

# LE FRANCHISSEMENT DES CHUTES POUR LA NAVIGATION DE PLAISANCE DANS LES VOIES D'EAU EQUIPEES POUR LA GRANDE NAVIGATION INTERIEURE

## Ecluses pour la navigation de plaisance

par

*M.M. DEHOUSSE, Ingénieur Civil des Constructions,  
Professeur ordinaire à l'Université de Liège (L.H.C.H.)\**

*Ph. RIGO, Ingénieur Civil des Constructions,  
Assistant à l'Université de Liège (L.H.C.H.)\**

*S. RODRIGUEZ, Ingénieur Civil des Constructions Navales,  
Chef de Travaux à l'Université de Liège (L.C.H.C.)\**

### SOMMAIRE

Le développement du bassin mosan et la modernisation de l'axe Liège-Anvers via le Canal Albert seront menés à bien pour autant que tout soit mis en oeuvre pour garder un trafic fluvial aussi fluide et aisé que possible.

La création d'écluses spécifiques aux bateaux de plaisance augmentera l'attrait touristique mais permettra également aux bateaux marchands de circuler plus rapidement et plus sûrement.

La voie suivie dans cette étude est celle de la simplification et de l'automatisation du mécanisme de franchissement des chutes entre les biefs.

### MOTS CLES

Navigation de plaisance - Statistiques - Ecluses - Voies navigables - Porte basculante - Sassement - Automatisation.

### 1. INTRODUCTION

Depuis la fin de la seconde guerre mondiale, on assiste en Europe à un accroissement considérable du tonnage marchand transporté par unité. Ainsi en Belgique, le canal Albert et la Meuse liégeoise sont en cours de reconversion pour assurer le passage des convois de 9000 tonnes alors qu'il furent aménagés pour des bateaux de 1350 et 2000 tonnes, considérés comme exceptionnels, il y a 50 ans.

La tendance est donc à l'augmentation des dimensions des sas d'écluses dont les plus importants construits actuellement pour la naviga-

\* Laboratoires d'Hydrodynamique, d'Hydraulique Appliquées et de Constructions Hydrauliques de l'Université de Liège, 6 Quai Banning, Liège (Belgique).

### ABSTRACT

The development of the Meuse basin and the upgrading of the Liège-Antwerp axis through the Albert Canal will be achieved provided steps are taken to keep the fluvial traffic as easy and fluid as possible.

The creation of special locks for pleasure navigation will increase the touristic attraction and will also enable merchant vessels to sail with greater speed and safety.

The idea followed in this study is to present a device as simple and automatic as possible for overcoming differences in head between river sections.

### KEY-WORDS

Pleasure navigation - Statistics - Locks - Waterways - Tilting gates - Hydraulic operations of the chamber - Automation.

gation intérieure, atteignent 200 x 24 m pour des chutes de 5 m sur la Meuse et 10 m sur le Canal Albert.

La navigation reste cependant fort hétérogène, car il est bien connu qu'à côté des convois poussés très capacitifs, on trouve un très grand nombre d'unités de petit et moyen tonnages.

Un grand sas d'écluse requiert donc de ce fait un temps d'accès et de sortie beaucoup plus important que le seul temps de sassement. D'autre part, depuis quelques années, la navigation de plaisance connaît un sérieux engouement encouragé par la construction de ports fluviaux spécialement équipés pour la recevoir.

Coexistent donc sur la voie d'eau des unités de tonnages très différents dont le rapport des

extrêmes est de l'ordre de 1 à 1000!

C'est à la fois dangereux, dispendieux, néfaste et inefficace.

Dangereux, tant pour les plaisanciers que pour les grosses unités dont la gouverne doit s'embarrasser, notamment aux écluses de la présence de frêles esquifs.

Dispendieux, en ce qui concerne la consommation d'eau lorsque en période d'étiage l'éclusage de quelques unités de plaisance, quand ce n'est pas une seule, s'effectue dans un très grand sas.

Néfaste, vis à vis de l'impact économique de la région si des heures d'attente importantes aux écluses augmentent la durée des voyages et ainsi le prix des matières premières transportées par la voie d'eau.

Inefficace, pour les plaisanciers astreints à de longues heures d'attente qu'ils ne peuvent pas consacrer à la découverte de nouveaux horizons.

A l'instar de ce qui est réalisé sur la Moselle depuis 20 ans, nous avons examiné la possibilité de rendre le trafic éclusier plus fluide en prévoyant au droit des barrages mobiles existants une écluse spécialement adaptée au besoin de la navigation de plaisance. Notre souci a été de rendre cette écluse aussi simple et aussi automatique que possible afin de ré-

FIGURE 1  
NAVIGATION DE PLAISANCE 1984 - Nombre de bateaux de plaisance passés par mois à différents ouvrages.

