou du moins résistant, le danger des infiltrations est réduit par la longueur des joints. Et d'ailleurs, un avertisse-radier et des parafouilles étanches sont nécessaires à l'amont de la tête amont pour réduire les sous-pressions sous la tête, mais il ne faut pas de parafouilles sous le mur de chute, qui constitue d'ailleurs une brisure de la fondation. Il faut un mur de garde parafouille à l'extrémité de la tête aval. Les murs en retour forment auverrages. Anciennement, on disposait aussi des redents sous le radier du sas et des auverrages latéraux derrière les batoyers du sas pour contribuer à l'étanchéité. Il est plus efficace de reporter

ces dispositifs à l'amont de l'écluse et à la tête amont.

Sauf pour un ouvrage implanté en rivière ou de très faible chute, le niveau de fondation de la tête amont est généralement supérieur à celui du sas et de la tête aval. A moins de fondation insubmersible sur sol incompressible, directe ou indirecte (par puits, pieux, etc) il faut séparer par des joints les parties fondées séparément. Dans une écluse en béton, ces joints constituent en même temps des joints de retrait. Les observations faites précédemment pour des têtes indépendantes s'appliquent à l'ensemble de l'ouvrage.

A l'air comprimé, la fondation peut se faire sur plusieurs caissons accolés, de dimensions variables. On pourrait le faire par un caisson unique de grandes dimensions, mais cette méthode n'a été employée jusqu'à présent que pour les grands ouvrages maritimes. Pour certains ouvrages, on a fondé chaque tête au moyen d'un seul caisson, le sas, par contre, étant divisé. Enfin, on peut opérer au moyen du caisson mobile. Anciennement on construisait par le moyen du caisson mobile un radier général par reprises. Le système a des graves défauts inhérents au radier général non armé, aggravé par la confection défectueuse dans l'air comprimé et par reprises. Il est préférable de construire d'abord les boyaux au moyen de plusieurs caissons plus petits et de construire après coup le radier à sec en épuisant dans l'enceinte formée par les boyaux.

Lorsque l'écluse peut se construire à sec, avant la mise en eau dans un canal ou en dérivation pour une rivière, on opère le rabattement de la nappe aquifère par puits artésiens ou simple épuisement de la famille, selon la proximité de la rivière. On fonde directement, au sur pieux, au sur puits en béton, jointifs ou non, descendus par havage,

en rivière, on fonde à l'abri de batardaux par épuisement ou à l'air comprimé.

Une écluse en béton armé peut éventuellement se construire à sec et être amenée en place par flottage ; on l'échoue à l'emplacement voulu et elle est alors lestée de terres derrière les bazoys pour lui permettre de résister aux sous-pressions. La fondation peut éventuellement s'effectuer par l'air comprimé s'il y a une chambre de travail sous le plafond.

L'exécution de la maçonnerie en élévation se fait totalement ou en grande partie à nu, après que la fondation est suffisamment élevée et ne présente pas de grandes particularités. L'emploi généralisé du béton et la forme allongée mais peu large des ouvrages se prête à des dispositions faciles des chantiers à la rive et à l'emploi développé des moyens mécaniques : bétonnières et transport mécanique du béton, drainage pneumatique ou vibratoire etc.

Les avant- et arrière-radiers se font comme pour les barrages. L'arrière-radier doit être étanche, pour réduire des sous-pressions et infiltrations. L'avant-radier protège des affaiblissements et il doit être rugueux pour détruire l'énergie de fuite de l'eau sortant du sas.

§ 9) Dispositifs accessoires des écluses à sas.

Les principaux ont trait à la manœuvre des bateaux et à la circulation du personnel, tant de l'écluse que naviguant.

En vue de l'amarrage des bateaux dans le sas, les bazoys portent sur leur couronnement des bollards en fonte, en acier caulé, solidement encastrés. Pour permettre aux manœuvres de manœuvrer sans dégrader les maçonneries, on dispose dans les parements des organeaux, qui sont des anneaux en retrait sur le parement, destinés à être accrochés au moyen de gaffes à crochets. On en dispose généralement 2 rangées en quinconce correspondant aux flatteries sous extrêmes et disposées de telle sorte qu'ils puissent

servir pour les bateaux tout vides que chargés. Il arrive qu'aux musoirs en dispose des fourreaux verticaux en bois pour amortir les chocs des bateaux il est préférable encore de guider leur entrée et leur sortie par des estacades ou des dues d'Albe disposés en file. Nous avons indiqué déjà que l'éclusage constitue une gêne pour la navigation, par perte de temps correspondant à la durée totale d'un éclusage. Il limite le rendement d'une voie d'eau, qui est au maximum égal au temps disponible pour les éclusages divisé par la durée individuelle. Pour augmenter le rendement, on peut augmenter la capacité des écluses, mais ce moyen est coûteux. Il est tout indiqué de développer au maximum le rendement d'une écluse existante en réduisant au strict minimum la durée d'éclusage. Nous verrons plus loin les mesures à prendre pour la manoeuvre des organes hydrauliques de l'écluse : portes et vannes. Mais dans la durée d'un éclusage, la majeure partie est constituée par les manoeuvres d'entrée et de sortie du bateau. C'est donc sur l'accélération de ces manoeuvres que doit porter l'effort principal et c'est une tendance qui se manifeste dans toutes les écluses modernes. En principe, ces dispositifs comprennent une disposition convenable des portes d'attente, de telle sorte que les bateaux entrants et sortants puissent se succéder le plus vite possible sans se gêner, des cauxtes estacades d'entrée et de sortie pour guider les bateaux et un moyen de traction mécanique propre à l'écluse, dont le plus approprié est le cabestan, qui se place dans le couronnement des bapoyers et présente peu de saillie sur le terre-plein, le mécanisme étant dans une cave. L'équipement est électrique et comporte en outre des galets de renvoi. On emploie aussi de petits tracteurs électriques spéciaux. Enfin, l'éclairage électrique intense permet d'écluser de nuit et de doubler ainsi le rendement.

Il y a grande utilité à procéder à une étude soignée des dispositions et des aménagements des abords d'une écluse en vue.

en passage rapide des bateaux, question trop souvent négligée dans le passé. On voit notamment qu'il est désavantageux de placer l'écluse dans l'axe du canal, il faut, au contraire désaxe le plus possible et élargir le canal aux 2 têtes de l'écluse.

On peut citer les installations remarquables de certaines écluses du canal de St Quentin. Les écluses sont doubles et accolées; le terre-plein intermédiaire est prolongé en aval et en amont, par des estacades étanches de 60 m de longueur environ. Elles sont en bois et l'étanchéité, assurée par des palplanches, a pour but d'éviter que les remous d'entrée et de sortie des bateaux, ainsi que de vidange et de remplissage, ne gênent les bateaux en attente le long de l'estacade-guide et ne les obligent à s'amarrer fortement. Le bois est plus favorable que de béton armé pour les chocs, mais est peu durable. Actuellement, on emploie surtout de béton armé avec des fourures en bois.

On parvient ainsi à écluser un bateau en 12', dont 6'30" pour l'entrée et la sortie, la chute étant de 5 m. Sans ces perfectionnements, la durée de l'éclusage est dans, les mêmes conditions de 15' à 20'.

Pour la circulation du personnel, on prévoit des échelles en fer disposées dans des niches ménagées dans les parements du bagoier, dont le nombre varie avec la longueur de l'écluse. A la tête aval, contre les murs en retour et le long des berges, on établit souvent des escaliers, au moins un à la rive de halage, pour le passage des cordes ou l'attache de l'attelage. Parfois aussi on substitue aux échelles des escaliers pratiqués dans l'épaisseur des bagoiers, ce qui déforme beaucoup les murs.

Très souvent on dispose un pont fixe sur la tête aval qui, d'après la hauteur disponible, est en maçonnerie voûtée, béton armé ou métal. Cette disposition ne convient toutefois que pour des ponts peu importants de faible longueur et un canal à faible trafic, car le halage est gêné par le pont.

§ 105 Bassins d'épargne

Les bassins d'épargne ont pour but de réduire la consommation d'eau des écluses et se rencontrent surtout dans les écluses à forte chute. Pour accroître leur effet utile, il faut leur donner une section aussi grande que possible, mais l'espace nécessaire devient alors très considérable, d'autant plus qu'il y a toujours au moins deux bassins d'épargne.

Nous indiquerons plus loin les dispositions avantageuses pour les écluses à très grande chute. Dans les écluses à moyenne chute les bassins d'épargne sont généralement accolés d'un côté de l'écluse, au nombre de deux, disposés symétriquement par rapport à l'axe transversal médian du sas.

Le bagoier contient dans sa partie centrale les aqueducs, les vannes et leurs appareils de manoeuvre.

Si l'on doit réduire l'espace, on peut constituer les bassins à parois verticales en les entourant de murs de soutènement en maçonnerie ou béton armé. Si on veut réduire la dépense, on établit des parois inclinées simplement recouvertes d'un ferri soigneusement fait.

Notons enfin que lorsque 2 écluses identiques sont accolées, elles peuvent jouer l'une par rapport à l'autre le rôle de bassin d'épargne et permettent une économie voisine de 50 %.

§ 111 Entretien des écluses.

Il faut veiller à l'étanchéité des maçonneries; cette question se pose surtout dans les anciennes écluses en briques ou moellons et à pierres de taille.

Les fuites se produisent le plus souvent au buse et aux chardonnets. Avec le béton homogène, cette question est résolue. Il faut surveiller les surfaces fortement comprimées, surtout leurs arêtes, et réparer en temps opportun, pour éviter la propagation des dégradations. D'ailleurs les arêtes doivent toujours être arrondies ou chanfreinées.

Chapitre II

Portes d'écluses

§ 1) Portes busquées

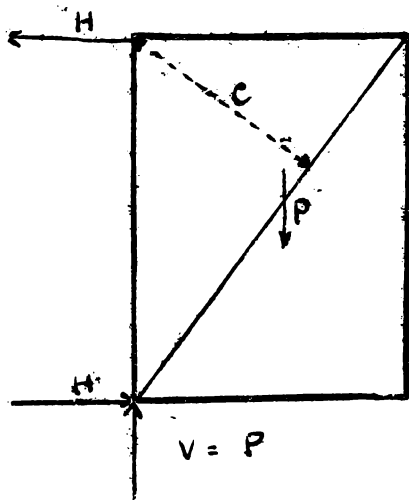
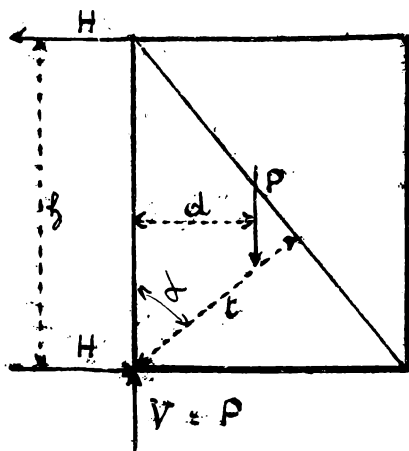
Les portes busquées constituent encore la fermeture la plus répandue des écluses, c'en est d'ailleurs la principale application. C'est probablement la raison pour laquelle on étend le nom d'écluses ^{ouvrages} aux d'assèchement et d'irrigation qui sont munis de telles portes ou de portes à un vantail, bien qu'ils ne constituent pas des ouvrages de navigation.

Les portes busquées se composent de deux vantaux étanches à axes verticaux; en position fermée ils sont arc-boutés sous l'effet de la pression de l'eau, la sécurité de cet arc-boutement étant d'ailleurs assurée par l'appui inférieur des vantaux contre un seuil disposé en chevron, appelé busc. Un vantail comporte nécessairement; un montant matérialisant l'axe de rotation ou poteau-tourillon; un montant qui doit se serrer contre le montant correspondant de l'autre vantail, qui s'appelle poteau busqué; des traverses reliant ces deux montants; éventuellement des montants intermédiaires ou aiguilles; des dispositifs d'indéformabilité et un bordage étanche à l'amont. En outre les pivots ou axes et éventuellement, des ventelles pour le remplissage et la vidange.

§ 2) Résistance des portes busquées

La résistance de ces portes est assez complexe. En position ouverte, les actions extérieures sont le poids P et les réactions, verticale V du pivot inférieur, et horizontales H de l'axe supérieur et du pivot inférieur. Les équations d'équilibre établissent que

$$V = P \quad \text{et} \quad H = \frac{Pd}{h}$$



Donc le pivot supporte tout le poids de la porte ainsi qu'une poussée, et la porte exerce sur son caisson supérieur une traction qui rend nécessaire un ancrage important dans la maçonnerie du bogyer. En outre un moment positif (sens direct) tend à déformer le cadre et à lui faire "prendre du nez". Pour s'opposer à cette dernière éventualité; dangereuse parce que la porte frotterait sur le radier, ce qui rendrait son ouverture difficile et pourrait par ~~violement~~ ^{violement} amener une dislocation rapide, on rend la porte indéformable par une triangulation, soit par un travail en diagonale dont la tension est $T = \frac{Hh}{t}$, ou par un brac diagonal comprimée, dont la compression

est également $C = \frac{Hh}{c}$. Ces valeurs sont des maxima, car elles ne tiennent compte ni des assemblages rigides ni du bordage raidisseur. On supprime le moment déformant et la traction sur l'axe supérieur en plaçant sous le plateau lousqué un galet d'appui. Le poids P se répartit entre ce galet et le pivot d'une manière qui se détermine comme les réactions d'une pièce sur deux appuis. Le dispositif ne se rencontre guère que sur de lowes portes d'écluses maritimes. Il est peu répandu malgré ses avantages théoriques. Cela tient aux difficultés de réglage du chemin de roulement et à son ensablement.

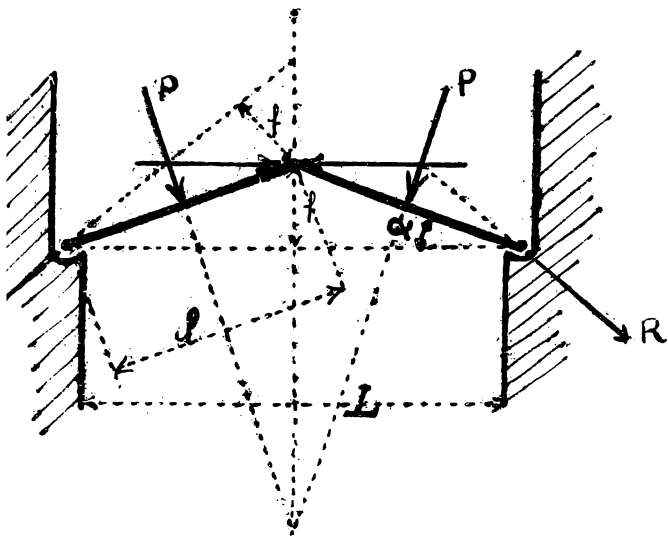
Le mouvement peut aussi être affecté par la chute de corps pesants sur le chemin de roulement ainsi que par la résistance du galet couronné par l'eau.

La sollicitation de la porte fermée sans l'effet de la pression de l'eau est analogue à celle d'un arc à ~~vis~~ ^{vis} rotatives, en faisant

abstraction de l'appui sur le buse. Cet appui peut d'ailleurs ne recevoir que des réactions assez faibles si les voutaux sont bien réglés.

Si les voutaux sont trop longs, ils s'arcboutent sans appui sur le buse. S'ils sont trop courts, ils s'appuient sur le buse sans arcboutement.

Le joint qui subsiste entre les poteaux busqués laisse fuir l'eau. L'arcboutement est essentiel pour la résistance des portes qui doivent être réglées pour l'assurer, en réalisant le strict contact contre le buse par le moyen de faveures d'étanchéité en bois. La flexion de la traverse inférieure sans l'effet des pressions s'appuie contre le buse et contribue à l'étanchéité. Sous la réserve des réactions du buse sur la traverse inférieure, on peut considérer la porte comme un arc vertical à trois rotules, soumis à des actions extérieures horizontales normales. Pour cette raison on réalise dans les grandes portes métalliques modernes l'appui des voutaux sur le chardonnet et entre eux par des dispositifs analogues à des rotules, auxquels on adjoint éventuellement des éléments spéciaux d'étanchéité.



l = largeur d'un voutail
 f = flèche du buse

$$R = \frac{\omega h^2 l^2}{4 f}, \text{ mais } l^2 = \frac{L^2}{4} + f^2, \text{ donc } R = \frac{\omega h^2}{4} \left(f + \frac{L^2}{4f} \right)$$

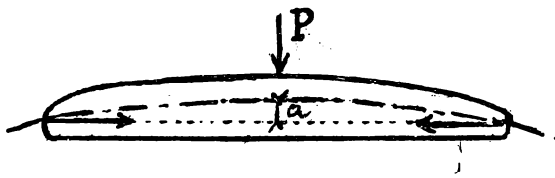
Les voutaux exercent sur les chardonnets des pressions qui se déterminent aisément par la statique et dont l'importance est telle qu'ils ne peuvent pas être transmis par les axes de rotation, mais demandent de l'appui spécial. En effet $R = \frac{Pl}{2f}$ et généralement, $Ag \alpha = 0,30$ à $0,40$ c'est à dire que $\frac{l}{f} = 3,5$ à $2,7$.
 Donc pratiquement $R = 1,35$ à $1,75P$

Pour plus de sécurité, il faut considérer l'aval à sec et la hauteur maximum h d'eau à l'amont de la porte, donc $P = \frac{\omega l h^2}{2}$.

Il existe un minimum de R car

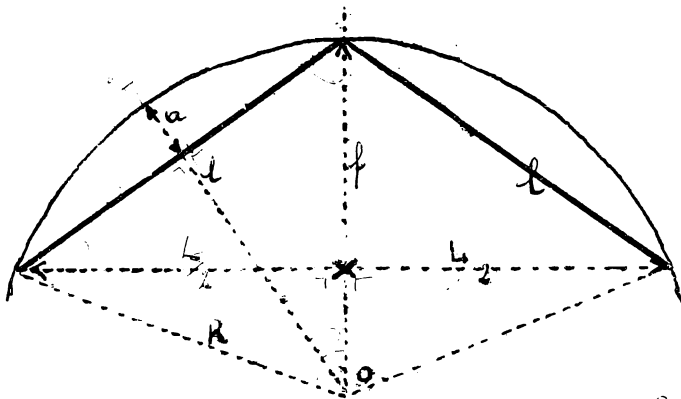
Le minimum de la somme correspond à $f = \frac{l}{2}$; les deux vantaux se valent à 45° et formeraient un angle droit. Cette disposition n'est pas employée, tant à cause de l'allongement des vantaux que de la réduction de l'arc-boutement. Les valeurs usuelles précitées de f sont sanctionnées par l'épreuve.

Les vantaux sont soumis à des compressions longitudinales $\frac{Pl}{4f}$, l étant l'ouverture totale des 2 vantaux entre axes. Le moment de flexion maximum d'un vantail, au milieu de la portée est $\frac{Pl}{8}$ lorsque la compression s'exerce suivant la fibre moyenne.



Lorsqu'elle est excentrée de a au milieu le moment est $M = \frac{Pl}{8} - \frac{Pl \cdot a}{4f}$
 $= \frac{P}{4} \left(\frac{l}{2} - \frac{4a}{f} \right)$

Ce moment est nul lorsque $\frac{l}{2} = \frac{4a}{f}$ ce qui est réalisé approximativement par un arc de cercle à faible flèche.



$$a(2R - a) = \frac{l^2}{4}$$

$$\frac{l}{2a} = 2 \frac{(2R - a)}{l} = \frac{4R - 2a}{l} = \frac{2R - a}{l/2}$$

$$\frac{l}{2f} = \frac{R + a}{l/2} \quad \text{d'où}$$

$$\frac{l}{f} = \frac{4(R + a)}{l} = \frac{4R + 4a}{l}$$

Si a est négligeable devant $2R$, on a

$$\frac{l}{2a} = \frac{l}{f}$$

D'ailleurs, si le vantail est circulaire, les pressions étant toutes normales, le moment est nul en tout points et le vantail est soumis dans toutes ses sections verticales à une compression simple $\frac{Pl}{2f} \approx 1.35 P$ à $1.75 P$.

Dès lors, le bordage seul, convenablement raidi, peut assurer la résistance, mais l'appui sur le chardonnet et l'action du busage doivent s'exercer dans les plans tangents au bordage.

La sollicitation d'ensemble d'un vantail est ainsi connue.

Il reste à établir sa répartition suivant la hauteur. Elle est compliquée du fait de la variation des pressions et de l'appui inférieur sur le buse, qui font intervenir la flexion verticale. Celle-ci rend malaisée la répartition des efforts sollicitants. Si il n'y avait pas d'appui sur le buse, une solution très satisfaisante serait obtenue par un système d'égal flexion horizontale, évitant toute flexion verticale. Je me réfère à l'étude des vannes de barrages. Cette observation conduit à la conclusion qu'il faut donner aux portes busquées une grande rigidité horizontale, pour réduire les flexions verticales. Il est d'ailleurs désirable que la rigidité soit grande dans tous les sens, pour éviter les déformations consécutives à la fatigue de la porte en service et notamment le voilement qui tend à se produire du fait de l'attache excentrique de la tige de manœuvre, sous l'effet de la résistance de l'eau et des effets d'inertie lors des manoeuvres.

§ 35 Construction des portes busquées

Les vantaux sont construits en charpente. Il faut coordonner les éléments de cette charpente de manière à permettre une répartition transversale des efforts aussi exacte et aussi avantageuse que possible et éviter les éléments ou liaisons surabondants. L'action du bordage continu et les éléments d'indéformabilité altèrent d'ailleurs toujours cette répartition idéale.