Dénomination de l'ouvrage	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juill.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	TOTAL
HASTIERE	1	-	7	15	103	241	884	524	105	40	8	7	1 935
DINANT	1	-	10	35	107	313	1 351	765	197	61	16	5	2 861
LA PLANTE	2	-	5	27	95	290	1 358	812	95	50	12	5	2 751
KATZERET	1	4	4	33	84	269	1 151	650	85	40	14	4	2 339
ANDENNE-SEILLES	1	-	4	30	73	262	1 167	651	69	32	11	6	2 257
AMPSIN-NEUVILLE	1	-	5	23	86	279	1 187	695	105	37	20	8	2 446
IVOZ-RAKET	5	-	4	37	82	306	1 248	743	91	41	7	6	2 570
KONSTIN-MEUSE	-	-	2	4	45	69	98	106	30	10	3	-	367
HERMALLE-SOUS-ARGENTEAU	-	-	-	5	38	67	102	105	24	6	-	-	347
VISE CARAL	-	-	2	6	54	82	114	115	32	6	-	-	411
PETIT-LANAYE	6	1	9	45	184	413	1 256	825	194	75	15	25	3 048
SOLRE-SUR-SAMBRE	-	-	3	-	10	25	89	50	14	1	-	4	196
THUIN	-	-	4	6	22	34	113	70	21	20	-	6	296
KONCEAU-SUR-SAMBRE	-	-	5	8	20	40	120	94	25	6	5	5	328
MARCINELLE	-	-	2	13	16	69	402	240	33	15	5	5	800
AUYCLATS	-	-	-	5	14	55	430	198	31	18	5	3	759
HAXUR-SAMBRE	-	-	-	10	16	67	416	266	35	22	5	3	840