Dans les vantaux à traverses qui conviennent pour les portes hautes et peu larges (portes d'aval) les éléments essentiels de résistance sont des traverses reliant les deux poteaux extrêmes. Elles sont souvent disposées avec un écartement d'écrasement de haut en bas. Elles supportent le bordage, qui peut être raidi entre les traverses par des raidisseurs verticaux discontinus, qui n'ont pas d'autre fonction. Pour éviter les flexions des poteaux, les traverses ont des appuis distincts entre le chandonet et, éventuellement au contact des poteaux busqués. Pour déterminer les positions

des traverses, on divise le diagramme des pressions en trapèzes et aires égales dont les centres de gravité déterminent les niveaux des traverses toutes identiques. Les traverses extrêmes, quoique moins fatiguées, sont identiques. On réalise ainsi théoriquement l'égal flexion, sauf pour les traverses extrêmes. Pour réduire la flexion transversale des poteaux lunqués, il faut rendre les traverses très rigides. On pourrait envisager un assemblage flexible du poteau busqué à la traverse inférieure, du système Messenger. On tend à l'heure actuelle, à employer des entretoises très fortes et plus écartées en petit nombre. Très souvent, entre les traverses extrêmes, il n'y a plus qu'une seule traverse médiane. Des toles du bordage sont raidies par des montants. Ce système a l'avantage d'exporter une plus forte partie de la pression sur la base.

Dans les vantaux à aiguilles, le bordage est supporté par des montants verticaux s'appuyant sur des traverses extrêmes. Ces montants verticaux sont appelés aiguilles et sont sollicités à la manière des aiguilles de barrage. Ils ont un appui fixe sur la traverse inférieure et un appui élastique sur la traverse supérieure. Par suite de la rigidité des assemblages, les aiguilles forment avec les deux traverses, un système hyperstatique qui devrait rigoureusement se calculer comme tel. On admettrait l'hypothèse de l'encastrement partiel aux deux extrémités et on considérerait les réactions transmises à la traverse supérieure comme inconnues. On étudierait ensuite les déformations de l'arc à trois catules constitué par les traverses supérieures des deux vantaux sans l'effet de ces actions inconnues pour en déterminer la valeur par le théorème de Menabrea. S'il y a un assez grand nombre d'aiguilles peu écartées, les calculs sont assez longs et complexes. Les traverses extrêmes doivent être très rigides, pour en réduire la torsion, ainsi que la flexion des aiguilles. Ces dernières étant, en général assez rigides et les assemblages ne réalisant qu'un encastrement partiel, par suite du jeu

désirs. il est probable que la torsion n'est pas considérable. Pour avoir plus de rigidité, on réduit actuellement le nombre des aiguilles en augmentant leur écartement. On raidit le bordage par des entretoises discontinues. Pour un avant-projet on peut négliger la rigidité des assemblages; les forces transmises par les aiguilles à la traverse supérieure sont alors connues. On étudie ultérieurement les fatigues secondaires. L'avantage des portes quilles est qu'elles reportent la majeure partie de la pression le buse. Il est réduit cependant par un moindre bénéfice du cage, ainsi que par une moindre certitude au sujet des contraintes, notamment du fait des torsions, ce qui exige un coefficient de sécurité plus élevé. On les emploie pour les portes plus larges hautes, donc surtout pour les portes d'amont et les écluses de faible chute en rivière.

Enfin, on a construit des portes mixtes à entretoises et aiguilles dont le calcul est théoriquement plus complexe encore. La difficulté se réduit cependant par réduction du nombre des éléments, qui consistent généralement en une traverse et une aiguille médianes. La répartition des efforts est cependant peu certaine.

Ces types sont dérivés des expériences de M. Guillemain (voir De Mas) dont il faut se garder de tirer des conclusions trop formelles, par suite des rapports assez arbitraires des coefficients de rigidité des divers éléments. On peut en déduire cependant l'avantage d'employer un petit nombre d'éléments principaux de résistance très rigides et de reporter le plus d'efforts possible sur le buse. On emploiera donc pour les portes d'aval, au lieu de l'ancien système à grand nombre d'entretoises, des portes à trois entretoises et montants discontinus travaillant comme des aiguilles. Les portes d'amont seront à aiguilles peu nombreuses. Entre les quilles ou montants, les bordages seront supportés par de petits raidisseurs. La pratique montre qu'il faut calculer avec soin le bordage et les raidisseurs; les autres éléments peuvent se calcu-

d'une manière suffisante au moyen d'hypothèses simples, comme pour le calcul des tabliers métalliques. On examine après coup les fatigues secondaires. Les formules précédemment exposées suffisent donc en général si elles sont appliquées avec discernement. Pour les efforts, on envisage les hypothèses suivantes :

1°) les flattaions normales en amont et en aval.

2°) l'aval à sec et la flattaion amont jusqu'à l'arête supérieure de bordage. On emploie pour la première des taux de travail modérés pour la seconde, exceptionnelle, des taux de travail élevés (45 kg/mm² pour l'acier)

§ 4) Construction des portes busquées en bois

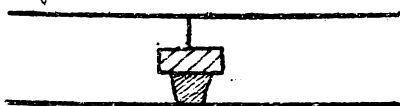
Le bois n'est plus employé actuellement que pour les petites portes ; il est moins coûteux que d'acier pour la construction, mais aussi moins durable. Il faut du bois très résistant, en général du bon chêne. On emploie aussi des bois exotiques et il est possible que si l'on pouvait importer dans des conditions avantageuses des bois exotiques de résistance spécifique élevée, c'est à dire légers et résistants, peu putrescibles, les portes en bois pourraient retrouver un regain de faveur. On emploie couramment le pitch-pine pour les parties les moins contraintes ; ainsi que le teck, le greenheart, les eucalyptus (jarrak et kavri) pour les pièces très fatiguées. Il serait intéressant d'établir les aptitudes des bois du Congo pour ce genre de travaux. La durée moyenne d'une porte en bois du pays est de 20 ans environ, celles en bois exotiques de haute qualité peuvent durer plus que le triple paraît-il. La durée des portes métalliques est limitée par la corrosion ; elle dépend donc surtout du soin de l'entretien et peut être très élevée. Elles peuvent durer 3 à 4 fois la vie d'une porte en bois ordinaire, le prix n'en est plus élevé que de 15% environ.

Les portes en bois sont composées de deux solides poteaux réunis par des traverses. L'indéformabilité est le plus souvent

assurée par un brason en bois. Cependant la dislocation des assemblages avec le temps peut laisser descendre la porte. On dispose donc le plus souvent aux portes importantes une échappe métallique à tendeur à vis. Les assemblages se font par entailles; tenons et mortaises, emboîtement, mi-bais; etc. ce qui présente l'inconvénient de déformer beaucoup les pièces et de constituer des amorces de pourriture. Il faut les réduire au minimum et les remplacer dans la mesure du possible, par des assemblages à ferrures et boulons, qui sont d'ailleurs toujours nécessaires pour consolider les assemblages par entailles. Dans les grandes portes, on emploie aussi des cornières raidisseuses en fonte ou en acier caillé. Il est préférable de laisser les ferrures saillantes que de les loger dans des entailles en bois, qui constituent des amorces de pourriture. Pour assurer un serrage transversal des assemblages, on emploie des étriers à clefs ou des boulons traversiers, traversant les portes d'un poteau à l'autre. Ce système convient pour resserrer les vieilles portes. Pour protéger les caques du bateau du risque de dégradation, on recouvre les ferrures saillantes de ferrures en bois sur la face aval de la porte, ou bien on arrondit les arêtes et on emploie des boudons à têtes plates vers l'aval. Les enclaves doivent d'ailleurs être assez profondes pour qu'en position fermée, la porte soit suffisamment en retrait sur le parement. Pour régler la position de la porte ouverte, on munit le poteau busqué d'une butée d'enclave en bois sur la face amont.

Les poteaux et traverses sont des pièces de fort équarissage, ainsi que le brason. Le bordage placé à la face amont, est formé de madriers jointifs, souvent de pitch-fine, assemblés par languettes simples ou rapportées au en fasisse-coupe⁽¹⁾. Les madriers sont placés obliquement ^{parallèlement,} au brason ou bien verticaux et sont assemblés au cadre extérieur par emboîtement. Les joints sont calfatés et brayés

) Languette rapportée

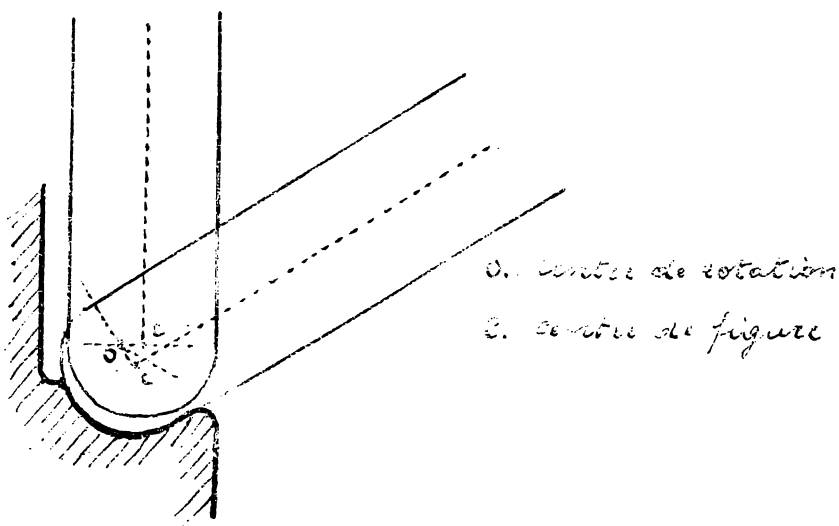


Fasisse coupe

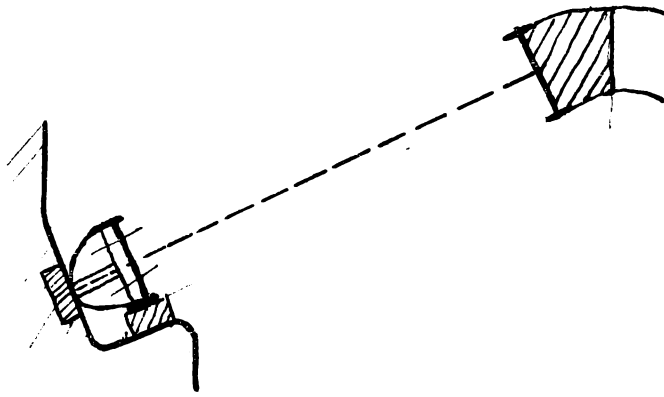


Pour assurer la durabilité du calfatage, il est bon de préparer d'avance un logement d'étoupe en forme de coin renversé. L'épaisseur ordinaire du bordage est de 5 cm. A la partie supérieure de la porte, on dispose une passerelle supportée par les prolongements des poteaux et des potelets intermédiaires, ou bien des selles en fonte auxquelles on fixe aussi les garde-corps métalliques. Les potelets existent parfois sur toute la hauteur de la porte pour soutenir les traverses et rendre le bordage en cas de grande largeur. Parfois, ce sont deux pièces verticales jumelées appelées moises pendantes, embrassant les entretoises par entailles. A moins de diviser le bordage, il faut alors le constituer en madriers verticaux. Enfin, entre les traverses inférieures se trouvent parfois des orifices pour le remplissage et la vidange, dont les bords latéraux sont constitués par des potelets. L'obturation se fait par ventelles.

Pour les grandes portes, l'étanchéité aux bords est réalisée par des fourreaux en bois tendue (quin ou pitch pine) contre le lauc et le chardonnet et par le contact des poteaux bousqués, qui sont chanfreinés. Dans les petites portes, on réalise l'étanchéité contre le chardonnet par le poteau tourillon même. Son serrage, contre le chardonnet est obtenu par une légère excentricité du centre de figure du poteau par rapport au centre de rotation, produisant le contact en position fermée et l'écart en position ouverte (voir planche 13)



Le serrage empêche que la poussée ne soit reportée sur les pivots, qui doivent donc présenter un certain jeu. Le poteau tourillon est fretté ou saboté aux extrémités pour résister aux grands efforts qu'il subit.



§ 5) Construction des portes métalliques

Nous envisageons principalement le cas des portes à entretoises. Les poteaux taurillons et busqués sont des poutres à âmes pleines très rigides, surtout les poteaux busqués qui sont fléchis en position fermée des portes.

Ils sont garnis de fourrures d'étanchéité en bois. Dans les portes les plus simples, les fourrures chanfreinées des poteaux busqués constituent aussi l'appui en position fermée. Actuellement pour des portes importantes, on munit ces poteaux, au niveau des entretoises de selles d'appui en acier moulé constituant de véritables rotules.

Les poteaux-taurillons portent également des pièces d'appui en acier caudé en forme de grandes cames semi-elliptiques s'appuyant sur des plaques scellées dans le chardonnet et que l'on appelle des heurtoirs. A ces dispositifs discontinus, on pourrait substituer des appuis continus à rotules analogues aux axes des levages automatiques à secteurs, aussi bien aux poteaux busqués qu'aux poteaux taurillons. Cette disposition, qui n'est encore guère appliquée, réalise en même temps l'étanchéité.

En aucun cas, les pivots ne peuvent supporter les poussées dues au busage.

Les traverses sont solidement assemblées par cornières aux âmes des poteaux. En outre, des goussets assurent généralement la rigidité des assemblages dans le plan de la porte, en supplément de l'indéformabilité réalisée par la triangulation. Il est difficile, en effet, d'être

assuré de la tension du tirant, qui n'entre en jeu qu'après déformation, à cause de la souplesse; s'il est en fer plat, comme dans les anciennes portes, ou à cause du jeu des assemblages multiples, s'il est rigide, comme c'est le cas général actuellement. Il doit, en effet, être interrompu à la rencontre des entretoises. Il en est de même pour un bracon; toutefois, s'il est rigide, on peut, par un montage des assemblages, assurer un contact initial. La grande triangulation réalise donc pratiquement assez mal l'indéformabilité nécessaire. C'est pourquoi, on raidit les assemblages et les angles par de grands goussets. Parfois aussi on établit entre les traverses supérieures, une triangulation à plus petites mailles, constituant une fausse supérieure de rigidité comme dans un portique de contreventement.

Comme il faut une grande rigidité transversale, on donne généralement aux entretoises la même hauteur qu'aux poteaux. Dans les portes de grandes ouvertures, on courbe même souvent la membrure amont, de manière à obtenir la hauteur maximum au milieu où se produit le moment maximum, d'ailleurs réduit du fait de l'excentricité de la compression. Anciennement, on courbait les deux membrures afin de réaliser un axe circulaire dont la sollicitation est voisine de la compression simple. Il est simple d'établir le bordage suivant un cylindre vertical circulaire simplement comprimé (portes de l'écluse de Weltheu, planches 15 et 16). Il suffit de le raidir par quelques raidisseurs horizontaux. La courbure de la face amont a comme inconvénient un plus grand encombrement de la porte, qui exige que l'enclave reçoive une forme spéciale, compliquant l'exécution des maçonneries. La conformation de la membrure courbe des diagonales est malaisée.

Le bordage est rivé par une circe d'étanchéité sur la face amont, par bandes horizontales ou verticales, selon l'écartement des traverses et montants. Ceux-ci sont discontinus et assemblés aux entretoises à la manière ordinaire; leur rigidité est moindre que celle des entretoises. On voit que tous ces éléments de la charpente

peuvent se calculer par les méthodes ordinaires, d'après les fatigues et des formations admissibles. Il semble, que, par contre, le calcul du bordage soit très souvent imparfait et on a constaté qu'il s'y développe souvent des contraintes élevées, ce qui n'a d'ailleurs pas d'inconvénient majeur, car la fissure d'un bordage n'est pas un accident grave.

Pour les tôles planes. M. Galliot a établi les formules suivantes

$$p = 32 E \left(\frac{1}{a^4} + \frac{1}{b^4} \right) (e^3 f + \frac{8}{27} e f^3)$$

$$\sigma_a = \frac{4 E_1}{a^2} \left(\frac{2}{3} f^2 + e f \right)$$

p est la pression moyenne au centre d'un panneau rectangulaire de dimensions a et b ($a < b$); e épaisseur de la tôle, f la flèche au centre et σ_a la tension normale maximum // au petit côté a et se produisant au milieu du grand. D'après l'auteur, ces formules concordent avec les observations; elles permettent un calcul de vérification pour une épaisseur e choisie.

La tension maximum peut donc s'écrire :

$$\sigma_a = \frac{p a^2}{8} \frac{b^4}{a^4 + b^4} \frac{e + \frac{2}{3} f}{e \left(e^2 + \frac{8}{27} f^2 \right)}$$

Posons $a = l$ (portée égale au plus petit côté) et posons $\rho = \frac{a}{b}$. Nous pouvons écrire $\sigma_a = \frac{p l^2}{8} \frac{6}{l^2} \times C_g = 0.75 \frac{p l^2}{e^2} C_g$

C_g est un coefficient de réduction permettant de calculer la plaque comme une pièce sur deux appuis simples.

La formule de M. Galliot donne $C_g = \frac{1}{1 + \rho^4} \frac{1 + \frac{2}{3} \frac{f}{e}}{6 + \left(\frac{4}{3} \frac{f}{e} \right)^2}$

La formule de Back correspond à $C_g = \frac{0.666}{1 + \rho^2}$;

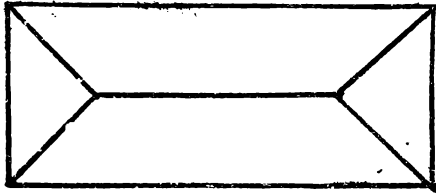
Celle de l'aide-mémoire de Laharpe à; $C_g = \frac{0.666}{1 + \rho^4}$

Les deux dernières formules donnent des résultats peu différents entre des limites de ρ qui sont de 0 à 1.

Ces formules empiriques ne sont d'ailleurs pas en accord avec les valeurs déduites de la théorie de l'élasticité. Monsieur Lemaître (R. U. M. 15. 1. 26) a déduit des formules de M. Bigeaud :

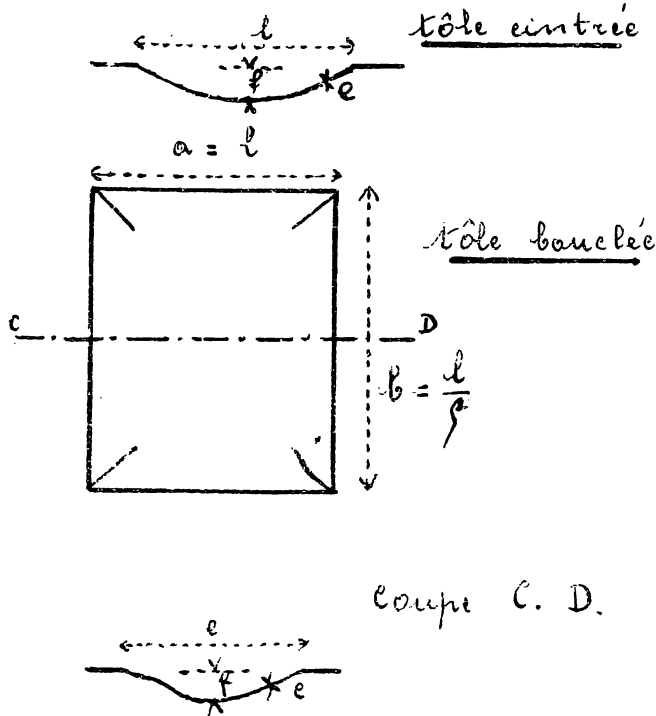
\int	=	0	1/3	1/2	1/1.5	1/1.25	1
ξ	=	1	0.9562	0.8153	0.65	0.52	0.3831

Ces valeurs ne sont cependant exactes que pour le simple appui, elles le sont à quelques centièmes près pour l'encastrement, et elles ne tiennent pas compte de l'extension longitudinale, qui intervient, dans les formules de M. Galliot.



Pour ce qui est des réactions d'appui des tôles, on peut admettre que chaque bord reçoit la charge afférente au trapèze ou au triangle contigu obtenu en divisant le rectangle comme l'indique la figure ci-dessus.

Pour augmenter la résistance et la rigidité des tôles, on emploie aussi des tôles boudées, cintrées ou ondulées. Il faut déterminer leurs dimensions d'après les types courants et les indications de résistance données par les fabricants. Toutefois, pour les avant-projets, on peut s'aider des formules suivantes :



Coupe C. D.

Pour les tôles cintrées généralement tendues, si p est la pression, la tension dans la section d'encastrement est approximativement

$$\sigma = \frac{p l^2}{8 f e} \quad (\text{Gedard})$$

On calcule les rivures par les mêmes formules, l'étanchéité exigeant d'ailleurs une rivure surabondante

Pour les tôles boudées, M. Gedard donne une formule analogue

$$\sigma = \frac{p l^2}{8 e f} \left(1 - \frac{f}{4}\right)$$

$l = a$ (petit côté) et $f = \frac{a}{b}$ comme pour les tôles planes rectangulaires.

. Cette formule semble toutefois un peu sommaire ; il faut lui préférer la formule de Graeseler :

$$T = \frac{pl^2}{8fe} \frac{2.5 + 3 \frac{f}{e}}{4(1 + 5^4)} \quad (\text{au milieu du plus grand côté})$$

L'effort moyen par unité de longueur le long du grand bord, pour le calcul de la rivure, est $T = \frac{pl^2}{8f} \frac{1}{1 + 5^4}$

Les tôles ondulées se calculent comme des pièces fléchies dans le sens de la longueur, d'après le moment d'inertie donné par les catalogues. Les tôles doivent avoir au moins 4 mm. d'épaisseur, de préférence 10.

Les portes à aiguilles se construisent de même. Les aiguilles sont des poutres rigides solidement assemblées aux traverses extrêmes, qui sont seules prouvées de heurtoirs. Les entretoises intermédiaires sont discontinues et servent de support au bordage.

La passerelle de circulation est supportée par des montants contre-ventés prolongeant les membrures des aiguilles. Elle possède un ou deux garde-corps métalliques. Les ventelles s'il y en a se trouvent entre les traverses inférieures et des montants métalliques spéciaux. Les fourreaux d'étanchéité sont fixés sur les faces aval de l'entretoise inférieure et du poteau-tourillon ; elles sont parfois prouvées de lames flexibles en caoutchouc, qui s'appliquent sous l'effet de la pression. Elles s'appuient directement sur les pièces de taille, cependant, dans les écluses modernes en béton, on fixe souvent un faux buse en bois sur la face amont du buse.

§ 65 Portes Diverses

Les portes mixtes, à ossature métallique et bordage en bois peuvent présenter un intérêt de légèreté et d'économie dans les pays où le bois est abondant. Il faut que le bordage soit facile à renouveler. Cette combinaison est cependant plutôt surannée.

On a construit récemment des portes basquées en béton armé pour une écluse du canal de Humingue (voir A.T.P.B. 1924 et la navigation du Rhin n° 8 - 1924) Il est une application

unique dont il faut attendre les résultats. La porte est du système à entretoises et possède un bras. Le bordage en béton armé a 110 mm. d'épaisseur ; le poids d'un vantail est 4700 kg soit environ 160 kg/m². Le poteau busque a une fourrure d'étanchéité en bois. Le poteau tourillon est garni de douves en chêne et s'appuie contre le chardonnet comme dans une porte en bois. L'aspect général et la disposition sont identiques à ceux d'une porte en bois. On ne peut pas considérer cette forme comme définitive pour les portes en béton armé.

§ 7) Pivots inférieurs.

La disposition du pivot inférieur est déterminée par deux circonstances : son immersion constante dans le fond de l'enclave et la forte réaction oblique. Cette réaction comporte une composante verticale égale au poids de la porte, lorsque l'écluse est complètement vide. Lorsqu'elle est remplie d'eau le poids de la porte doit être diminué du déplacement de la partie immergée. Pour les dimensions courantes le poids varie de 200 à 300 kg/m², en moyenne 250 pour les portes métalliques comme pour les portes en bois, mais le poids de ces dernières est réduit d'avantage par l'immersion. Pour l'établissement des dimensions du pivot il faut évidemment considérer le poids total. Nous avons donné plus haut la valeur de la réaction horizontale. L'obliquité de la réaction totale est assez importante et d'autant plus grande que la porte est plus large. Aussi dans certaines écluses profite-t-on le chardonnet suivant un cylindre dont l'axe est confondu avec l'axe de rotation. Les sabots d'appui des entretoises sont profilés suivant ce cylindre et s'appuient sur des plaques cylindriques encastrées au sur un cylindre métallique recevant toute la hauteur du chardonnet. De la sorte la réaction horizontale n'est pas supportée par le pivot. Mais cette disposition est exceptionnelle et augmente le bras de levier des résistances à la rotation, elle n'est pas recommandable.

Le pivot doit donc être disposé pour subir une réaction oblique, qui est le mieux satisfait par une rotule sphérique, qui est la disposition la plus répandue. Par suite de l'immersion dans l'eau, il faut un dispositif robuste, simple et autant que possible résistant aux corrosions; enfin par suite de la disposition sur le fond, il faut éviter l'introduction entre les surfaces en contact de graviers, sables ou boues. Pour cette raison on encastre généralement dans le radier le pivot en crapaudine mâle, que recouvre la crapaudine femelle, qui ne laisse subsister que le jeu suffisant entre elle et le radier. Il faut toujours un certain jeu latéral pour éviter que les poussières du busage ne se reportent sur le pivot.

Pour que la réaction oblique ne soit pas trop excentrique, ce qui donnerait des pressions locales trop élevées, il faut que $\frac{H}{V} < \text{tg } \frac{\alpha}{3}$

Pour une lentille d'ouverture 2α

$$r \geq 0,691 \sqrt{\frac{R}{\sigma(1 - \cos \alpha)}} \quad \text{cm}$$

$\sigma = 250 \text{ kg/cm}^2$ pour la fonte, 750 kg/cm^2 pour l'acier doux forgé
 1000 kg/cm^2 pour l'acier coulé : Le diamètre de la lentille est
 $d = 2r \sin \alpha$

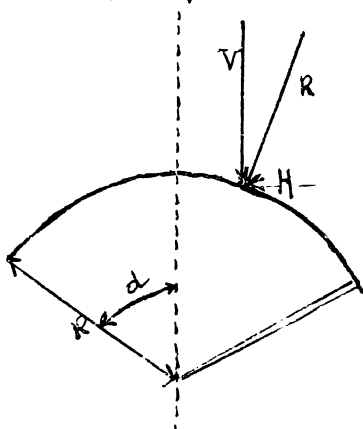
Si $\alpha = \frac{\pi}{2}$ (rotule hémisphérique $r = 0,691 \sqrt{\frac{R}{\sigma}}$)

Si les surfaces en contact sont des lentilles de courbures opposées

$$\sigma^2 = 12,75 P \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (\text{les rayons en cm})$$

Si l'une des surfaces est plane $\sigma^2 = 12,75 \frac{P}{r}$

Dans ces deux derniers cas, on peut admettre $\sigma = 1500 \text{ kg/cm}^2$ pour l'acier doux forgé et 2000 kg/cm^2 pour l'acier coulé.



Ses pivots doivent être dimensionnés largement, à cause des grands inconvénients d'une rupture et pour éviter des grippages qui augmentent beaucoup les résistances au mouvement.

On les établit généralement plus grands que le calcul n'exige. Actuellement, on rend aussi presque toujours les lentilles

amovibles, de telle sorte qu'en cas d'usure, il n'y ait que de petites pièces à remplacer, sans démontages des pièces assemblées. Le rayon de la lentille femelle est légèrement plus grand que celui de la lentille mâle. La disposition bi-convexe ou plan convexe réduit le rayon du couple résistant, mais il faut des métaux très résistants à cause des grandes pressions dues aux faibles surfaces de contact qui peuvent donner lieu à des grippements. En outre, ce dispositif ne convient pas aux réactions obliques, et il faut que la crapaudine femelle ait la forme d'un cylindre embrassant latéralement le pivot, qui est donc fléchi. Cette disposition est en principe peu favorable et il faut préférer le dispositif convexe-concave. Les lentilles sont soigneusement façonnées, en métaux de duretés différentes (par ex : acier trempé sur bronze dur.)

La lentille inférieure est encastrée dans une plaque en fonte ou acier coulé scellée dans le cadet au moyen de boulons, ciment ou plomb. Lorsque l'appui du poteau-touillon contre le char donnet doit être réalisé par l'excentricité, il faut un réglage assez précis de l'axe de rotation, bien qu'il se produise nécessairement un certain jeu horizontal dans la crapaudine. Le réglage s'effectue le plus simplement, avant scellement, par déplacement de la plaque inférieure dans son logement. On scelle ensuite au plomb ou au ciment. Si on remplace ultérieurement la porte, le nouveau poteau-touillon peut exiger un nouveau réglage qui exige le déscollement de la plaque. C'est un inconvénient inévitable et bien peu important. L'emploi de dispositifs de réglage par vis ou coin complique le dispositif sans aucune utilité, d'autant plus que le fonctionnement de ces organes est évidemment impossible après quelques années d'immersion.

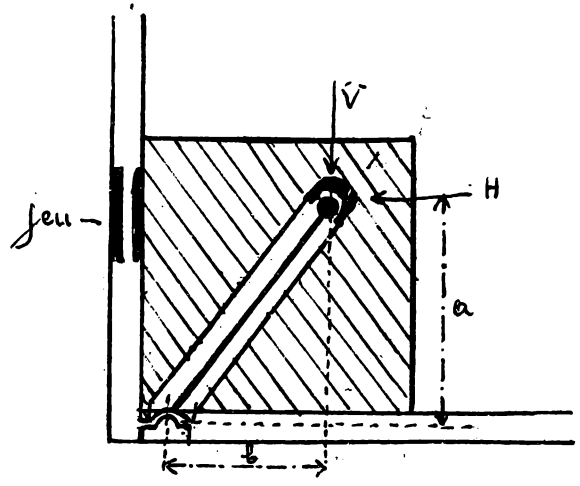
La question du réglage se pose moins pour les portes dont l'appui en position fermée et l'étanchéité sont assurés par des dispositifs spéciaux, c'est évidemment sur ceux-là que doit porter le réglage.

La lentille supérieure est ^{dans} un sabot en fonte ou acier coulé assemblée au poteau-touillon et à l'entretoise inférieure par le moyen

de boulons. Le sabot porte généralement aussi le heustoir d'appui de l'entretoise inférieure contre le chardonnet

On peut évidemment simplifier ou perfectionner ce dispositif normal. Les anciennes portes en bois ont souvent un sabot en fonte embrassant l'angle inférieur du poteau touzillon et contenant une crapaudine sans lentille rapportée. De même, le pivot hémisphérique est couronné avec le sabot.

Pour de lourdes portes on a parfois prévu des dispositifs de réglage d'efficacité douteuse, et des dispositifs de graissage sous forte pression qui exigent des lentilles de grande surface pour réduire la pression unitaire. Les dispositifs sont très compliqués pour un résultat peu sensible par rapport au dispositif normal. On obtiendrait une réduction beaucoup plus sensible de résistances par l'emploi d'une butée à billes en acier inoxydable, dont on ne semble pas encore avoir fait d'application.



Un perfectionnement important appliqué aux échuses du canal Berlin-Stettin consiste à entreposer entre les deux lentilles un petit balancier oblique qui évite les glissements horizontaux des pivots et en réduit ainsi l'usure. En même temps il empêche un contact prématuré du heustoir sur la plaque d'appui, ce qui l'use et gêne la fermeture. Il dégage par contre sûrement le pivot de la

pression due au busage. Il faut que $Vb \approx Ha$. Les balanciers s'logent de préférence dans l'intérieur du sabot supérieur pour éviter l'introduction de bores.

§85) Touzillon, colliez et ancrages

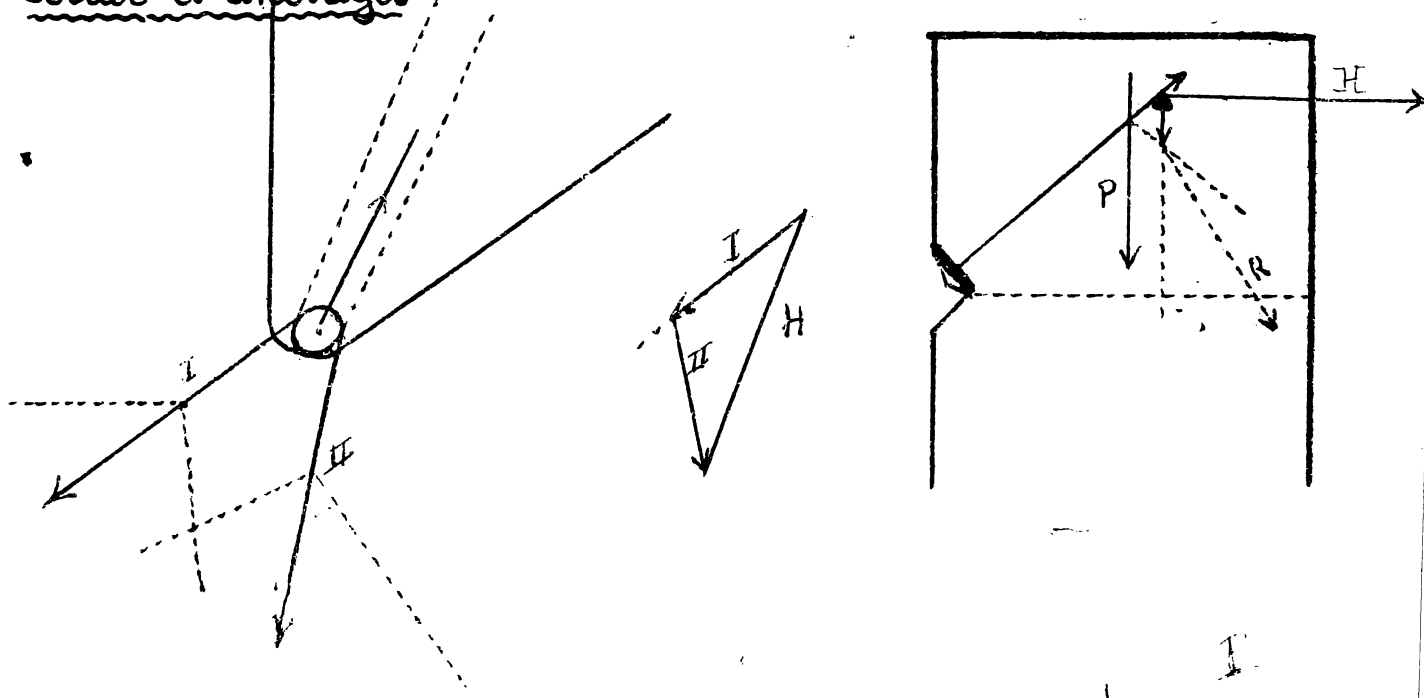
L'attache supérieure de la porte est réalisée par le touzillon et le col-

liés au nez dans le brajoyer. L'axe du touzillon et celui du pivot main-
 térialisent l'axe de rotation de la poète. Le touzillon n'est soumis qu'à
 un effort horizontal H , qu'il reporte sur le edier. Il est donc fléchi. Lors-
 que le touzillon est encasté à la partie supérieure du poteau touzillon,
 son diamètre est $d = 0,24 \sqrt[3]{HL}$, pour l'acier doux, $d = 0,22 \sqrt[3]{HL}$
 pour l'acier mi-dur.

Si le touzillon est encasté aux deux extrémités, $d = 0,185 \sqrt[3]{HL}$
 pour l'acier mi-dur. Le double appui réduit donc sensiblement le
 diamètre ainsi que le couple des frottements. Il y a donc intérêt à
 employer un axe doublement appuyé, qui doit être alors supporté, tan-
 dis que l'axe encasté est généralement venu de fonte avec le sabot.

L'axe supporté peut être fait en métal de qualité supérieure à celui
 du sabot ; comme son remplacement est aisé, ses dimensions peuvent
 être réduites. Le graissage est aisé, mais la pression intérieure doit être
 réduite à la quantité exigée par le graissage (voir cours de barrages, bar-
 rages mobiles). L'axe fait corps avec un sabot fixé par boulons sur le
 poteau touzillon et la traverse supérieure au y est fixé dans des douilles.
 Le sabot porte le heurtoir d'appui de l'entrectoise supérieure sur
 le charbonnet.

Collier et amarrages



Le collier consiste essentiellement en une douille embrassant le touzillon et solidaire de deux tirants d'ancrage qui pénètrent profondément dans la maçonnerie du basoyer. Ces tirants se trouvent dans deux plans verticaux dont l'un est sensiblement parallèle à celui de la porte fermée, l'autre se rapprochant autant que possible du plan de la porte ouverte. En toute position, l'effort H horizontal se répartit entre deux tirants d'après la loi du parallélogramme des forces. Ces efforts sont transmis horizontalement par le collier, puis s'exercent sur les tirants obliques. Il en résulte, au changement de direction des tirants, une réaction verticale sur la maçonnerie. Il faut articuler les tirants en ce point et disposer des plaques d'appui pour reporter cette réaction verticale sur la maçonnerie. Les effets développés dans la maçonnerie par l'ancrage se calculent aisément par les règles ordinaires de la résistance des matériaux. éventuellement, on double les tirants obliques pour soutenir une plus grande masse de maçonnerie.

Dans les anciennes portes en bois, au lieu d'un touzillon et d'un collier, on avait une simple cravate, demi-canneau en fer forgé attaché par des goujons aux extrémités des tirants d'ancrage et qui embrassait le poteau-touzillon, qui était arrondi, ou de préférence pénétrait dans une entaille cylindrique de celui-ci. Il y avait donc contact de fer sur bois, on lubrifiait au savon mou. Le système primitif peut convenir encore pour les petits ouvrages d'évacuation.

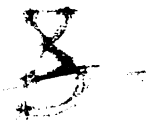
Dans la constitution du collier, on a substitué à l'ancienne douille en fer forgé le collier avec buse lute de bronze à pattes d'araignée et même le collier à billes. La douille est assemblée d'une manière fixe ou articulée à des bras qui reposent sur une taque à glissières et aux extrémités desquels, s'assemblent, par un dispositif réglable, les tirants d'ancrage. L'attache articulée des tirants obliques se fait par une fourche qui reporte la réaction verticale sur des glissières et s'assemblent au bras du collier par une tige filetée.

si c'est et contre-c'est qui permet le réglage. C'est le principe du dispositif le plus perfectionné. Pour les petites portes on ne prévoit pas de réglage, ou bien on emploie des clavettes qui se réalisent en même temps l'assemblage des tirants au collier. La taque est scellée par des boulons dans le couronnement du broyer; elle est solidaire de la plaque d'appui du heurtor supérieur et elle est logée dans une cavité recouverte d'un couvercle en tôle.

§ 9) Portes tournantes à un vantail (non busquées)

Elles prennent appui sur le charbonnet, sur une feuillure d'appui du broyer opposé et sur le seuil du radier. Ces portes sont généralement plus larges que hautes, aussi sont-elles le plus souvent du système à aiguilles. Si, dans une écluse à grande chute, le type à entretoises paraît préférable, on peut, en somme supprimer le seuil. La constitution de ces portes ne diffère pas en principe de celle des vantaux busqués, leur calcul se fait de même, mais l'action du busage disparaît, ce qui facilite le calcul exact des portes à aiguilles. Mais les flexions sont plus grandes et ces portes sont plus lourdes et plus chères que les portes busquées. La manœuvre est aussi plus difficile, mais s'exécute d'un côté de l'écluse. C'est un avantage intéressant pour les écluses doubles accolées, toutes les manœuvres peuvent se faire de la tête intermédiaire, mais la longueur des enclaves est augmentée, donc celle des têtes, ce qui entraîne une dépense importante. En résumé, les portes à un vantail présentent certains avantages pour l'exploitation, mais elles ne constituent pas un progrès technique par rapport aux portes busquées, dont le principe est plus ingénieux. Elles ne sont pas très répandues, sauf en France, où elles connaissent une certaine faveur due surtout à la facilité d'exploitation pour les écluses doubles et même pour les écluses simples.

On les a également employées comme portes d'aval des écluses à forte chute du canal St Denis. En position fermée, elles sont appuyées sur les 4 bords, le bord supérieur reposant sur un mur de masque fixe, fermant le haut de l'extrémité aval du sas.



§ 10) Portes busquées en éventail ou à secteurs

Ces portes, d'origine hollandaise, ont été conçues pour les écluses de navigation et d'évacuation dont la chute peut être inversée. C'est notamment le cas à la rencontre des voies de navigation intérieure et de voies maritimes à marée, ou de canaux et de cours d'eau à niveau variable. Ces portes se composent d'un vantail busqué étanche et d'un second panneau étanche formant avec le premier un dièdre dont l'arête est le poteau tourillon. Ce second panneau est généralement un peu plus large que le vantail busqué (rapport 1,20) et se déplace dans un tambour vertical ménagé dans le broyer à la place de l'ouelave. Cette chambre peut être mise en communication avec les deux biefs. C'est en somme le dispositif des barrages à secteurs, mais à axe vertical. Les deux panneaux sont solidement entzetoisés et constituent souvent, au moins partiellement, des capacités étanches permettant de faire flotter les portes. Des aqueducs ou ventelles dans les panneaux mêmes permettent les opérations hydrauliques nécessaires.

Lorsque la chambre des portes est en relation avec le niveau supérieur quel qu'il soit, la porte reste fermée; elle s'ouvre par contre lorsqu'elle est en communication avec le bief le plus bas. Comme la communication peut être établie librement avec chacun des biefs, ces portes peuvent rester fermées quel que soit le sens de la chute et elles peuvent être ouvertes contre la pression de l'eau, soit en vue d'écluser, soit en vue d'évacuer les eaux ou de produire une chasse.

Des écluses récentes construites en Suède pour le canal de Söderstalje (voir Congrès int. de la navigation à Londres) en relation avec la Baltique et à chute variable, mais faibles, ont des portes à secteurs, tout à fait fermées et équilibrées. Les deux panneaux diamétraux sont égaux et la résultante des pressions passe toujours par l'axe.

On peut donc ouvrir cette porte contre la pression extérieure moyennant des efforts assez faibles. La manœuvre est électrique.

En position fermée, il faut éviter les pertes de pression sur les bords des

panneaux intérieurs qui doivent recevoir des dispositifs d'étanchéité réglables lorsque le but de la disposition réside dans la fermeture des portes contre la pression de l'eau. Dans les écluses suédoises précitées, on a voulu assurer en même temps le remplissage et la vidange sous faible chute par l'ouverture des portes. Il faut que dès le début de l'ouverture, l'eau puisse contourner les portes dans une certaine mesure, en passant par les chambres. Cette disposition a été étudiée au préalable par des essais sur modèles à échelle réduite.

Les portes présentent donc de nombreux avantages. Elles n'augmentent pas beaucoup le cube des maçonneries. Leur manoeuvre est aisée si elles sont bien équilibrées; elles ne fatiguent pas leurs supports dans ces conditions. Elles ne sont cependant pas très répandues, à cause d'une certaine complication.

§ 11) Portes équilibrées et flottantes.

Les portes équilibrées ou flottantes comportent, au moins partiellement, un semblable bordage étanche, formant ainsi des capacités fermées accessibles et que l'on peut remplir d'air, pour augmenter le déplacement, ou, au contraire, lester d'eau. Les capacités sont situées vers le bas et réglables de telle sorte qu'en position flottante le tirant d'eau ne soit pas excessif, pour éviter l'échouage, et que, d'autre part, la porte n'immerge pas trop, pour assurer l'équilibre de flottaison et permettre le passage éventuel sous les ouvrages d'art.

Ces dispositions constituent d'assez sérieuses complications, elles se rencontrent surtout dans les lourdes portes d'écluses maritimes.

Cependant, certaines portes des lances d'écluses d'intérieur, par exemple des portes à un vantail, sont équilibrées de la sorte. Si l'équilibrage est complet, il ne faut ni pivot ni colliez, il suffit d'un axe simple pour guider le mouvement de rotation. On emploie aussi le dispositif pour les portes flottantes destinées aux fermetures de secours et qui peuvent se déplacer vers une écluse quelconque. Elles peuvent servir aux têtes amont des écluses à mur de chute et dans les têtes aval,

c'est à dire pour les bouchuses basses, car elles doivent être de hauteur, assez faible pour pouvoir passer sous les ponts. Les portes sont amenées flottantes contre les fermetures d'appui, généralement garnies de bouchures en bois, puis échouées. Pour assurer l'étanchéité sur le fond, on dispose une bouchure en bois à la face inférieure de la porte.

§ 12) Portes levantes à vanes planes, segments ou cylindres

Ces portes sont identiques aux bouchures mobiles étudiées sous ce nom dans le cours de barrages. Elles sont constituées comme les types de dimensions moyennes. Elles sont nécessairement à manoeuvre mécanique ou électrique et généralement équilibrées, au moins partiellement par contrepoids. Les vanes levantes ont comme avantages le raccourcissement des têtes et l'accessibilité de tous les organes. La manoeuvre est aisée et rapide avec des vanes équilibrées du système Stoney. On peut, par levage lent, assurer le remplissage du sas. Mais ces portes sont comme les portes à vantail, plus lourdes et plus coûteuses que les portes busquées.