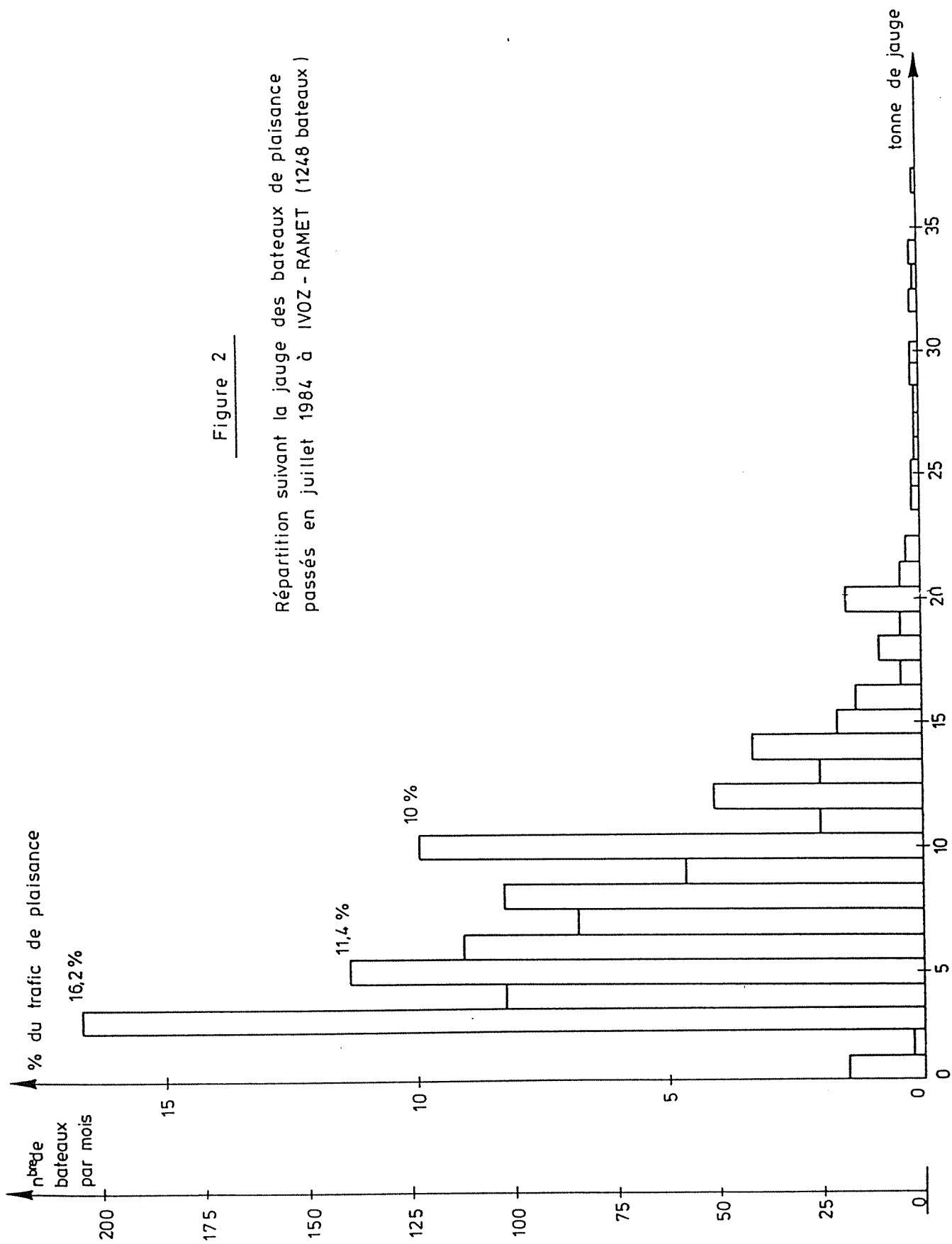


Figure 2

Répartition suivant la jauge des bateaux de plaisance passés en juillet 1984 à IVOZ - RAMET (1248 bateaux)

duire l'investissement et le fonctionnement à des minima de coûts. L'exemple de la navigation dans la région liégeoise a été choisi.

## 2. ESTIMATION DES DIMENSIONS OPTIMALES A DONNER AUX ECLUSES DE PLAISANCE

L'estimation des dimensions a été réalisée sur base de relevés effectués par l'Office de la Navigation de Liège, confirmés par un sondage effectué à l'écluse d'Ivoz-Ramet, dans la banlieue liégeoise, durant le mois de juillet 1985.

### 2.1. Estimation

Les statistiques des 8 dernières années relatives à une vingtaine d'écluses font référence au nombre de bateaux de plaisance ayant franchi ces différentes écluses (figure 1).

Il se confirme que les mois de juillet et d'août sont les plus chargés. Pour définir les gabarits des bateaux concernés, nous avons classé selon leur jauge les 1248 bateaux de plaisance ayant utilisé l'écluse d'Ivoz-Ramet en juillet 1984. Ainsi a été tracée la courbe des fréquences de la figure 2. On constate que si on limite la jauge à 20 tonnes, on assure le passage de 96 % du trafic concerné.

Les bateaux de plaisance d'une dimension supérieure, allant parfois jusqu'à 150 tonnes pour des péniches transformées, utiliseront comme précédemment les grandes écluses.

En vue de fixer les dimensions moyennes d'un bateau de 20 tonnes de jauge nous avons d'abord fait les hypothèses suivantes :

Coefficient de remplissage	0,35
Rapport longueur/largeur	4
Enfoncement	1,5 m

On en déduit ainsi :

$$\begin{aligned}L^* &= 12,5 \text{ m} \\l^* &= 3,1 \text{ m} \\e^* &= 1,5 \text{ m}.\end{aligned}$$

Tenant compte du fait que les pilotes de ces bateaux sont parfois peu expérimentés aux manoeuvres d'approche d'entrée ainsi que d'amarrage dans une écluse, on adoptera pour le sas les dimensions suivantes en première approximation :

$$\begin{aligned}L &= 18,00 \text{ m} \\l &= 5,00 \text{ m} \\e &= 2,00 \text{ m}\end{aligned}$$

La longueur du sas a été prise relativement grande pour tenir compte des accessoires qui sont couramment ajoutés à l'arrière des bateaux.

### 2.2. Confirmation de l'estimation

En vue de confirmer ces dimensions, une étude statistique portant directement sur les dimensions des bateaux a été également réalisée. Le sondage a porté sur 204 bateaux de plaisance avalants à l'écluse d'Ivoz-Ramet (Liège). Le nombre total de bateaux de ce type en juillet a été de 582, il s'agit donc d'un échantillon représentatif de la population totale.

On en déduit que la jauge varie en fonction du logarithme de la longueur.

$$\log_e L = 2,19 + 0,02 J$$

Le coefficient de corrélation de cet ajustement est bon et vaut 0,8.

Pour  $J = 20$  tonnes, on trouve  $L = 13,45$  m et l'intervalle de confiance à 95 %, est (12,00 ; 15,20 m).

La valeur de la longueur estimée précédemment  $L^* = 12,5$  m est donc vérifiée puisque comprise dans ledit intervalle.

La seconde confirmation se déduit des diagrammes des fréquences relatives des longueurs et largeurs (figures 3 et 4).

Les valeurs des longueurs et largeurs qui englobent 95 % du trafic sont respectivement 17,00 m et 4,1 m.