Il faut les lever très haut pour réaliser un tirant d'air suffisant. Dans ce but, il est avantageux de diriger la vanne, mais cela complique la manoeuvre. On peut les employer comme portes d'amont des écluses à muç de chute et comme portes d'aval des écluses à forte chute, la tête aval étant partiellement fermée par un masque fixe réservant un pertuis de hauteur suffisant pour la sortie des bateaux et qui peut être obturé par la vanne baissée. Au levage, celle-ci s'efface derrière le masque (Écluse à forte chute de Minden)

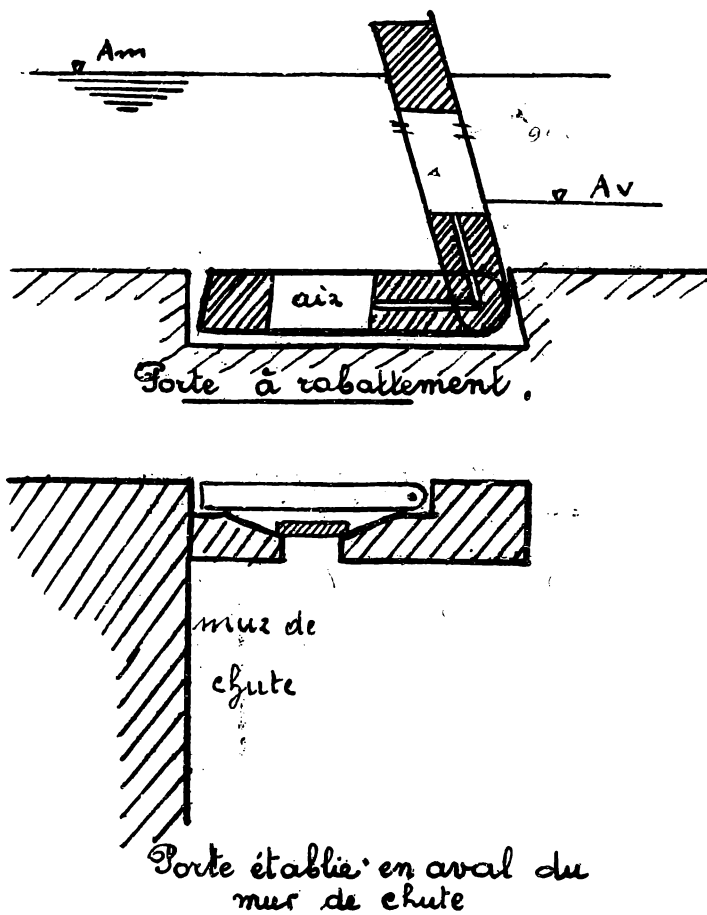
Les portes à segments ont le même inconvénient que les portes levantes, toutefois, par suite de la rotation, l'encombrement de la porte ouverte au-dessus du terreplein est moindre que celui de la vanne levante, pour un même tirant d'air. Mais elles exigent une tête plus longue et sont plus lourdes. Par contre, elles permettent une manoeuvre plus facile, notamment lorsque l'ouverture se fait sous charge pour le remplissage ou la vidange. En fait, elles n'ont aucune supériorité pour le service des portes d'écluses; on les emploie surtout comme portes de sûreté dans les canaux, à cause de leur

facilité de manoeuvre en toutes circonstances, même dans un courant. Les portes à cylindres exigent des têtes plus longues, elles sont lourdes et difficiles à manoeuvrer à cause de l'absence d'équilibrage. Elles exigent une superstructure considérable au dessus du terre-plein pour permettre une élévation suffisante au dessus du plan d'eau. Pour éviter un trop grand déplacement horizontal et une tête trop longue, on prend un chemin de roulement presque vertical, ce qui augmente considérablement les efforts de levage. Les deux derniers types ne conviennent que comme portes d'amont. Tous ces types ne présentent aucune aptitude très particulière comme portes d'écluse. Tous trois encombrant l'espace au-dessus du terre-plein de constructions élevées et interrompent la continuité du halage; il faut des dispositifs de halage mécanique avec pompes de renvoi. Ces dispositifs ont reçu quelques applications récentes en Allemagne, surtout dans le but de permettre le remplissage et la vidange par ouverture des portes. Cette disposition présente certes un grand intérêt. Il semble que les vannes levantes, qui conviennent parfaitement à cet effet et réduisent au minimum les inconvénients de ce genre de porte, doivent recevoir la préférence et sont susceptibles de faveur.

§ 13) Portes à rabâtement

Ces portes sont analogues aux hausses ordinaires et conviennent surtout pour les faibles hauteurs. Elles tournent autour d'un axe inférieur horizontal. La traverse inférieure s'appuie d'ailleurs en position fermée contre un seuil. La hausse s'appuie aussi sur des feuillures latérales. Les portes de ce type, en bois ou fer, sont toujours constituées d'aiguilles prenant appui sur les traverses inférieures et supérieures très rigides. Ces portes peuvent être rendues automatiques en les munissant d'un double bordage et de réservoirs à air, qui sont remplis d'eau lorsque la porte est ouverte et repose sur le fond. Pour lever la porte, on insuffle de l'air. La porte se dresse et s'applique contre les feuillures d'appui,

légèrement en surplomb vers l'amont :



On vide ensuite le sas, la pression d'amont maintient la porte appliquée mais en même temps par suite de cette pression qui s'exerce par un orifice amont, l'air s'échappe par un orifice aval et la chambre se remplit d'eau. Lorsque pour un éclusement, le sas a été rempli, sous l'effet d'un léger excédent de poids sur la poussée hydrostatique, la porte se rabat (système Botton). Ce type de porte exige une tête moins longue que la porte à un vantail lorsqu'elle est plus large que haute. Sa manœuvre

est aisée et, par rapport aux vannes levantes, elle a l'avantage de ne pas s'élever au dessus du terre-plein, qui reste libre. Le danger d'envasement peut être évité par la disposition qui consiste à établir la porte en aval du mur de chute, elle repose en position ouverte sur une plaque en charpente, maçonnerie ou béton armé couvrant l'extrémité du sas et percée d'orifices, fermés par des vannes mobiles.

Ce type de porte est parfois aussi employé comme porte de succion ou de garde dans les canaux.

Ses systèmes bea-trap, vannes à secteurs et hausse à tambour, présentent de multiples complications par rapport à la porte à rabattement, sans aucun avantage essentiel, n'ont pas été appliqués aux portes d'écluses.

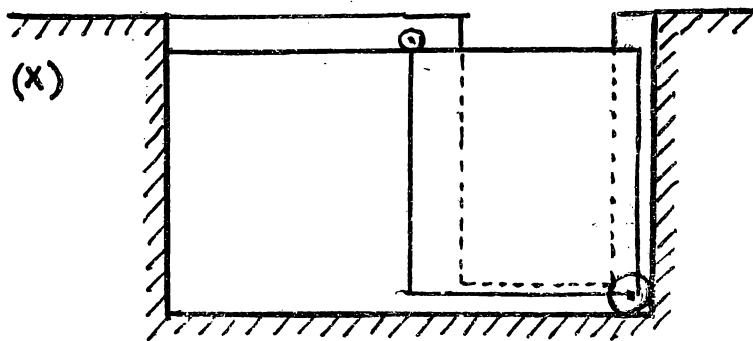
§ 145 Portes glissantes et roulantes

Ces portes se rencontrent aussi surtout dans les grandes écluses maritimes (voir génie maritime)

d'accroissement des dimensions des écluses d'intérieur fait cependant qu'on les y emploie aussi parfois. Les portes sont des vannes presque complètement équilibrées par flottes, et qui se déplacent latéralement à l'axe de l'écluse. En position ouverte, elles sont retirées dans une "chambre de porte" latérale. Les têtes ne doivent donc pas être longues mais l'encombrement latéral est grand.

Le système le plus simple est celui des portes glissantes qui sont terminées en dessous par une forte traverse en bois treillis due frottant sur des glissières métalliques ou, de préférence, en granité poli. Le frottement est élevé, mais n'agit que sur un poids peu considérable. Cette disposition assez rudimentaire a pour but d'éviter des parties métalliques sous eau, et leur envasement. Le même résultat est obtenu par des portes roulant sur un pont supérieur. On peut avoir un pont fixe assez élevé pour permettre le passage des bateaux, la porte est suspendue aux chariots de roulement par des tirants.

Deux portes de ce système existent dans l'écluse de O' Beese, qui établit la jonction entre la Elbeiss et le canal Franz. Les fluctuations du niveau de la Elbeiss font varier le sens de chute, qui est indifférent avec ce système de porte.



Le chemin de roulement peut être constitué aussi par un pont basculant ou par un pont roulant, c'est à dire se déplaçant perpendiculairement à la passe à couvrir. Ce pont se meut au dessus de la chambre de porte qui

est ouverte dans les deux positions. Lorsque la porte est ouverte, on ouvre le pont basculant ou roulant.

Comme disposition mixte, on peut avoir la porte roulant sur la partie supérieure de la chambre de porte à l'arrière, sur le fond à l'avant. Mais le plus souvent dans les portes modernes, le mouvement se produit

par roulement, sur des rails fixés sur le fond, de galets fixés à la partie inférieure de la porte. Anciennement, on avait adopté la disposition inverse, la croyant moins susceptible de dérangement pour la chute de corps étrangers sur le fond. Cette précaution a été reconnue superflue et désavantageuse. Il faut un guidage latéral, laissant un certain jeu toutefois, notamment pour le refoulement de l'eau hors de la chambre lors de l'ouverture, ainsi que pour l'entrée et la sortie de la porte. Il est d'ailleurs généralement nécessaire pour le refoulement de l'eau de prévoir un aqueduc spécial débouchant dans le fond de la chambre. Ces aqueducs peuvent aussi servir au nettoyage de la chambre pour chasses etc.

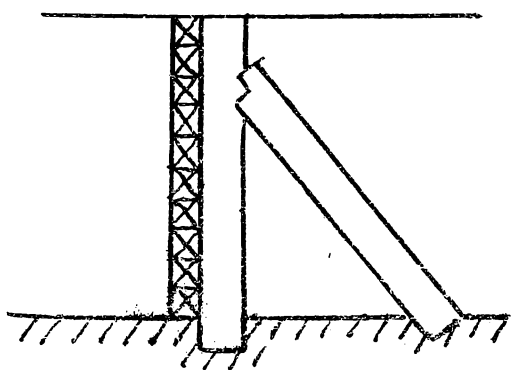
La porte peut être rendue flottante pour être visitée, réparée, etc... on la retire alors de la chambre. On peut aussi prévoir la possibilité d'une fermeture de la chambre de porte et d'une mise à sec; elle constitue alors une vraie forme de radoub pour la porte.

Les portes roulantes se distinguent par une manœuvre rapide et aisée, elles sont aussi très sûres, et constituent, pour les très grandes portes, un des meilleurs systèmes.

§ 14) Fermetures de secours

Nous avons parlé déjà, des portes flottantes, qui ont l'avantage de pouvoir être déplacées en n'importe quel endroit, et éventuellement de permettre une exploitation provisoire.

La fermeture la plus habituelle pour le cas de réparations aux portes, vannes, sas, etc... est réalisée par des rideaux de portelles. Aux grandes écluses, on établit un double rideau (2 rainures) dont l'intervalle est rempli de tôle imperméable.



Lorsque l'écluse est assez large, il arrive que l'on consolide ces rideaux, par des patrouilles placés à l'aval et dont le pied est engagé dans des cavités préparées dans le fond du radier. Ces patrouilles sont fixés aux portelles par des clampeaux pour les solidariser; parfois on les soutient en établissant un arc =

hautant vers l'aval.

Enfin, dans les pentes assez larges et peu profondes : têtes aval et têtes à mont d'écluses à mur de chute, on emploie actuellement souvent des aiguilles qui prennent appui sur un seuil fixe et sur une poutre dont les appuis sont établis à la partie supérieure des bajoyers.

§ Mise en place et entretien des portes

La mise en place des portes équilibrées se fait par flottaison. Celle des portes non équilibrées, par des biques ou chevaux montés sur les bajoyers. Le chevalot roulant enjambant l'écluse et muni de palans est très pratique. Dans les ports on dispose généralement de grues flottantes sur pontons, qui peuvent aussi servir. Il est évidemment désirable de monter les portes à sec, à l'abri de batardeaux ou de rideaux de poutrelles.

De petites réparations, visites et peuvent se faire par scaphandrier. Les organes de manoeuvres doivent être bien graissés et entretenus, ainsi que les peintures, tant des portes en fer (peinture à base d'huile de lin) qu'en bois (goudronnage). Les organes d'étanchéité et les bordages doivent être surveillés et réparés en temps opportun. Les déformations des portes doivent être attentivement suivies dans les portes en bois et éventuellement corrigées par tension du tirant. Les pièces principales des portes en bois doivent être sondées après quelques années, car il arrive qu'il se produise des pourritures internes non apparentes qui peuvent mettre l'exploitation de l'écluse inopinément en danger. Il arrive lorsque les autres pièces sont encore bonnes, qu'on effectue aux portes en bois des réparations capitales par remplacement de pièces principales.

Lorsque plusieurs écluses sont munies de portes du même type, surtout lorsqu'elles sont en bois, il arrive que l'on conserve des portes de réserve, parfois de vieilles portes réparées. Il est recommandable de les conserver sous eau par un dispositif flottant permettant leur transport rapide et facile par flottage (flotteurs.)

Chapitre III

Dispositifs de sassement

§ 1) Théorie du sassement

Le sas contient toujours de l'eau jusqu'au niveau d'aval, sur une profondeur suffisante pour permettre la navigation, il en résulte que le remplissage peut toujours s'effectuer par orifices noyés et nous n'envisagerons que cette hypothèse. Dans les anciennes écluses, on trouve parfois des orifices assez élevés que pour fonctionner pendant le début du remplissage comme orifices découverts. Il en résulte une moindre vitesse de remplissage, par suite de la moindre charge et des jets d'eau libres qui gênent l'exploitation de l'écluse.

Dans le cas de l'écoulement par orifice noyé, la charge motrice est à tout instant égale à la différence h des niveaux d'amont et d'aval et varie de H , hauteur de chute, à 0. Soient bH la section du sas, L sa longueur et w la section totale d'orifice. L'équation différentielle du mouvement est

$$w v dt = - b L dh$$

Où d'après l'équation de Bernouille:

$$h = \frac{v^2}{2g} (\alpha + \beta) = \delta \frac{v^2}{2g}$$

δ étant un coefficient total de perte de charge. Donc

$$v = \sqrt{\frac{2g}{\delta}} h^{1/2} \quad \text{Donc} \quad \sqrt{\frac{2g}{\delta}} w h^{1/2} dt = - b L dh$$

$\left(\frac{1}{\sqrt{\delta}}\right)$ est ce qu'on appelle le coefficient de débit μ

$$dt = \frac{- b L}{\sqrt{\frac{2g}{\delta}} w} \frac{dh}{h^{1/2}}$$

$$\text{d'où} \quad (t)_0^T = \frac{- b L}{\sqrt{\frac{2g}{\delta}} w} \left(2 h^{1/2} \right)_H^0$$

Appelons S la surface horizontale de l'écluse

$$T = \frac{2S}{w} \frac{H^{1/2}}{\sqrt{\frac{2g}{\gamma}}}$$

La durée du remplissage dépend essentiellement du rapport $\frac{S}{w}$, supposé constant pendant toute la durée du remplissage. On admet souvent $\gamma = 2$; alors

$$T = 0,64 \frac{S}{w} H^{1/2}$$

Donc si $H = 4 \text{ m}$ et $\frac{S}{w} = 250$, $T = 320'' = 5' 20''$

La vitesse varie de $\sqrt{\frac{2g}{\gamma}} H^{1/2}$ à 0 et le débit $\sqrt{\frac{2g}{\gamma}} H^{1/2} w$ à 0; la vitesse de montée de l'eau dans le sas est

$$\frac{dh}{dt} = \frac{w}{S} v \text{ et varie de } \frac{w}{S} \sqrt{\frac{2g}{\gamma}} H^{1/2} \text{ à } 0.$$

Dans le cas concret précité; en admettant $\gamma = 2$, la vitesse varie de $6 \text{ m } 26 / ''$ à 0; le débit de $6,26 w \text{ m}^3 / ''$ à 0 et la vitesse de montée dans le sas de $0,025 \text{ m} / ''$ à 0.

La vitesse initiale de $6 \text{ m } 26 / ''$ est trop forte, elle donne lieu à de forts remous pour l'amortissement de la vitesse et, si le jet débouche suivant l'axe de l'écluse, à une onde qui se propage dans le sas vers l'avant, se réfléchit et donne lieu à des mouvements désordonnés et dangereux des bateaux. Le débit maximum de $6,26 w$ correspond à un débit moyen de $3,13 w$ et la vitesse maximum de montée de $1,50 \text{ m} / ''$ à une vitesse moyenne de $0,75 \text{ m} / ''$. Pour éviter les remous dangereux sans augmenter T , on voit que la solution consiste à conserver les valeurs moyennes, mais à réduire la valeur maximum en substituant au rapport $\frac{w}{S}$ constant un rapport croissant de 0 jusqu'à une valeur beaucoup plus grande que la valeur fixe. Il est facile de faire varier w proportionnellement à t , par le usage à vitesse constante d'une vanne rectangulaire. Alors

$$w = kt$$

$$kt \sqrt{\frac{2g}{\gamma}} h^{1/2} dt = - b k dt$$

$$kt dt = - \frac{S}{\sqrt{\frac{2g}{\gamma}}} h^{-1/2} dh$$

$$\left(\frac{kt^2}{2}\right)_0^T = - \frac{2S}{\sqrt{\frac{2g}{\gamma}}} (h^{1/2})_H^0 \text{ en supposant } \gamma \text{ constant}$$

$$\frac{kT^2}{2} = \frac{25}{\sqrt{\frac{2g}{8}}} H^{1/2}$$

$$\text{Or } kT = \omega \max = \Omega \quad \text{donc } T = \frac{45}{\Omega} \frac{H^{1/2}}{\sqrt{\frac{2g}{8}}}$$

Pour que la durée soit la même, il faut que la section totale d'ouverture à la fin de la manoeuvre soit $\Omega = 2\omega$

Au début, la vitesse est max. $V = \sqrt{\frac{2g}{8}} H^{1/2}$, mais le débit est nul, ainsi que la vitesse de montée, à la fin, la vitesse, le débit et vitesse de montée sont nuls.

Le débit et la vitesse de montée passent donc ^{simultanément} par un maximum correspondant à $h = \frac{4}{9} H$ et $t = \frac{T}{3} = 0,58 T$. La vitesse maximum de montée est : $\frac{2}{3} \sqrt{\frac{2g}{8}} \frac{\Omega}{5} \frac{H^{1/2}}{\sqrt{3}}$. Comme $\Omega = 2\omega$

on voit que ce maximum est de 23% inférieur à celui qui se produit dans le cas de l'orifice constant. Le débit maximum est

$\frac{2\Omega}{3\sqrt{3}} \sqrt{\frac{2g}{8}} H^{1/2}$. On voit que les conditions d'écoulement sont notablement améliorées. A la vitesse maximum de sortie de l'eau correspond un débit très faible, sans danger de remous et au maximum de débit, qui se produit lorsque le sas est plus qu'à moitié rempli, la vitesse de ^{montée} ~~sortie~~ n'est plus que 0,77 de la vitesse maximum et est facilement amortie par la grande masse d'eau du sas. Dependant à égalité de durée de sassement, il ne faut qu'un orifice maximum double de l'orifice constant.

La levée progressive de la vanne exige le minimum d'effort, pratiquement d'ouverture complète immédiate est d'ailleurs impossible

Elle est nécessairement progressive pendant un temps t_1 au bout duquel la chute est réduite à h_1 , telle que $h_1^{1/2} = H^{1/2} - \sqrt{\frac{2g}{8}} \frac{\omega t_1}{45}$

L'achèvement du remplissage exige un temps

$$t_2 = \frac{25}{\omega} \frac{h_1^{1/2}}{\sqrt{\frac{2g}{8}}} \quad \text{et} \quad T = t_1 + t_2$$

Dans le cas de l'ouverture progressive proportionnelle au temps pendant toute la durée du sassement, on peut réduire la durée T

en augmentant Ω . Ainsi, on diminue le temps de montée par rapport à un orifice constant ω en faisant $\Omega = 4\omega$. Or il est possible de réaliser par ouverture progressive des portes une section Ω croissant de 0 à une valeur très considérable. Seulement, comme T diminue et que Ω augmente, on voit que la vitesse d'accroissement de l'orifice $\frac{\Omega}{T}$ augmente considérablement. Ainsi pour $\Omega_1 = 2\omega$, elle est $\frac{\Omega_1}{T_1}$, pour $\Omega_2 = 4\omega$, elle est $\frac{4\Omega_1}{T_1}$ car $\Omega_2 = 2\Omega_1$ et $T_2 = \frac{T_1}{2}$.

Dans ces conditions, les maxima de vitesse de montée et de débit deviennent considérables; les quantités d'eau déversées à grande vitesse dans le sas vide sont trop grandes et il se produit des remous excessifs, à moins que par des dispositifs spéciaux, on ne veuille à amortir leur force vive.

Mais un autre système consiste à faire varier la vitesse d'accroissement de l'orifice de zéro à un maximum, par exemple par un orifice triangulaire découvert à partir du sommet par une rampe à vitesse de levage constante.

Il est évident que $\omega = kt^2$ et au temps $t = 0$, $\omega = 0$ et $\frac{d\omega}{dt} = 0$ l'équation différentielle devient

$$kt^2 dt = - \frac{S}{\sqrt{\frac{2g}{g}}} h^{-1/2} dh$$

$$\left(\frac{kt^3}{3}\right)_0^T = - \frac{2S}{\sqrt{\frac{2g}{g}}} \left(h^{1/2}\right)_H^0$$

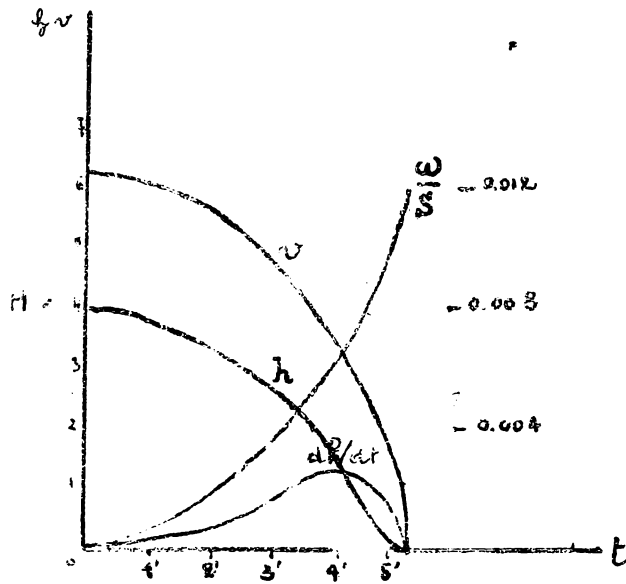
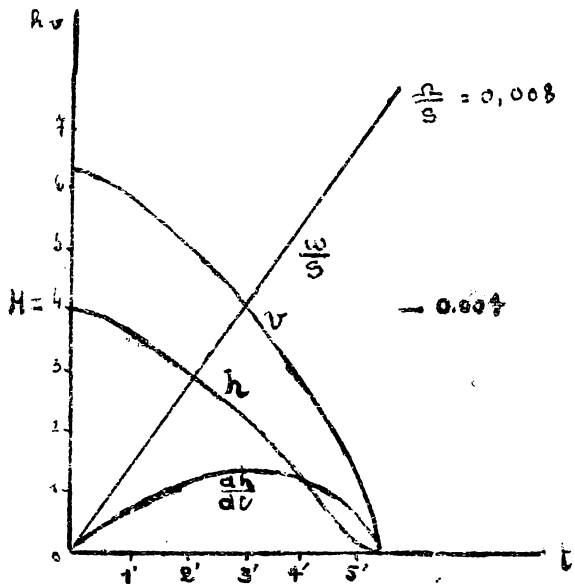
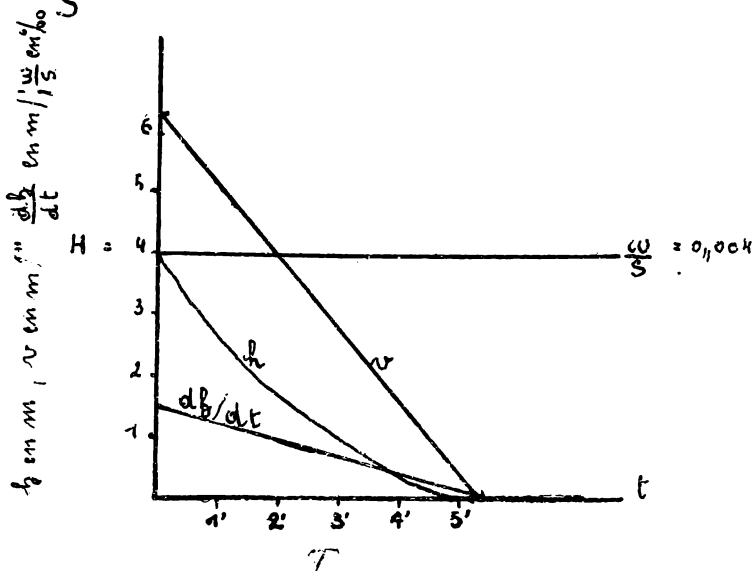
donc $T = \frac{6S}{\Omega} \frac{H^{1/2}}{\sqrt{\frac{2g}{g}}}$ puisque $\omega_{\max.} = \Omega = kT^2$

Donc pour avoir la même durée de sassement qu'avec un orifice constant ω , il faut $\Omega = 3\omega$. Les lois de variation de vitesses, du débit et de la montée de l'eau dans le sas sont analogues à celles du cas précédent. Le maximum de débit et de vitesse de montée se produit pour $h = \frac{9}{25} H$ et $v = \pi \sqrt{\frac{2}{5}} = 0,74 T$. $\left(\frac{dh}{dt}\right)_{\max}$ est égale à $\frac{3}{5} \sqrt{\frac{2g}{g}} \frac{\Omega}{S} \left(\frac{2}{5}\right)^{2/3} H^{1/2}$; elle est supérieure à la vitesse maximum de montée dans l'hypothèse précédente d'ouverture; elle se produit aux trois quarts de la durée du sassement; dans un sas rempli de 64%

On voit qu'en fait, les conditions de sassement vers la fin de l'opération sont moins bonnes que celles qui se produisent avec l'accroissement de l'ouverture proportionnel au temps. Le bénéfice de la vitesse variable d'accroissement n'existe qu'au début. Aussi les orifices ne sont-ils pas triangulaires entièrement, mais bien qu'à la base et se continuent ensuite par un orifice rectangulaire. Les dimensions et la vitesse de linéage étant connues, on peut calculer le temps total du sassement par un pareil orifice en combinant les cas 2. et 3.

Ce qui précède montre que l'on peut par des orifices à ouverture progressive obtenir des durées de sassement convenables, tout en découvrant des orifices maxima de dimensions raisonnables. Les diagrammes ci-dessous traduisent les résultats des 3 hypothèses étudiées pour le cas concret

$H = 4m, \frac{w}{S} = 0,004 \text{ et } T = 5' 20''.$



Quelques propriétés de ces courbes

$$\int_0^H \frac{dh}{dt} dt = \int_0^H dh = H$$

L'aire des courbes $\frac{dh}{dt}$ est constante ^{et indépendante de T.}. C'est pour cette raison que $\frac{dh}{dt}$ max est plus élevé dans le cas 3 que dans le cas 2. On voit donc que $\left(\frac{dh}{dt}\right)_{\max}$ diminue quand T augmente.

Où $\frac{dh}{dt} = -\frac{wv}{bL}$ donc $\int \frac{dh}{dt} dt = -\int \frac{wv}{bL} dt = H$.

ou $-\int wv dt = KBL =$ volume de la sasseé, ce qui est évident d'ailleurs.

∴ L'aire de la courbe des débits, qui est proportionnelle à celles des vitesses d'amoitié, est constante.

Mais $-\frac{w}{S} dt = \frac{dh}{v} = \frac{dh}{\sqrt{\frac{2g}{8}R^{-1/2}}}$

et $-\int_T^0 \frac{w}{S} dt = \frac{1}{\sqrt{\frac{2g}{8}}} 2 H^{1/2} = C^te$

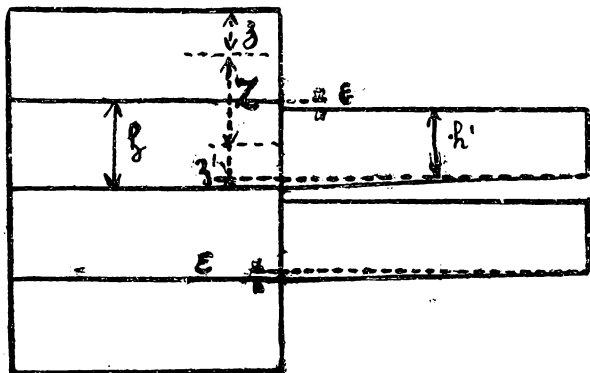
L'aire de la courbe de $\frac{w}{S}$ pour une durée d'éclusage quelconque est constante.

Ces propriétés se reconnaissent sur les diagrammes des 3 processus de sassement envisagés. Leurs effets se marquent notamment sur la courbe de dh/dt , dont celle correspondant au cas n°2 est la plus satisfaisante et donne la plus faible valeur du maximum de $\frac{dh}{dt}$. La période finale du cas 3 est moins avantageuse à ce point de vue, son maximum de $\frac{dh}{dt}$ atteint pratiquement la même valeur que dans le cas n°1, toutefois lorsque le sas est déjà aux $\frac{2}{3}$ rempli. Il apparaît donc comme très favorable de combiner les cas 2 et 3, le cas 3 pendant les premiers instants du sassement, puis le cas 2 jusqu'à la fin. Cette combinaison est réalisée par plusieurs dispositifs. Et après les courbes, il semble d'ailleurs que le cas 2 seul peut donner satisfaction, notamment si l'on y adjoint des dispositifs d'amortissement de force vive.

L'expérience montre que l'on peut de la sorte remplir un sas assez rapidement, en découvrant finalement de très grands orifices et sans

provoquer d'efforts élevés dans les cables d'amarrage des bateaux

§ 2) Durée du passage des bassins d'épargne



Soient S et S' les sections horizontales du sas et du bassin d'épargne, les hauteurs correspondantes des tranches de passage sont h et h' telles que $S h = S' h'$. D'autre part appelons E les charges finales de remplissage et de vidange des bassins d'épargne, alors $h = h' + 2E$.
Donc, pendant l'écoulement d'une tran-

che, la charge varie de $2h - E$ à E , sa valeur instantanée est

$z = 2h - E - z - z' = 2h - E - z \left(1 + \frac{S}{S'}\right)$ car $g S = g' S'$. En appelant w la section de l'aqueduc et μ son coefficient de débit, le débit instantané est $\mu w \sqrt{2g z} = S \frac{dz}{dt} = \frac{-S}{1 + \frac{S}{S'}} \frac{dz}{dt}$

$$\text{Donc } dt = - \frac{S dz}{\mu w \sqrt{2g z} \left(1 + \frac{S}{S'}\right)}$$

$$\text{et } t = \frac{2 S (\sqrt{2h-E} - \sqrt{E})}{\mu w \sqrt{2g} \left(1 + \frac{S}{S'}\right)} = \frac{S \sqrt{h} (\sqrt{2 - \frac{E}{h}} - \sqrt{\frac{E}{h}})}{\mu w \sqrt{2g} \left(1 - \frac{E}{h}\right)}$$

S'il y a n bassins d'épargne : $h = \frac{H}{n+2}$, H étant la chute totale.

Si $E = 0$ $t = \frac{S \sqrt{H}}{\mu w \sqrt{2g}} \sqrt{\frac{2}{n+2}}$ pour chaque bassin d'épar-

gne. Il reste toujours 2 tranches de l'écluse à passer, sous une charge variable de $2h$ à 0 ; le temps correspondant est, d'après le § précédent

$$t' = \frac{2 S' \sqrt{2h}}{\mu w \sqrt{2g}} = \frac{S \sqrt{H}}{\mu w \sqrt{2g}} 2 \sqrt{\frac{2}{n+2}} = 2t$$

La durée totale du passage, sans tenir compte des pertes de temps et des durées de manoeuvre des vannes est

$$T_n = (n+2)t = \frac{S \sqrt{H}}{\mu w \sqrt{2g}} \sqrt{2(n+2)}$$

Si E est > 0 , la durée de passage d'un bassin diminue; la limite théorique, qui correspond à $\frac{E}{h} = 0,5$, d'où $S = \infty$

donne $t_{\min} = \frac{S \sqrt{H}}{\mu \omega \sqrt{2g}} \cdot \frac{1,04}{\sqrt{n+2}} \approx \frac{t}{\sqrt{2}}$ approximativement.

Donc la limite inférieure de T_n est

$$T_{n, \min} = n t_{\min} + 2 \sqrt{2} t_{\min} = \frac{S \sqrt{H}}{\mu \omega \sqrt{2g}} (n + 2 \sqrt{2}) \frac{1,04}{\sqrt{n+2}}$$

La durée d'un passage simple est $T' = \frac{2 S' \sqrt{H}}{\mu \omega \sqrt{2g}}$

$$\text{donc } T_{n, \max} = \sqrt{\frac{n+2}{2}} T' \text{ et } T_{n, \min} = \frac{n + 2 \sqrt{2}}{2} \frac{1,04}{\sqrt{n+2}} T'$$

Donc, si $n = 3$, la durée de passage T_n est comprise entre 1,36 et 1,58 T' . Pour augmenter la rapidité du passage, il faut augmenter E , donc S' , ainsi que ω et μ . On est limité dans les dimensions de S' et de ω , mais il y a grand intérêt à augmenter μ , ce qui dépend surtout des formes. Il y a donc utilité à procéder à des essais sur modèles réduits pour les dispositions des bassins d'épargne et des organes de passage en vue de concilier les points de vue d'économie d'eau, de rapidité de manœuvre, de tranquillité d'écoulement dans le sas et de réduction des dépenses d'établissement.

§ 35 Dispositifs de passage anciens

Le dispositif le plus simple et le plus ancien - consiste à établir des orifices dans le bas des portes, fermés par des petites vannes, appelées ventelles et mues par crics ou leviers. Le rapport $\frac{\omega}{S}$ est généralement faible et varie de $\frac{1}{150}$ à $\frac{1}{300}$ et même moins, en moyenne $\frac{1}{200}$. Dans certains cas, il est supérieur à $\frac{1}{100}$, mais de tels orifices sont possibles seulement dans les portes métalliques et pour des écluses relativement petites. L'ouverture est généralement rapide et se fait en un temps beaucoup inférieur à la durée du passage; il en résulte une grande agitation dans le sas, d'autant plus que ω est plus grand ainsi que H . C'est pour cette raison que l'on a abandonné ce système pour les écluses plus modernes et au lieu de chercher à réduire l'agitation par un levage progressif de la vanne on a conservé le levage rapide mais employé des dispositifs, réduits

sant la force vive de l'eau.

Le plus simple consiste à établir dans les bagoies des têtes, des aqueducs mettant le sas en communication avec les biefs. Ils sont au nombre de deux vers des portes et sont fermés par des vannes. Ils débouchent derrière les portes en se faisant vis à vis; les deux jets se rencontrent et amortissent par le choc une partie de leur force vive, déjà réduite par les frottements des parois, des aqueducs. Cette disposition encore sommaire, peut être améliorée, en faisant déboucher les aqueducs latéralement dans une chambre quadrangulaire dans le mur de chute, sous le buse ^{qui} constitue une chambre d'amortissement. Il vaut mieux encore, quand c'est possible, faire déboucher les aqueducs vers le haut dans le radier de cette chambre. Ce dispositif, n'est possible qu'à l'amont, mais l'agitation dans le canal de fuite en aval est sans importance.

La section Ω de ces aqueducs est plus grande, environ $\frac{1}{100} S$ en moyenne.

Lorsque la chute est forte, l'agitation dans le sas est encore grande à cause du remplissage assez rapide et de la levée rapide de la vanne.

On a cherché alors à répartir l'introduction de l'eau dans le sas sur toute sa longueur en réduisant aussi la vitesse d'entrée. À cet effet le dispositif le plus courant est celui des aqueducs établis dans les bagoies de l'écluse sur toute leur longueur. Ils sont fermés en aval et en amont par des vannes. Ils débouchent par leurs extrémités dans les biefs contigus et sont réunis avec le sas au moyen de petits aqueducs transversaux ou larrons alternants. L'eau de remplissage est donc introduite par de multiples orifices d'une section supérieure à celles des aqueducs, donc à vitesse réduite. Cependant toute agitation ne disparaît pas, elle serait assez sensible si les larrons étaient opposés. Un remous sensible se produirait sur le centre du bateau. Dans la disposition alternée au contraire, le jet passe sous le bateau et remonte par la paroi opposée; les tourbillons de fond et le frottement interne absorbent la force vive. Mais il est certain que la répartition du débit n'est pas uniforme entre tous les larrons. Voir A.T.P.B. fasc. 4. 1927, p. 552

On obtient une plus grande uniformité en alimentant les barons à partir du milieu du sas, comme dans les écluses du canal Saint Denis. L'aqueduc amont est placé à la partie supérieure des bajoyers et se prolonge jusqu'au milieu du sas, où il communique par un puits vertical avec un aqueduc inférieur, qui règne sur toute la longueur du sas et est en relation avec lui par des barons. Cet aqueduc débouche à l'aval pour la vidange. Pour le remplissage, il est donc alimenté par le milieu; la chute de l'eau dans le puits constitue un amortissement de la force vive.

Si les barons n'existent que sur une face, ils exercent pendant le passage une action latérale qui repousse les bateaux contre le bajoyer qui contient les barons.

Dans un grand nombre d'écluses américaines, on a substitué aux barons des aqueducs latéraux sous le radier, percés vers le haut d'orifices communiquant avec le sas. Il est plus simple alors de disposer des aqueducs longitudinaux sous le radier et d'y pratiquer des orifices supérieurs verticaux. Mais le remous se produit sous les bateaux et la répartition n'est pas uniforme; ce système plus compliqué n'est pas supérieur aux barons; les orifices sont plus exposés aux encrassements. Avec de tels dispositifs, on descend jusque $w = \frac{S}{50}$. Le remplissage est donc rapide.

Le facteur γ est évidemment variable dans tous ces dispositifs. On peut admettre :

pour les ventelles 1,50 à 2,50

pour les aqueducs courts, 2,00 à 4,00

pour les aqueducs longs 6,00,

Ces valeurs ne servent qu'à fixer les idées, mais montrent que, dans la comparaison des systèmes, il ne faut pas s'en tenir au rapport $\frac{w}{S}$ mais à $\frac{w}{S\sqrt{\gamma}}$.

Tous ces systèmes ne cherchent pas à réaliser d'amortissement d'énergie, sauf par la chute dans un puits vertical, qui se retrouve dans de nombreuses écluses, à mur de chute et à vannes cylindriques ou

horizontales pour relier des niveaux amont et aval des aqueducs longitudinaux. Parfois, on érase les larrons en trémie, on les munit de grille ou bien on les fait partir des aqueducs longitudinaux sous forme de truits verticaux, disposition, qui ne peut être que de hauteur limitée, sinon elle exige 2 aqueducs longitudinaux. Les extrémités des aqueducs dans les biefs sont toujours munis de grilles, pour empêcher l'introduction de corps flottants. On y prévoit aussi des rainures ou fentes pour les fermetures de secours par panneaux ou trauzelles, en vue des réparations, travaux d'entretien et visites d'inspection. Il est désirable que les aqueducs longitudinaux permettent la circulation et soient accessibles par des échelles.

§ 4) Tendances nouvelles pour l'opération du sassement.

Les recherches effectuées dans des laboratoires d'hydraulique appliquée, corroborées par les théories exposées ont montré l'influence considérable de la vitesse de levée des vannes sur l'opération du sassement. Il est possible dans un même temps, en ouvrant très progressivement un orifice dont la section finale est très grande, d'obtenir un sassement sans remous, en évitant les dispositions compliquées et surtout coûteuses des aqueducs longitudinaux et des larrons. On en revient donc aux ventelles dans les portes et aux aqueducs latéraux ou inférieurs dans les têtes, avec ou sans dispositifs supplémentaires d'amortissement: chambres d'expansion, grilles, etc. Mais comme les orifices finaux peuvent être très grands, on peut envisager le sassement par ouverture très progressive de la porte d'écluse même, système auquel les portes levantes à vanne plane, à segment et à cylindre se prêtent très bien. Les portes à éventail ou secteur ont été également utilisées à cet effet, et les portes à rabattement peuvent également convenir. Ces dispositifs suppriment toutes complications d'aqueducs et ventelles, ainsi que leurs appareils de manoeuvre et on, le sassement est réalisé dans la même durée, on gagne le temps d'ouverture des portes.

Les avantages considérables, joints à la parfaite solution du problème

du rassemblement doivent mettre ces systèmes en faveur. Mais ces dispositifs doivent être bien étudiés.

§ 5) Ventelles et appareils de manoeuvre

On emploie presque exclusivement pour les ventelles, les vannes plates glissantes et les vannes pivotantes ou à papillon (axe horizontal). Les dispositions élémentaires ne demandent pas d'autres complications; je me réfère au cours de barrages. Les anciennes conceptions, qui faisaient chercher à découvrir l'orifice maximum le plus vite possible, ont donné naissance aux ventelles à jalousies, principalement glissantes, parfois à papillon. La course de vanne est fortement réduite sans que l'effort soit accru. On perd plus de la moitié de l'espace exigé par la vanne, ce qui ne permet donc que des orifices assez réduits. Le danger d'obstruction des petits orifices est grand et l'étanchéité est réduite à cause du grand nombre de joints. Lorsque la course est faible et pour de petites vannes, la manoeuvre se fait souvent par un simple levier, dont l'axe est près du niveau de la prescelle de la porte. Pour des efforts ou des courses plus importants on emploie un axe à vis ou à crémaillère et pignons, mû par une manivelle ou une roue à mentonnets. Les appareils se calent lent comme il a été exposé dans le cours de barrages.

D'après ce que nous avons exposé on n'emploiera plus actuellement que des vannes levantes à levage très progressif. Des ventelles de ce genre bien établies peuvent donner satisfaction, surtout si la largeur de l'orifice découvert est variable.

§ 6) Vannes des aqueducs

Lorsque le rassemblement se fait au moyen d'aqueducs, il faut des vannes d'obturation et de manoeuvre. On peut y employer toutes les bonnettes que nous avons étudiées dans le cours de barrages pour les pertuis de petites dimensions. Notamment.

- 1°) les vannes levantes glissantes ou pivotantes, notamment genre Stonley
- 2°) les vannes pivotantes, à axe horizontal ou vertical.

3° les vannes levantes à segment ou à cylindre

4° les vannes horizontales coulantes au genre Stoney couvrant un fruit de chute vertical.

5° les vannes cylindriques verticales, qui sont particulières aux écluses et qui sont décrites plus loin.

En dehors des vannes cylindriques, on n'emploie guère que les vannes verticales glissantes au genre Stoney, et les vannes à segments à cause de leur bonne étanchéité et de leur manœuvre facile (surtout des vannes à segments). Elles permettent de découvrir des orifices de largeur variable. L'étanchéité des vannes pivotantes est toujours douteuse.

Toutes ces vannes sont constituées, comme il est décrit dans le cours de barrages; les dispositifs d'étanchéité et de manœuvre sont analogues.

Les vannes levantes sont parfois disposées de telle sorte qu'elles assurent, en position fermée, un contact serré sur leur siège, en vue de l'étanchéité. On leur donne pour cette raison une forme trapézoïdale ou bien on supprime les galets et on les rend glissantes sur un siège bien dressé et raboté en bronze phosphoreux. Cette disposition est adoptée dans de nombreuses écluses hollandaises et aux nouvelles écluses du Haut Escaut. L'inconvénient de l'augmentation de l'effort de levage est réduit par l'équilibrage et par le levage lent, qui équilibre rapidement les pressions sur les deux faces. Les vannes à segment ont généralement le centre de figure un peu au dessus du centre de rotation; la pression de l'eau équilibre donc légèrement le poids et aide au levage, cependant que l'excentricité assure par serrage une meilleure étanchéité. On cherche actuellement à simplifier le plus possible les dispositifs.

Généralement, les vannes sont partiellement équilibrées et manoeuvrées à l'électricité (si elles sont importantes) ou à main (manœuvre de secours). Je renvoie pour les détails aux ouvrages spéciaux.

Les vannes cylindriques sont constituées par des cylindres riveaux laisses étanches en tôle recouvrant un orifice circulaire vertical.

dont le pivot constitue le siège de la vanne.

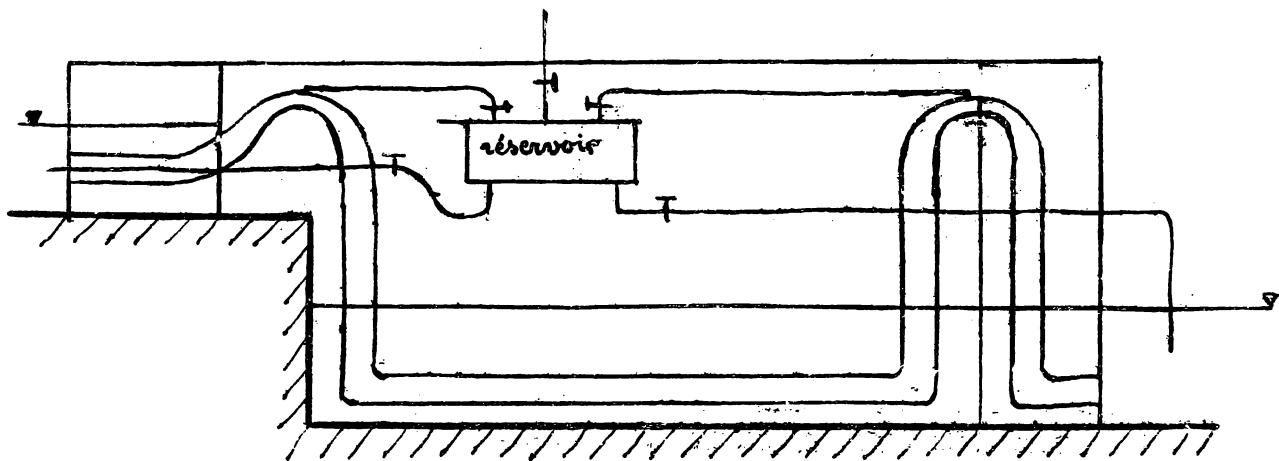
La vanne simple ou haute est ouverte à la partie supérieure, mais sa hauteur est telle qu'elle émerge au dessus du niveau d'amont. Elle est dans une chambre de vanne, ouverte par dessus et communiquant avec l'amont. Lorsqu'on soulève la vanne de son siège, l'eau se précipite dans le fruit de chute par l'orifice horizontal de couverte. Le cylindre est en tôle rivée d'épaisseur suffisante pour résister aux pressions horizontales maxima à la base. La tige centrale de manoeuvre est assemblée au cylindre par des bras radiaux, rivés en baulonnés au cylindre. La manoeuvre se fait par un cric à vis ou crémaillère et à la main; il n'y a comme résistance à vaincre que le poids du cylindre et éventuellement les légers frottements, qui s'échappent au calcul des guidages sur les parois latérales de la chambre de vanne, par galets et rails.

Les vannes basses ou fermées ou équilibrées sont plus compliquées, mais réduisent encore l'effort de levage. La partie supérieure du cylindre est fixe; la partie inférieure assez basse, est seule mobile. Le seul inconvénient consiste dans le double siège. Si le cylindre mobile se soulève à l'intérieur du cylindre fixe, celui-ci doit être prolongé jusqu'au dessus du niveau amont pour le passage de la tige de manoeuvre, mais le diamètre peut être réduit, dans la partie supérieure, à celui d'un tube. Le cylindre fixe est supporté par des montants sur le fond de la chambre de vanne ou par des bras aux parois latérales. Si le cylindre mobile est extérieur, le cylindre fixe peut être remplacé par un couvercle qui doit être supporté par des nervures prenant appui sur le bord de l'orifice. Ces vannes ont l'avantage d'une grande rapidité et facilité de manoeuvre; ils démontent rapidement de grands orifices. L'étanchéité peut être assurée par des dispositifs élastiques (caoutchouc) ou flexibles (tôles) soumis à la pression d'amont. Les vannes sont dites à simple effet: les vannes cylindriques conviennent bien pour les bassins d'épargne, mais, alors, la pression peut changer de sens. Les vannes sont dites à double effet.

De crainte de coups de béliers, on n'établit pas de couvercle, mais on conserve le diamètre maximum pour la partie fixée du cylindre, au moins jusqu'au-dessus du niveau maximum. Le dispositif d'étanchéité doit alors être double, de manière à agir sous l'un et l'autre sens de pression.

En vue d'une levée progressive des vannes, on peut régler d'une manière déterminée la vitesse de levage des vannes levantes verticales ou à segments. La vitesse est généralement constante. Pour augmenter la progressivité, on donne à la partie inférieure de l'orifice la forme triangulaire ou trapézoïdale. Dans les vannes cylindriques le levage assez faible ne permet guère le réglage par la vitesse. Mais on dispose à l'intérieur de la vanne, sur le siège, un cylindre dont la parois est découpée en dent de scie, de sorte que le levage découvre des largeurs de passage d'eau lentement croissantes, correspondant à l'orifice triangulaire.

§ 6] Sassement par siphons



Le sassement par siphon est peu employé. Il a cependant l'avantage d'éviter toutes parties mobiles sous eau, qui sont remplacées par des robinets de petites dimensions et toujours accessibles; il réduit les pertes d'eau et fonctionne par l'énergie hydraulique de la chute. Mais il n'est pas progressif. La disposition la plus connue est celle du professeur Hottel, appliquée au canal de l'Elbe à la Trave.

L'aqueduc longitudinal, qui communique avec le sas par des larrons est terminé aux deux extrémités par des siphons dont le seuil est arasé au niveau amont et dont la section supérieure est rétrécie.

Dans le bageoyez se trouve un réservoir d'eau situé sous le niveau amont, et qui est en relation par le bas avec les biefs d'amont et d'aval et par le haut avec l'air libre et le sommet du siphon. Tous ces conduits sont fermés par des robinets. A l'origine on ouvre le robinet à l'air libre et le robinet amont; le réservoir se remplit d'eau. Pour passer on ferme les deux robinets précédents et on ouvre les deux autres; l'eau s'écoule vers l'aval et aspire l'air du siphon, qui est amorcé. Mais dans la suite, par le rétrécissement du siphon, il se produit une dépression et l'air du réservoir est aspiré, le réservoir se remplit d'eau et est prêt à faire fonctionner d'autres siphons. Il ne faut donc qu'un remplissage initial du réservoir sauf compensation des pertes.

Chapitre IV

Dispositifs de manœuvre des portes

§ 1.) Résistance des portes tournantes

Elle comporte tout d'abord le couple résistant du pivot et du collier.

Celui du collier est : $M_c = f_c H r_c$

Celui du pivot dépend de la forme du pivot. Si la rotule est sphérique on peut écrire :

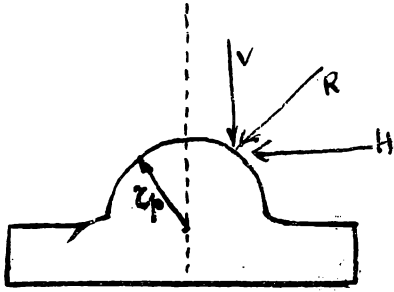
$$M_p \equiv f_p V \frac{r_p}{2}$$

Si les lentilles sont sensiblement planes et que la crapaudine permet de exercer un effort de flexion H sur le pivot cylindrique

$$M_p = f_p r_p \left(H + \frac{2V}{3} \right)$$

Le coefficient f peut atteindre 0,30 à 0,40 pour un pivot non graissé, il descend à 0,20 si les surfaces sont légèrement graissées à 0,10 s'il y a un graissage intermittent ; 0,05 s'il y a un graissage continu ou sous pression et à 0,01 à 0,003 s'il y a roulement à billes.

La résistance de l'eau opposée au mouvement de translation d'un



plan à vitesse v est :

$$k \approx \frac{v^2}{2g} = 56 v^2 \text{ env.}$$

Dans le cas d'un mouvement de rotation angulaire ω d'une porte de hauteur h et de largeur l , la résistance est

$$F = h \int_0^l 56 \omega^2 x^2 dx = 56 h \omega^2 \frac{l^3}{3}$$

son moment est $56 h \int_0^l \omega^2 x^3 dx = 56 h \omega^2 \frac{l^4}{4} = F' x_0$

donc $x_0 = \frac{3}{4} l$

Le mouvement de la porte provoque un léger relèvement D du plan d'eau devant elle. Il en résulte une résistance supplémentaire.

$$F'' = \omega l D (h + \frac{D}{2}), \text{ son bras de levier est } \frac{l}{2}$$

En appelant S la surface de la porte et en admettant que ces actions s'exercent sur toute cette surface, en appelant en outre v la vitesse moyenne du centre de la porte ; $\omega = \frac{2v}{l}$

le moment résistant dû à l'eau est :

$$M_e = 56 S \times \frac{4v^2}{3} \times \frac{3}{4} l + \omega S D \frac{l}{2} = \frac{dS}{H} (224v^2 + 2\omega D)$$

Le moment résultant est $M_x = M_e + M_c + M_p$

On pourrait y ajouter le moment résistant d'inertie au démarrage

$$M_x = I \frac{dv}{dt} = \frac{2I}{l} \frac{dv}{dt}$$

On peut admettre approximativement $I = \frac{P}{g} \left[\frac{l^2}{4} + \frac{l^2}{12} \right] = \frac{Pl^2}{3g}$

On constate que de tous ces termes, c'est celui provenant de la surélévation D du plan d'eau qui est de loin le plus important, si l'on considère une valeur de quelques centimètres seulement.

Or, la valeur de D est inconnue a priori ; elle peut être sensible si l'ouverture des portes est commencée avant égalisation complète des deux niveaux, donc au commencement de la manoeuvre et aussi à la fin de la manoeuvre. Lorsque la porte pénètre dans son enclave, dont l'eau est refoulée avec peine.

Il faut donc donner une surprofondeur à l'écrou et une entrée évasée, pour faciliter le refoulement de l'eau.

En période normale d'ouverture, η dépend de la vitesse et on peut admettre qu'il est proportionnel à v^2 . Il n'y a pas un énorme intérêt à ouvrir à grande vitesse, le temps gagné est faible et à vrai dire l'ouverture lente ne donne guère de perte de temps, le bateau se préparant à entrer ou s'amarrant. On mesure une durée de 30 à 60" pour un vantail.

Les moments des autres actions sont d'importance à peu près équivalente. On pourrait, pour l'étude des mécanismes, s'en tenir à

$$M = k \left[\frac{224 l S v^2}{H} + f_c H r_c + M_p + \frac{2I}{l} \frac{dv}{dt} \right]$$

k étant un coefficient de majoration, égal à 4 par exemple qui permettrait une valeur maximum de η telle que $\frac{dS \omega \eta}{2} = \frac{k+1}{k} M$

Dans le cas de portes équilibrées, il faut tenir compte des valeurs réduites de H et de V . Dans les portes à secteur équilibrées, donc comportant 2 parois diamétrales et une paroi cylindrique, il faut tenir compte de la pression de l'eau, dont la résultante est toujours axiale et donne lieu à des frottements supplémentaires sur le pivot et le collier.

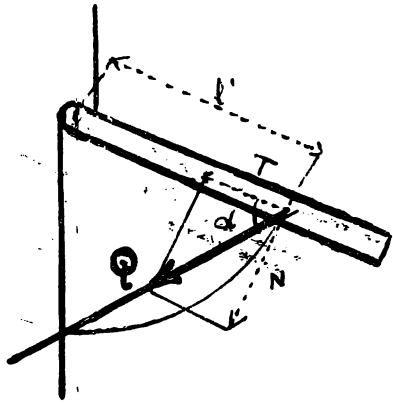
§ 2) Manoeuvre par barres ou chaînes

Ces dispositifs de manoeuvre emploient des barres ou chaînes attachées en 1 point de la porte. Le point d'attache est nécessairement au dessus du niveau amont; il en résulte un moment de torsion dans le plan vertical perpendiculaire à la porte, la résistance de l'eau étant appliquée à mi-hauteur de la section immergée. En outre, la résistance due à la surélévation du plan d'eau supposée uniforme agit suivant l'axe médian vertical de la porte, l'action du choc de l'eau aux $3/4$ de la largeur.

Le point d'attache doit donc être entre le milieu et les $3/4$, il existe donc aussi des moments de flexion horizontaux. Ces moments tendent à vriller la porte.

L'attache au poteau lorsque est défectueuse, elle s'emploie parfois aux petites portes pour augmenter le bras de levier. Soit l' la distance d'attache à l'axe de rotation, l'effort normal est $N = \frac{M}{l'}$

Si

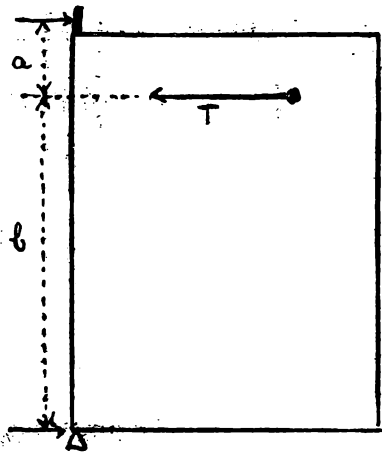


Si la barre ou chaîne est oblique et fait un angle α avec le plan de la porte, l'effort Q à exercer est $Q = \frac{N}{\sin \alpha} = \frac{M}{l' \sin \alpha}$

En cas d'ouverture, il existe un effort de compression dans la porte T

$$T = Q \cos \alpha = \frac{M}{l'} \cotg \alpha$$

Il en résulte une augmentation de la poussée H sur le pivot égale à $\frac{T a}{a+b}$ et réduction de la traction sur le collier égale à $\frac{T b}{a+b}$



En cas de fermeture, T est une traction et la traction du collier se trouve augmentée. Il y a donc intérêt à conserver α aussi voisin que possible de $\frac{\pi}{2}$

La barre ou la chaîne passent toujours par un point fixe : pignon ou tambour d'attaque ou partie de renvoi. En position

fermée de la porte, le point d'attache se trouve toujours sensiblement en regard de ce point fixe. Il y a avantage à éloigner un peu d'avantage le point fixe de l'axe de rotation et du parement du baguette de manière à obtenir $\alpha = 90^\circ$ pour une position de la porte, sinon moyenne, en tous cas avant l'ouverture complète. Étant données les valeurs causantes de l'angle de basculement, le minimum est généralement voisin de 60° , donc

$$Q_{\max} = \frac{2N}{\sqrt{3}} = 1,15 N \quad \text{et} \quad T = \frac{Q}{2} = 0,575 N$$

L'effort Q ne varie donc pas beaucoup, mais T davantage et peut être assez voisin de N .

Une vitesse constante de rotation exigerait une vitesse variable de la barre, difficile à réaliser. On doit donc considérer plutôt en régime que la vitesse de translation V de la barre est constante. La puissance instantanée est

$$Q V = \frac{M V}{l' \sin \alpha}$$

La vitesse instantanée de rotation est donc $\frac{V}{l' \sin \alpha}$ et varie donc aussi de $\frac{V}{l'}$ à $1,15 \frac{V}{l'}$, en supposant que le matériau soit assez puissant pour subir sans diminution de vitesse de telles variations de puissance ; ce qui est le cas des moteurs électriques. On peut donc faire d'une manière très simple une étude cinématique et dynamique, en observant toutefois que M augmente lorsque la vitesse angulaire augmente.

Lorsque la manoeuvre s'effectue par une barre droite rigide, l'étude de cinématique doit établir la trajectoire de l'extrémité de la barre afin qu'elle soit dégagée de tout obstacle.

En employant une barre courbée en arc de cercle, dont le centre correspond à l'axe de rotation, on peut réaliser la constance de $Q = N$ et de la vitesse de rotation de la porte, mais ce faible avantage entraîne l'inconvénient de la fatigue par flexion de la barre, qui doit donc être très rigide et lourde. Le système était anciennement employé aux portes basquées des petites écluses et consistait en une chaînette pleine, circulaire, attaquée par un pignon. Le système est abandonné.

On peut réaliser le dispositif de la barre droite au moyen d'une chaîne aux deux extrémités de laquelle s'attache un câble enroulé autour d'un tambour ou tambour de treuil. Le dévidement du câble dans l'un ou l'autre sens réalise les deux manoeuvres de la porte. Le système convient pour les écluses à manoeuvre peu fréquente ou les dispositifs de fortune. Généralement on emploie la chaînette droite attaquée par un pignon à axe vertical mû par un cric, soit à manivelle verticale, encastré dans le terre-plein dans une boîte étanche, soit par une borne de manoeuvre à

manivelle, avec renvoi à vis ou pignons uniques. Le dernier dispositif a l'inconvénient d'encombrer le terre-plein. On préfère généralement le 1^{er} qui, pour de lourdes portes, permet aussi une disposition favorable des appareils de manoeuvre électrique. La crémaillère se monte dans une chambre de dimensions convenables, pratiquées dans le terre-plein et couverte de tiges en tôle ou fonte striée. Pour éviter la flexion de la crémaillère, on dispose des galets de support sur le fond de la chambre ou bien on munit l'extrémité de la crémaillère d'un galet roulant sur le fond. Pour assurer la prise, un ou deux galets sous montés dans une cage pivotant autour de l'axe du pignon, appliquent la crémaillère contre le pignon.

Système de Schryver : les galets sont supprimés et remplacés par une glissière pivotante.

Système Lamberton : le galet est fixe. La crémaillère est formée de broches fixées dans les ailes d'un fer U qui ne sont pas alignées mais disposées suivant une courbe tracée de telle sorte que la crémaillère soit toujours en prise.

Pour éviter les effets dynamiques, on interpose entre la barre et la porte, au point d'attache, un fort ressort qui assure une application progressive de la charge et peut servir d'amortisseur au fin de course. Les grandes portes sont munies en outre de butoirs, qui viennent heurter à fin de course des heurtails à ressorts ou à freins hydro-pneumatiques à glycérine. Les appareils de manoeuvre électriques ont d'ailleurs des interrupteurs automatiques de fin de course. Les principes de dispositions mécaniques et électriques et leur calcul sont analogues à ceux qui ont été exposés pour les barrages.

La manoeuvre par chaîne ou câble présente l'inconvénient d'exiger des brins différents pour l'ouverture et la fermeture, puisqu'ils ne peuvent travailler que par traction. Le brin pour la fermeture doit nécessairement être manoeuvré du bafoyor opposé au tourillon donc, en position ouverte, des brins de fermeture obstruent le sas ou le canal de fuite. La disposition au dessus du terre-plein ne peut être employée qu'à la tête aval en cas de chute assez forte.

Elle exige une longueur assez grande des bagues de frotte. A Bordeaux on a préféré ces inconvénients en faisant descendre les chaînes sur le fond au moyen de puits verticaux dans les bajoyers et de parties de renvoi.

Cette disposition augmente la longueur et la résistance des chaînes, qui sont soumises aux actions de l'eau et de la vase. On emploie généralement une chaîne sans fin pour les 2 portes, elle est tendue par des poids. Cette disposition peut recevoir la manoeuvre électrique; elle a été réalisée surtout avec la manoeuvre hydraulique. Le système est pratiquement abandonné, il peut présenter de l'intérêt comme manoeuvre provisoire ou pour des écluses ne servant pas à la navigation.

§ 3) Manoeuvre par levier ou secteur.

La forme la plus simple de cette manoeuvre, réalisée parfois dans les vieilles portes en bois, consiste à prolonger au dessus du terre-plein une poutrelle rigide solidaire de la porte. On exerce à l'extrémité de cette poutrelle, à bras d'homme, un effort qui provoque l'ouverture de la porte. On peut rendre cette disposition mécanique et applicable à des portes plus lourdes, par exemple en montant sur l'extrémité de la poutrelle un pignon attaquant une crémaillère circulaire fixe (comme dans les ponts tournants) ou en munissant la porte d'un secteur denté attaqué par un pignon fixe. Le dernier système paraît plus approprié. Le secteur peut être rendu rigide et ne présente pas les inconvénients de la crémaillère circulaire du cas précédent. Cette manoeuvre convient bien pour les portes peu larges et a l'avantage d'une grande constance du moment et de la vitesse.

§ 4) Manoeuvre par bobine.

Le système de manoeuvre est assez en faveur, surtout pour les grandes portes, depuis son application aux écluses du canal de Panama.

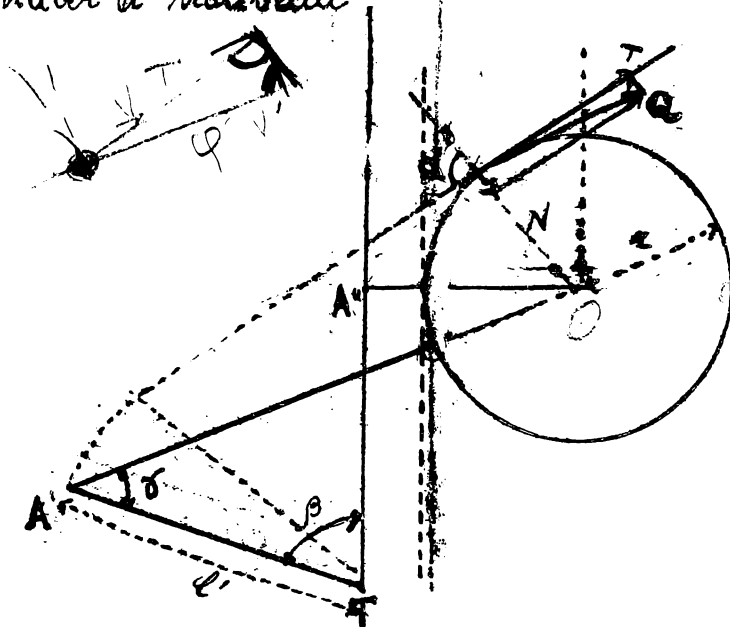
Elle réalise au moyen d'un moteur à couple et vitesse constants, un effort d'ouverture variable et une vitesse variable; l'effort

étant maximum à l'ouverture et à la fermeture et les vitesses étant nulles ou très faibles à ces instants. A cet effet, une bielle est articulée à une extrémité à la porte, et l'autre à la périphérie d'une grande couronne dentée, d'un diamètre tel que la manoeuvre complète de la porte corresponde à environ un demi-tour de la couronne. Dans chacune des positions extrêmes, la bielle a une direction presque diamétrale par rapport à la couronne. La couronne est attaquée par un pignon à vitesse et moment constants. C'est en somme un mécanisme à manivelle et bielle de grande obliquité, la manivelle étant motrice, ce qui supprime les points morts. L'effort tangentiel à la couronne est T la vitesse périphérique étant V , l'effort de traction exercé sur la bielle est

$$Q = \frac{T}{\sin \alpha}$$

La vitesse de translation de la bielle est $V' = V \sin \alpha$

Bien que α varie de 0 à π en passant par $\pi/2$, Q est d'abord très grand ($\equiv \infty$), décroît, passe par un minimum égal à T et croît ensuite de nouveau vers l' ∞ . En même temps, V' d'abord nul, croît et passe par un maximum égal à V puis décroît pour s'annuler à nouveau.



Si l' est la distance du point d'attache à l'axe de la porte et β l'angle dont la porte doit tourner (environ 70°) on détermine le rayon r de la couronne et la longueur l de la bielle comme suit et l'effort étant maximum à l'ouverture, en fin de course il est favorable que la bielle soit perpendiculaire au vantail et que la vitesse

soit nulle, donc la perpendiculaire menée au vantail en fonction d'ouverture et passant par le point d'attache est un lieu du centre O . La distance du centre au point d'attache A'' est $L - r$. Si en position d'ouverture, le prolongement de la bielle est un diamètre, la distance du centre au point d'attache A' est $L + r$.

Cette bielle fait avec le vantail un angle δ qui peut varier de $\frac{\pi}{2} - \beta$, lorsque O est en A'' à $\frac{\pi}{2} - \beta$ lorsque O est à l'infini, mais pratiquement, O ne peut être en A'' et sa plus petite distance de A'' est définie par la condition

$$L - r > r \quad \text{ou} \quad L - r > \frac{L+r}{3} \quad \text{donc} \quad A''O > \frac{1}{3} A'O$$

Le point O' qui satisfait à la condition $L - r = r$ ou $r = \frac{L}{2}$ est celui qui donne à la fois la plus petite valeur de r et de L .

L'angle δ satisfait alors à la relation

$$\sin(\beta + \delta) - \sin \delta = \frac{1 - \cos \beta}{3}$$

équation en δ qui peut se transformer en une équation du 2^e degré en $\text{tg} \delta$. C'est la valeur maximum pratique de δ , dont il faut se rapprocher autant que possible pour réduire r et L , donc l'encombrement, ainsi que d'obliquité de la bielle sur le vantail. r et L sont d'ailleurs proportionnels à l' , dans un rapport qui ne dépend que de β et δ .

On a

$$\frac{L+r}{L-r} = \frac{1 - \cos \beta}{\sin(\beta + \delta) - \sin \delta} < 3$$

et

$$L - r = l' \frac{\sin(\beta + \delta) - \sin \delta}{\cos(\beta + \delta)}$$

ce qui détermine L et r , ainsi que la distance

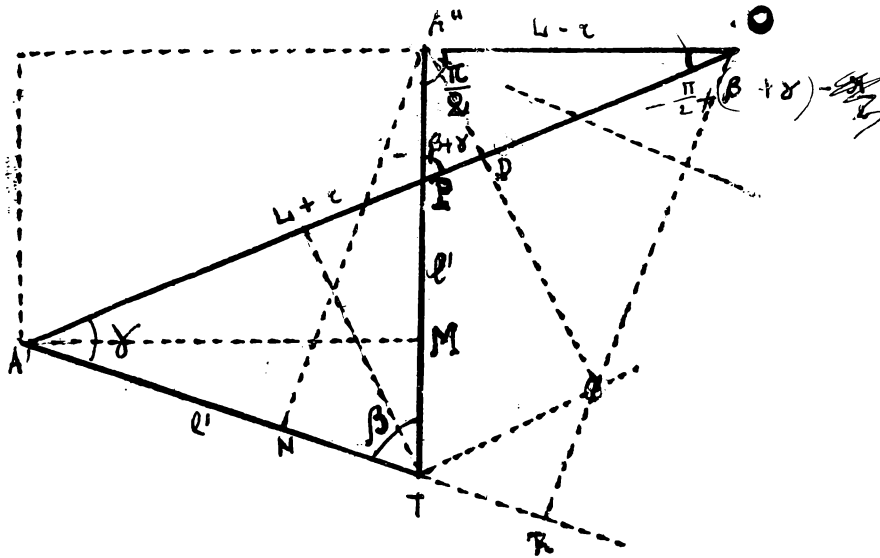
$$OT = \sqrt{(L+r)^2 \sin^2 \delta + [(L+r) \cos \delta - l']^2}$$

Démonstration des formules précédentes

$$l' \sin(\beta + \delta) - l' \sin \delta = A''D = (L - r) \cos(\beta + \delta)$$

$$L - r = l' \frac{\sin(\beta + \delta) - \sin \delta}{\cos(\beta + \delta)}$$

$$A'M = A''N = l' \sin \beta$$



$$OR = (L + c) \sin \gamma = l' \sin \beta + (L - c) \cos \beta = A'M + (L - c) \cos \beta$$

$$= (L + c) \sin (\beta + \gamma) - (L - c) + (L + c) \cos \beta$$

$$\text{donc } (L + c) [\sin (\beta + \gamma) - \sin \gamma] = (L - c)(1 - \cos \beta)$$

$$\frac{L + c}{L - c} = \frac{1 - \cos \beta}{(\sin \beta + \gamma) - \sin \gamma} < 3$$

$$OT' = \sqrt{(L + c)^2 \sin^2 \gamma + [(L + c) \cos \gamma - l']^2}$$

Lorsque $\alpha = \frac{L}{2}$, on a

$$\sin (\beta + \gamma) - \sin \gamma = \frac{1 - \cos \beta}{3}$$

$$\sin \beta \cos \gamma + \sin \gamma \cos \beta - \sin \gamma = \frac{1 - \cos \beta}{3}$$

$$\sin \beta \cos \gamma - \sin \gamma (1 - \cos \beta) = \frac{1 - \cos \beta}{3}$$

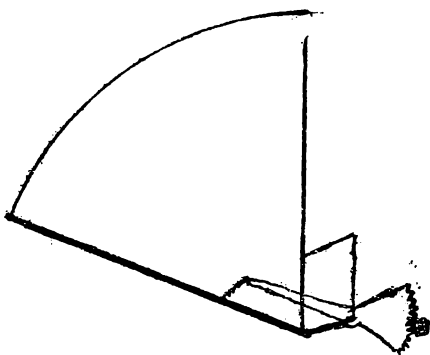
$$\sin \beta - \operatorname{tg} \gamma (1 - \cos \beta) = \frac{1 - \cos \beta}{3} \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma}$$

$$\text{et comme } \begin{cases} \sin \gamma = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}} \\ \cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}} \end{cases}$$

Pour la réduction de l'effort dans les bûches et pour éviter des actions défavorables pour le vantail, il faut que l' soit compris entre 0,5 et 0,75 l (longueur du vantail). Mais ces dimensions donnent lieu

généralement à un encombrement trop grand de la couronne dentée. Il n'est, en effet, pas permis de réduire α en dessous de la valeur trouvée sans diminuer β . Une augmentation de α par contre réduit la rotation totale de la couronne dentée, les 2 positions extrêmes de la bielle ne sont plus diamétrales. Il faut donc plutôt, ayant choisis les valeurs de β et de δ de telle sorte que $\frac{L + r}{L - r} \leq 3$ (de 1,5 à 2 pratiquement) donner à α la valeur maximum compatible avec l'encombrement admissible et en déduire l' . On procède ensuite à une étude cinématique et dynamique pour vérifier si la solution est acceptable. La bielle doit être assemblée à la porte par un fort ressort amortisseur.

l' peut être négatif, c'est à dire que l'attache de la bielle peut se faire à un bras solidaire de la porte, à l'opposé du tambour. La fatigue de la porte est maximum.



La couronne dentée est placée dans une chambre couverte pratiquée dans le bazo elle doit être autant que possible à l'abri de l'eau et de la neige. Le pignon d'attaque est commandé, par l'intermédiaire d'un réducteur de vitesse, par un moteur électrique bien protégé.

Un dispositif semblable, mais beaucoup moins avantageux comporte un secteur denté solidaire d'un bras de manivelle de rayon égal à l' . Une bielle courbe à ressort réunit la tête du bras à la porte. Cette bielle n'occupe jamais la position diamétrale, mais fait avec le bras comme avec le vantail, qui sont parallèles, un angle voisin de $\frac{\pi}{2}$ en position d'ouverture. Cet angle est variable, mais, par suite du parallélogramme articulé, l'effort normal est constant, ainsi que la vitesse. Ce n'est en somme qu'un perfectionnement du dispositif simple à secteur, et rend l'axe du secteur indépendant de la porte et interpose un élément élastique entre la porte et les mécanismes, mais les parties les plus importantes du mécanisme à bielle et manivelle ne sont pas utilisées.

Manoeuvre hydraulique

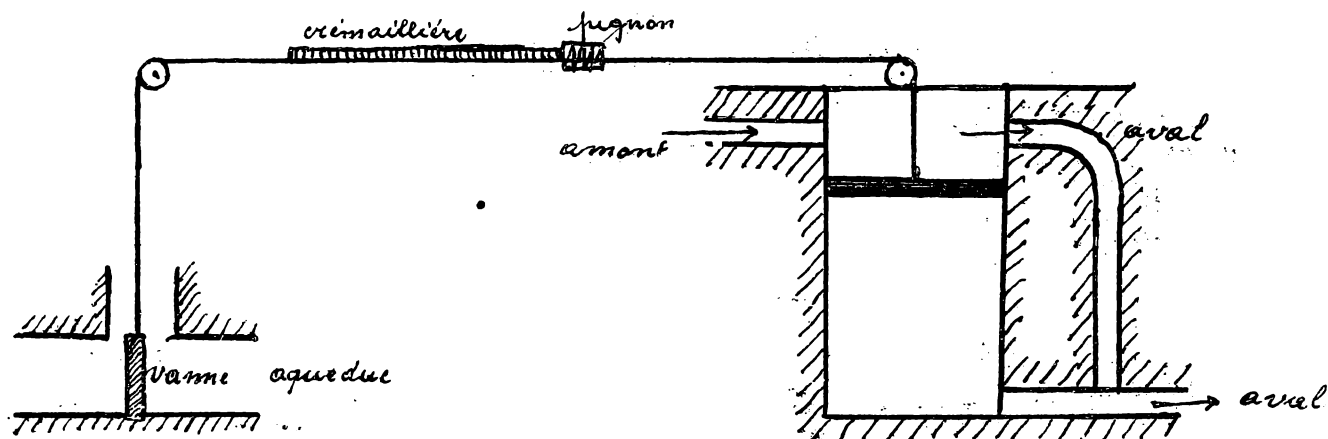
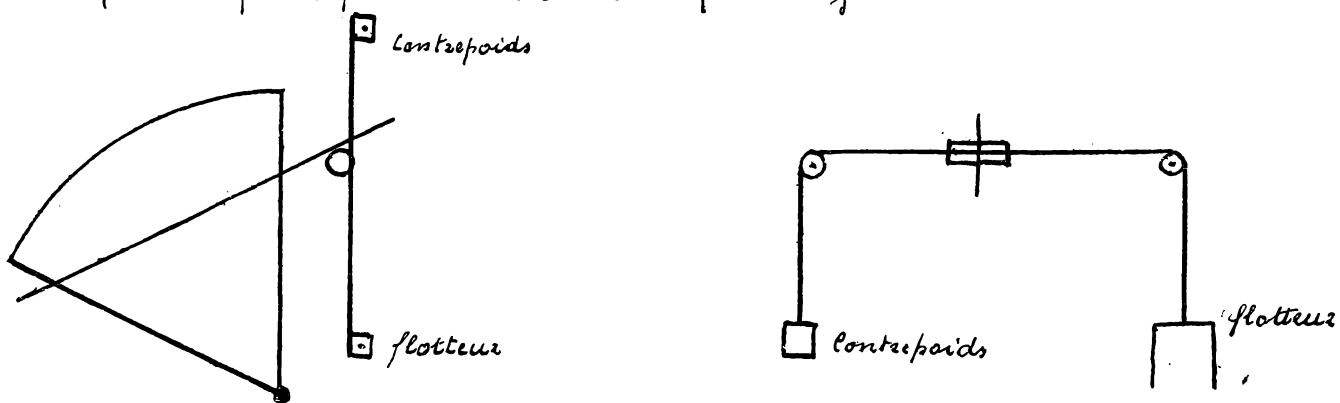
Il est assez naturel de songer à utiliser la puissance de la chute de l'écluse pour des manoeuvres, mais la faible hauteur de chute rend peu avantageux son emploi direct. Aussi entend-on le plus souvent par manoeuvre hydraulique la manoeuvre au moyen d'eau sous pression fournie par une distribution ou des pompes, et comportant éventuellement une usine élévatoire avec accumulateur. Le fluide moteur est généralement utilisé dans des verins à double effet, qui peuvent être réunis par bielle directement à la porte ou à un levier solidaire de la porte, ou bien mouvoir la chaîne sans fin de manoeuvre. La tige du verin peut aussi s'articuler directement à la porte ou au levier, sans bielle, le verin étant pivotant. Les systèmes sont généralement abandonnés, à cause des inconvénients connus de l'eau sous pression pour la transmission d'énergie, accessoire ce cas de la difficulté de transport de cette énergie d'un bajezot à l'autre.

Plus intéressants, en principe, sont les systèmes qui utilisent l'énergie de la chute. Elle Gottop complète la manoeuvre hydraulique du sasement par siphons des écluses qui portent son nom par une manoeuvre hydro-pneumatique des portes. L'air comprimé est produit par un compresseur à eau, sorte de pompe aspirant de l'air et le comprimant par l'énergie de la chute.

Cet air comprimé assure la manoeuvre des portes à rabattement de la tête amont de la manière que nous avons indiquée. La manoeuvre des portes basquées d'aval est assurée par une barre traînante, dont le pignon est relié par câble à un flotteur à cloche, qui tend à tenir la porte ouverte et, d'autre part, à un contrepoids agissant en sens inverse avec un poids moindre.

Dès que les niveaux amont et aval sont équilibrés, la porte s'ouvre toute seule sous l'effet prépondérant du flotteur. Pour fermer, on admet de l'air comprimé sous la cloche qui se soulève, le contrepoids s'emporte et ferme la porte.

. Après remplissage du sas, on laisse échapper l'air comprimé de la cloche, le dispositif est de nouveau prêt à fonctionner.



Le rendement est évidemment faible, de même que dans le système Nyholm où la force motrice est obtenue par l'action de la pression d'amont sur des plateaux horizontaux formant pistons dans des fuits dont le fond est en relation avec l'aval. Le mouvement de ces plateaux est transmis par chaînes à des fignon qui commandent les vannes et les portes. Une même chaîne peut commander les vannes et les portes, de telle sorte que leur manœuvre soit successive. Il est nécessaire alors de faire varier très progressivement le niveau du plateau en réglant le débit préalable en amont. La fermeture s'opère automatiquement par le poids des vannes, en mettant le dessus du plateau en communication avec l'aval, ce qui supprime la profondeur d'action des plateaux.

Les portes se ferment d'abord, puis les vannes.

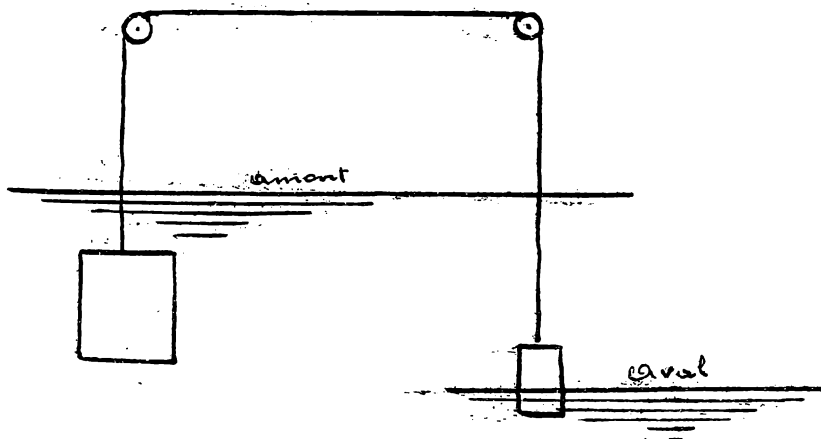
La méthode la plus moderne consiste à faire fonctionner une petite

. turbine par la chute de l'écluse, l'énergie est transformée en air comprimé, eau sous pression ou principalement en électricité

Le système convient particulièrement en rivière, parce que l'énergie hydraulique est gratuite et qu'il n'existe pas toujours de réseau public ou privé aux environs. Dans les canaux, l'eau consommée doit être restituée par l'alimentation et est donc coûteuse. D'autre part, ces voies navigables sont généralement établies dans des régions industrielles et il est alors plus simple de se raccorder à un réseau de distribution électrique. Un système particulier mérite cependant quelque attention à cause de sa simplicité pratique et de son efficacité, c'est celui des plongeurs différentiels. Il comporte deux cylindres pesants immergés dans des puits et réunis par un câble passant sur des poulies. Le plus lourd est toujours dans le niveau d'amont, le plus léger peut être immergé dans l'un ou l'autre niveau. Son action, inférieure dans le cas du niveau amont, l'emporte dans le cas du niveau aval. Il faut que l'effort différentiel

composé soit le même dans chaque cas, les sens étant opposés.

Les poids et volumes doivent être tels que cet effort différentiel soit égal à celui à exercer pour l'ouverture d'une porte ou d'une vanne etc. La manoeuvre se commande donc par une petite vanne mettant le



puits d'un des contrepois alternativement en relation avec l'amont et l'aval

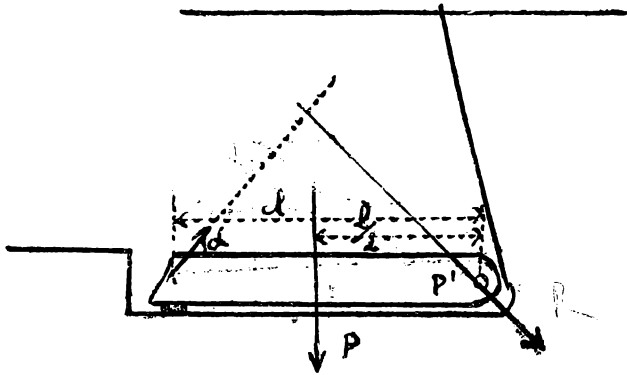
§ 6) Portes levantes, à segment et à cylindre

Les efforts et les dispositifs de manoeuvre ont été étudiés dans le cours de barrages auquel je me réfère. Il faut distinguer entre les cas où le levage se fait sous pression ou après équilibrage des niveaux.

§ 6) Portes à rabattement

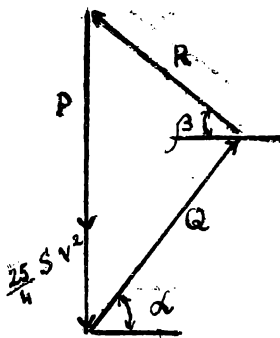
Le moment résistant est maximum au début de la fermeture de la porte et égal à

$$M_r = P \frac{l}{2} + 56 S v^2 l + \frac{f r \left(\frac{P}{2} + \frac{75}{4} S v^2 \right)}{\sin \beta}$$



- P étant le poids
 - l la hauteur
 - S la surface
 - r le rayon de l'axe
 - f le coefficient de frottement dans les coussinets
- de la porte
- (0,3 fer sur fer, non graissé)
(0,7 bois sur pierre)

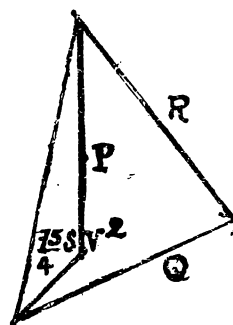
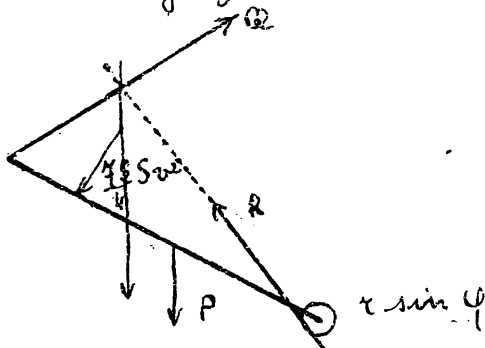
v la vitesse moyenne de la porte
β l'angle que fait la résultante totale sur l'axe avec la porte en position ouverte horizontale.



ouverture se fait en exerçant un effort de traction par une chaîne faisant l'angle α avec le panneau, on a $Q l \sin \alpha = M_r$

On peut déterminer les efforts et notamment l'angle β par la grapho-statique.

On détermine la résultante de P et de $\frac{75}{4} S v^2$, et le point de rencontre de cette résultante et de Q. Par ce point, on mène une tangente au cercle de rayon r sin φ, c'est l'alignement de R, qui détermine l'angle β.



Cette méthode est plus simple que les formules directes lorsqu'on veut étudier les effets de levage à différents stades de la manœuvre.

Il n'y a pas à tenir compte de dénivellation de l'eau, sauf peut-être vers la fin de la manœuvre, mais l'effort d'écrasement est alors.

La manœuvre se fait par chaînes ou câbles, ~~mûs~~ par treuils à tam : baux électriques ou à main. Elle peut se faire comme nous l'avons vu par insufflation d'air comprimé dans des capacités étanches (système Klockhoff) Elle peut aussi se faire par plongeurs différentiels, la porte jouant elle-même le rôle de plongeur à niveau constant. Le système est donc particulièrement simple pour les postes à labattement. On peut aussi appliquer le système Hyholm.

§ 85) Sores glissantes et roulantes

La résistance se compose de divers éléments :

1) la résistance au glissement ou au roulement fP .

f étant le coefficient de glissement (fer sur pierre 0,40, bois sur pierre 0,60, fer sur bois 0,65 env.) ou de roulement $f = \frac{\delta + f_1 r}{R}$

δ étant le bras de levier de la résistance

au roulement = 0,5 m/m env. pour fer sur fer

f_1 le coefficient de frottement des axes des roues = 0,28 ou 0,30 env.

r le rayon des axes

R le rayon des roues

2) la résistance de l'eau $56 S v^2 + \omega S \eta$

S étant la projection verticale normale à la porte de la paroi de fond.

v la vitesse de translation

η la dénivellation en avant de la paroi de fond

En fait, ce terme est très douteux si la porte n'est pas complètement ouverte jusqu'au dessus de l'eau et un double bordage comme un navire. Si il n'y a pas double bordage, le terme $\omega S \eta$ semblerait pouvoir être conservé, d'autant plus que η est généralement petit aux vitesses admises (0,20 m/sec); mais dans le premier terme, il faut

écrite $56 \approx 5v^2$ et considérer toutes les surfaces échelonnées d'avant en arrière susceptibles de subir chacune le choc de l'eau.

3°) les actions d'inertie au début de la manoeuvre, qui sont les plus considérables, mais s'annulent rapidement.

4°) les résistances accidentelles dues aux frottements des guidages latéraux etc. Elles peuvent devenir considérables par suite des effets du vent, des courants, des vagues etc.

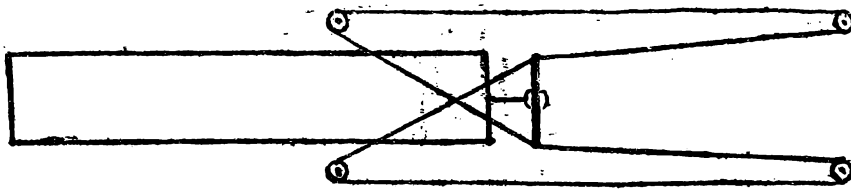
Les formules ne peuvent donc pas donner de résultats très sûrs; il faudrait leur appliquer des coefficients de majoration assez élevés de 1,5 à 2 d'après Brunneck. Le plus certain serait de procéder à des essais sur modèles. Les observations faites sur les portes construites montrent la grande importance des circonstances accidentelles; vent, courant etc, notamment vers la fin de la fermeture, à cause de la grande surface exposée.

Pendant l'ouverture, l'effort moyen est légèrement supérieur, à cause de la résistance plus grande du refoulement de l'eau dans la chambre. Au point de vue de la manoeuvre, il y a intérêt à avoir une chambre assez spacieuse, elle permet alors aussi comme nous l'avons vu, le radoubage en cale sèche et une entrée et sortie plus faciles des portes.

La manoeuvre la plus habituelle se fait par chaînes sans fin agissant des deux côtés de la porte par un balancier, pour équilibrer les efforts et permettre les petites déviations. L'attache doit d'ailleurs être élastique. En fin de course il faut des heurtoirs. Les chaînes sont mues par des treuils électriques. Pour produire les grands efforts nécessaires au démarrage, on établit parfois aux deux extrémités des chambres, de forts verins hydrauliques qui servent surtout en cas d'adhérence des portes par temps de gel etc. Les verins peuvent servir en même temps de heurtoirs.

À Wilhelmshaven, on a réalisé la manoeuvre d'une porte par une surélévation ou une dépression de l'eau, dans la chambre, par le moyen d'une pompe. La porte fonctionne donc comme un piston.

'ten refoulé' ou aspiré.



Il n'y a pas de dispositifs spéciaux d'étanchéité, l'eau fuit sur les côtés et surtout par dessous en assurant une bonne chasse de fond. Il suffit d'une différence de niveau de 30 à 90 cm. Le débit est de 2 à 4 m³/s. Ce système a l'inconvénient que le mouvement est peu commandé et peut donc être irrégulier; il supprime évidemment les mécanismes compliqués; Mais ceux-ci présentent tout de même plus de sécurité et sont actuellement construits avec une très grande perfection.

Chapitre V

Dispositifs spéciaux pour fortes chutes.

§ 15 Ecluses pour fortes chutes

Nous avons déjà indiqué précédemment que les écluses sont allées en croissant au cours des dernières décades. Les écluses à pas se sont révélées capables de convenir pour des chutes multiples de celles des anciens ouvrages: 20 m et au delà. Les chutes importantes demandent évidemment des dispositions spéciales.

Le principal inconvénient de ces écluses est la forte consommation d'eau; il faut donc des bassins d'épargne. Une solution ingénieuse et économique a été trouvée en ménageant ces bassins

d'épargne dans les bajoyers de part et d'autre de l'écluse. Les bajoyers sont donc de vastes corps creux en maçonnerie, ou de préférence, en béton armé, divisés en étages qui forment les capacités des bassins d'épargne, disposés symétriquement.

Ces bajoyers présentent, à cause de leur largeur, une grande stabilité. Le système a été proposé pour la première fois par M. J. Wilhelm, de Paris, dans un concours pour un ascenseur de bateau à Greven. Il a reçu une application remarquable dans l'écluse de Minden, reliant le canal du Rhin à Hanovre au Weser. La chute varie de 7 à 15 m. env. L'économie d'eau, réalisée par 4 bassins d'épargne atteint 71,7 % pour la moyenne forte chute.

À la base des bajoyers, il y a 2 aqueducs longitudinaux qui communiquent avec le sas par des lances; ils débouchent dans les biefs d'amont et d'aval avec obturation par vannes à segments et ils sont en communication avec les bassins d'épargne, dans chaque bajoyer, par deux puits verticaux reliant toutes les chambres et pouvant être mis en relation avec chacune d'elles par des vannes cylindriques brèves. L'étude du sassement, afin d'avoir une opération à la fois aussi rapide et calme que possible, demande des études spéciales très détaillées, de préférence sur modèles à échelle réduite.

La stabilité des maçonneries ne présente pas de difficulté, par suite des grands empattements. S'il n'y a pas de bassins d'épargne dans les bajoyers, il est favorable de conserver une grande épaisseur et des encadrements. On pourrait aussi, selon la proposition de M. Galliot, arc-bouter les bajoyers au sommet, bien que cette solution ne convienne guère que pour le béton armé.

Le danger des infiltrations est réduit par les grandes étendues des joints; en tous cas, il est moindre dans une écluse que dans un ascenseur de même chute. La cuvette du bief amont cause abondamment d'un ouvrage à forte chute doit nécessairement recevoir des échafaudements très parfaits. Les sous-pressions sous le radier devraient être élevées, il est donc préférable d'adapter un radier mince

non étanche. D'ailleurs, étant donné la hauteur et l'empiètement des murs de radier ne pourrait contribuer à leur stabilité qu'en recevant une épaisseur très considérable.

Ces écluses sont nécessairement à mur de chute et le sas a donc l'aspect d'un fruit. La fermeture de la tête amont est ordinaire, celle de la tête aval se caractérise par une hauteur considérable. La solution la meilleure consiste dans la fermeture de la tête aval par un masque fixe réservant à la base un pertuis de sortie de hauteur suffisante, fermé par une porte verticale levante, qui peut appuyer sur les 4 bords.

On a aussi combiné le masque fixe avec des portes tournantes à 4 vantaux (canal St Denis) et avec les portes non brusquées à deux vantaux (écluse de Bourg-le-Comte, Canal de Roanne à Dijon)

§ 2) Échelles d'écluses

Pour franchir les très fortes chutes, on peut établir, à courte distance l'une de l'autre, des écluses à moyenne ou petite chute, formant une échelle d'écluses. Le système a l'avantage de la sécurité du fonctionnement. Ses inconvénients sont le prix élevé des multiples écluses et la grande durée d'éclusage total. Une difficulté particulière consiste dans la régulation des biefs courts (200 à 300 m). Il faut leur donner une surlargeur et une surprofondeur si possible établir des dispositifs régulateurs et régler la circulation et les manœuvres de telle sorte que les sassements des écluses successives se combinent aussi avantageusement que possible, ce qui pourrait se réaliser sur un voie d'eau à grand trafic par un poste de commandement central, dirigeant téléphoniquement de manière à cause de la grande consommation, les écluses reçoivent des bassins d'épargne.

§ Dispositifs à sas mobiles.

Les écluses à sas présentent le désavantage que la durée d'éclusage la consommation et le prix de l'ouvrage augmentent considérablement.

vient lorsque la chute devient élevée. On a cherché, pour les grands des hauteurs de chute, des dispositifs qui soient moins dépendants sous ce rapport, de la hauteur. C'est ce qui a conduit aux dispositifs à sas mobiles, qui comportent un sas étanche ayant les dimensions strictement nécessaires pour les plus grands bateaux qui peuvent y avoir accès, notamment en manivage. Ce sas est muni aux deux extrémités de portes qui permettent de le mettre respectivement en communication avec les biefs d'amont et d'aval ou de l'isoler complètement. Dans cette dernière situation, le sas peut se déplacer entre les biefs, soit verticalement dans des ascenseurs, soit obliquement dans les plans inclinés. Les extrémités des biefs sont aussi munies de portes.

Les avantages du dispositif sont :

- 1) la consommation d'eau presque nulle
- 2) la possibilité de chutes très grandes.
- 3) la durée totale de manœuvre beaucoup moindre que dans les écluses, au delà d'une certaine hauteur
- 4) le prix de construction moindre, à partir d'une certaine hauteur
- 5) le transport des bateaux flottants, donc dans leurs conditions habituelles et la constance du poids à soulever, qui en est la conséquence.

Certains de ces points sont plutôt théoriques.

Les inconvénients certains du système sont :

1°) le poids très élevé de la partie mobile, qui est un multiple de celui du bateau. On compte que le poids du sas et de l'eau pendant celui du bateau. Dans les plans inclinés, le poids des trucs et supports double celui du sas chargé.

2°) la mobilité de la masse d'eau du sas.

Cette mobilité peut donner lieu à des mouvements désordonnés de l'eau et du bateau, pendant le déplacement du sas, surtout dans les plans inclinés, à cause du déplacement horizontal. Il faut donc amarrer très solidement les bateaux, qui eurent néanmoins le risque d'être soumis à des efforts exceptionnels.

. Mais surtout les déplacements en masse de l'eau sont dangereux pour l'équilibre du sas. Aussi les plans inclinés doivent-ils fonctionner avec des vitesses si faibles, surtout s'ils sont longitudinaux, que l'avantage de la réduction de durée est illusoire.

Néanmoins, des mouvements accidentels de l'eau dans le sas, des défauts de guidage, les effets du vent peuvent toujours exercer des efforts latéraux ou longitudinaux importants, surtout dans les ascenseurs. Le moindre dévers aggrave ces causes par l'inertie de la masse d'eau. Ce point doit donc être particulièrement étudié. Il est la cause de l'insuccès des ascenseurs à flotteurs dont on attendait de bons résultats.

3°) les difficultés de réaliser un point étanche entre le sas mobile et les biefs du fait des dilatations du sas, des mouvements accidentels (notamment dus aux fuites des presses dans les ascenseurs hydrauliques) et de la pression de l'eau sur l'extrémité opposée fermée du sas, qui tend à écarter le sas du bief

4°) le caractère mécanique des installations qui implique un fonctionnement délicat, une surveillance constante, des frais d'entretien et d'exploitation élevés

Tous ces désavantages, dont découlent une grande quantité de difficultés techniques et de points faibles, sont beaucoup plus considérables pour les plans inclinés que pour les ascenseurs. Aussi les plans inclinés n'ont-ils été réalisés que pour de petits bateaux jusqu'à 40 T, sauf un de 125 T, tandis qu'il existe des ascenseurs pour bateaux de 360 à 800 T.

§ 4) Ascenseurs hydrauliques

Ils ont deux sas mobiles parallèles supportés en leurs centres par des pistons plongeurs pénétrant dans des cylindres de presses, de longueurs appropriées, enterrés dans le sol. Les deux cylindres communiquent par le haut et sont remplis d'eau glycerinée. Les poids des 2 sas s'équilibrent par l'intermédiaire de la pression du fluide sur

les pistons. La descente est réalisée par une surcharge d'eau de 10 à 20 cm dans l'un des sas ; le mouvement est ralenti par l'immersion croissante du piston descendant qui réduit son poids. L'arrêt se réalise de la sorte doucement. Mais les niveaux des biefs amont et aval doivent être parfaitement réglés, avec une légère profondeur à l'aval. Les presses doivent être bien étanchées pour éviter les mouvements des sas à fin de course. Le sas en communication avec l'aval vient reposer sur des tiers dans une fosse de forme appropriée ; le niveau des appuis doit être bien réglé.

À fond de course, les sas sont verrouillés aux biefs et aux pylônes. Pour éviter les effets défavorables, aux têtes des presses, des actions latérales ou longitudinales, accidentelles en mouvement, ainsi que des pressions longitudinales dans le sas communiquant avec un bief, il faut un parfait guidage, qui se réalise par de longues règles verticales d'acier coulisant, avec un jeu très faible dans des gorges fixées aux pylônes métalliques de la superstructure. Les guidages sont multiples et se placent de préférence au centre et dans le tiers ou des deux quarts centraux de manière à assurer surtout la verticalité des pistons. Sans ces conditions, on peut admettre une liaison rigide du piston au sas. Certains ingénieurs préconisent une rotule.

Le sas en tôle est fermé généralement par des portes équilibrées. Il est porté par une charpente composée de 2 portes hautes extérieures, en treilles de hauteur variable. Pour réduire la profondeur des f , on dispose la membrure inférieure horizontale, la supérieure en angle obtus.

Les portes sont réunies par des entretoises portant le sas et, au centre par un fort chevêtre en charpente assemblé à la tête du piston.

L'étanchéité du joint entre le sas et les biefs, que l'on fait aussi étroit que possible (quelques centimètres) est assurée par une garniture de caoutchouc ou, de préférence pneumatique ; boudin de cuir ou de caoutchouc gonflé à l'air comprimé ou à l'eau sous pression. Aux ascenseurs du canal du Centre belge, on a ajouté

un dispositif de réglage du joint par coirs.

Toute la construction doit être inébranlable, les puits des presses et les pylones de guidage surtout. Les fondations des presses, à grande profondeur, sont surtout délicates. La disposition intérieure des presses est un point faible de ces ascenseurs. Les presses elles mêmes sont soumises à des pressions très fortes (34 atm. au canal du Centre belge) Pour raison de sécurité, les cylindres et pistons doivent être essayés à une pression très supérieure (265 atm. dans le cas précité). Les pistons des ascenseurs sont généralement composés de rivets de fonte assemblés intérieurement par brides. Les cylindres sont formés de rivets de fonte frettés extérieurement par des anneaux d'acier (C. du centre belge) ou en acier coulé (Canada, canal de Trent).

L'étanchéité des cylindres est réalisée par une chemise de cuivre ou de plomb. On emploie un presse-étoupe ordinaire pas trop long pour éviter les effets de flexion latérale.

Les puits des presses doivent permettre la visite extérieure des cylindres, ils doivent donc être étanches et pouvoir être tenus à sec.

Les ascenseurs ont donné en France, en Belgique et au Canada des résultats satisfaisants. Ils réduisent au minimum les inconvénients des ouvrages à sas mobile. Ils sont robustes et assez sûrs lorsqu'ils sont mis au point. Leurs inconvénients capitaux sont l'interdépendance des sas et le danger d'avarie de presse.

§ 55 Ascenseurs funiculaires

Les deux sas sont réunis par des chaînes passant sur des poulies et s'équilibrent de la sorte, ou bien un sas unique est équilibré par des contrepoids attachés à des chaînes.

Dans le cas des sas conjugués, le mouvement est accéléré, car le poids des chaînes du sas descendant est croissant; il faut des compensateurs, par exemple des chaînes suspendues par le sas et reposant partiellement sur les fonds des fosses.

Il est aussi très difficile d'assurer à la fois le synchronisme et

l'équilibrage. Le mieux est de tendre toutes les chaînes par des contre-poids, qui assurent leur tension fixe; des poulies sont libres, sauf les quatre extrêmes qui reçoivent un mouvement synchronisé par des engrenages. La suspension se fait nécessairement par chaînes Galles:

Le dispositif a été jusqu'à présent peu employé, malgré ses avantages qui ressortent du fait que le premier ascenseur hydraulique qui a servi de modèle à tous les autres, celui d'Anderson (d'Edwin Clark) a été transformé ultérieurement en ascenseur funiculaire.

Cet ascenseur peut être construit à sas indépendants, et donc à sas unique. Il est suspendu par un grand nombre d'éléments peu contraints, le danger et les conséquences d'accident sont moindres. Le guidage peut être plus souple. Par suite de la suspension multiple, le sas mobile est plus léger.

Toute la construction est au dessus du sol et ne comporte pas d'organes exceptionnels et délicats, elle est donc plus économique. Le montage, le réglage et le fonctionnement sont moins délicats que dans l'ascenseur hydraulique, et il ne peut se produire de mouvements à l'état de repos, tels que ceux résultant des fuites des presses.

§ 65 Ascenseurs à flotteurs

Le sas est équilibré par des flotteurs sur lesquels il repose et qui sont toujours immergés dans des fosses communiquant avec l'aval et qui doivent donc être profondes; inconvénient par rapport aux ascenseurs funiculaires. Le sas est guidé verticalement entre des pylônes; son mouvement s'effectue par des vis sans fin fixées aux pylônes et recevant un mouvement de rotation synchronisé. Des crochets fixés au sas transforment ce mouvement de rotation en déplacement vertical du sas. Malgré l'équilibrage, il faut donc une force motrice assez élevée par suite des frottements,

tant pour le levage que pour la descente. Le réglage du synchronisme et de l'égalité de tension des vis est presque impossible. D'autre part, les flotteurs n'assurent pas un guidage à la base comme les pistons plongeurs, les oscillations du sas sont beaucoup plus à craindre à cause de la mobilité des flotteurs.

L'ascenseur d'Henrichenbourg, le seul du genre, a dû être doublé par une échelle d'écluses.

§ 7) Plans inclinés

La grande difficulté à résoudre provient du poids énorme, presque quadruple de celui du bateau, qui exige une infrastructure solide et inébranlable et un nombre considérable d'appuis, entre lesquels la répartition doit être toujours uniforme. Le problème n'est soluble parfaitement qu'en plaçant entre chaque appui et le sas une presse hydraulique; toutes les presses sont réunies, de manière à assurer toujours l'égalité des efforts.

Mais ce dispositif est très compliqué et il faut tenir compte des fuites inévitables. On peut alors recourir à des combinaisons de balances et de ressorts, qui restent toujours très compliquées ou imparfaites. On a proposé des sas articulés.

Les plans inclinés peuvent être à déplacement longitudinal ou latéral. Les premiers exigent moins d'espace, mais les mouvements oscillatoires de l'eau du sas sont plus dangereuses; les vitesses doivent donc être très faibles ainsi que les pentes, notamment pour réduire la hauteur du chariot en avant. Le parallélisme de leur mouvement est plus facile à assurer. Le bief amont doit être fermé par une porte, car le sas ne peut pénétrer dans le bief amont.

Les plans inclinés latéraux exigent plus d'espace, mais peuvent marcher plus vite et être plus inclinés. Les sas peuvent être conjugués ou indépendants, mais toujours équilibrés. Dans certains projets spéciaux, on prévoyait que le sas entrât librement dans le bief

dans le bief amont, qui est séparé un dos d'axe du plan incliné. Mais le parallélisme du mont. est difficile à réaliser, ainsi que le réglage des niveaux si deux sas conjugués s'équilibrent. Aussi préfère-t-on généralement le sas indépendant, équilibré par contre poids. Le mont. est assuré par un lest d'eau, qui est plus important que dans les ascenseurs, à cause des résistances plus grandes au mouvement et du poids plus important. Tous ces inconvénients joints à un encombrement supérieur et un prix plus élevé, rendent les plans inclinés à sas mobiles sensiblement inférieurs aux ascenseurs.

§ 8) Élévateurs à sec

Ils se distinguent des appareils précédents par le fait que le bateau est transporté sur une plateforme à claire voie, donc à sec. C'est le point très délicat du système pour les bateaux de quelque importance, qui courent un grand risque de rupture ou du moins de fatigue anormale et de mise hors service prématurée. Il faut donc des dispositifs spéciaux de fonds de bateaux et leur appui sur un appui approprié. Le système a reçu de nombreuses applications sous forme de plans inclinés pour des petits bateaux soit par halage direct sur des rouleaux, comme sur les câbles de halage des chantiers maritimes, soit sur un chariot horizontal à claire-voie, sur lequel on échoue le bateau et qui entre dans les 2 biefs celui d'amont étant séparé du plan incliné par un dos d'âne.

Pour les ascenseurs, il n'y a une difficulté supplémentaire, c'est le passage du bateau de la plateforme dans le bief amont qui exige un transport horizontal de la plateforme, que l'on laisse ensuite descendre dans le bief amont. Le dispositif particulière donc de l'élévateur et du pont roulant.

Les grands avantages théoriques du système sont:

1°) la réduction du poids à élever, qui n'est supérieur au

poids utile que de 50 à 100% (au lieu de 100 à 300)

2°) l'élimination complète du danger des mouvements oscillatoires et des suctions qui en découlent

3°) étanchéité complète

4°) rapidité de manoeuvre

5°) réduction du prix par suppression du sas et des organes spéciaux délicats

6°) de caractère usuel des dispositifs mécaniques, analogues à ceux des appareils usuels de dosage, toutes proportions gardées.

La grosse difficulté réside dans la variation considérable de la charge, qui exige un équilibrage mobile ou des dispositifs spéciaux d'arrêt.

Malgré cela, ces appareils retiennent actuellement l'attention et pourraient être susceptibles d'applications intéressantes dans des cas spéciaux.