Ces dimensions confortent donc le choix fait précédemment d'une écluse de 18,00 m x 5,00 m comme superficie utile.

## 3. DISPOSITION GENERALE DE L'AMENAGEMENT

L'aménagement prôné comprend une écluse de 5 x 18 m ayant son propre chenal d'accès situé parallèlement aux écluses déjà en place (par exemple 24 x 200 m). Une profondeur de 2 m pour le chenal est suffisante et ne devrait pas entraîner de travaux de modification dans les sites de la Meuse (figure 5). La largeur de ce chenal serait de l'ordre de 12 m, réservant ainsi un rapport

$$\frac{\Omega}{S} = \frac{\text{Section transversale du canal}}{\text{Maître couple du bateau}} \text{ de l'ordre de } 8$$

c'est-à-dire permettant une navigation aisée et assurant un croisement des unités.

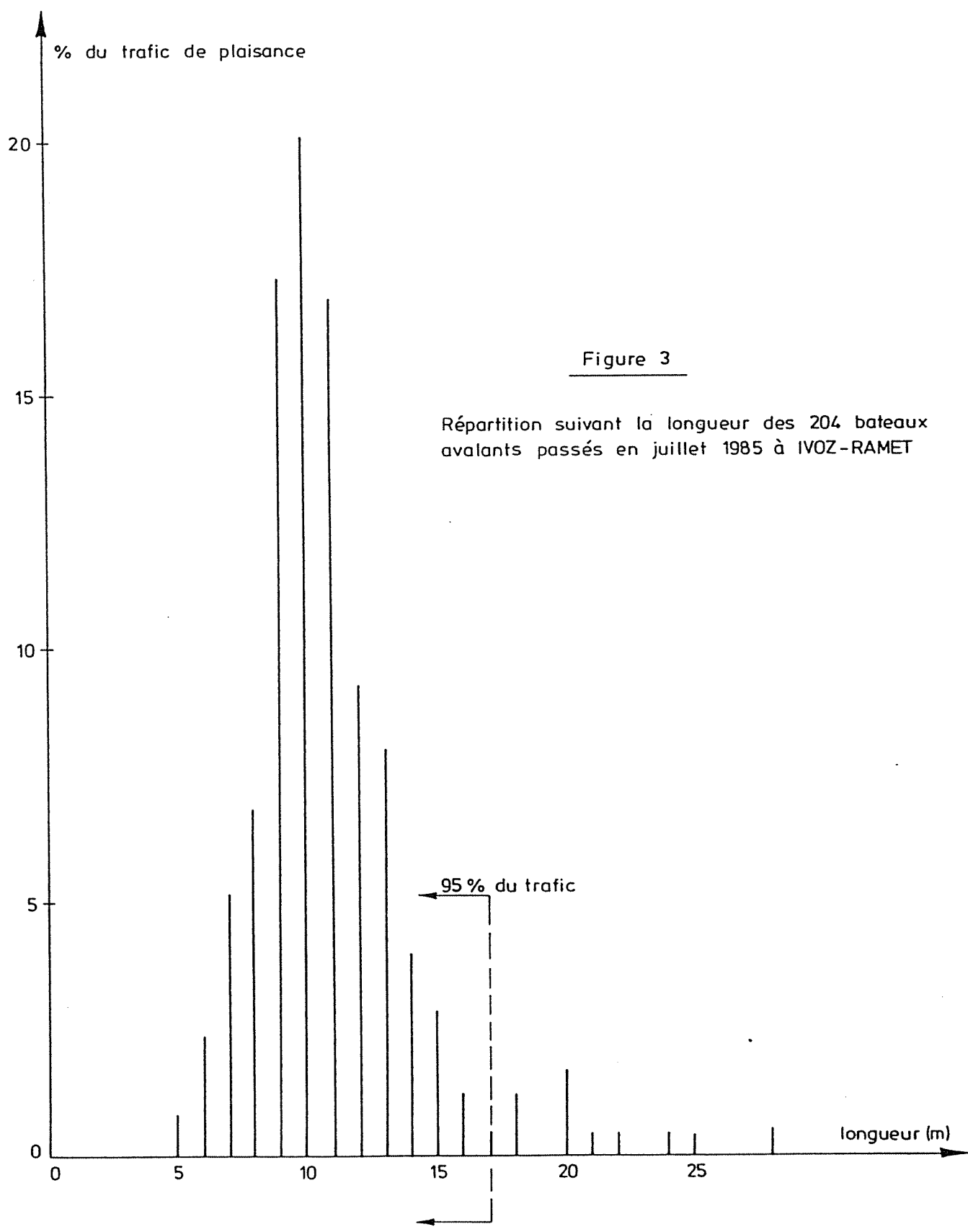
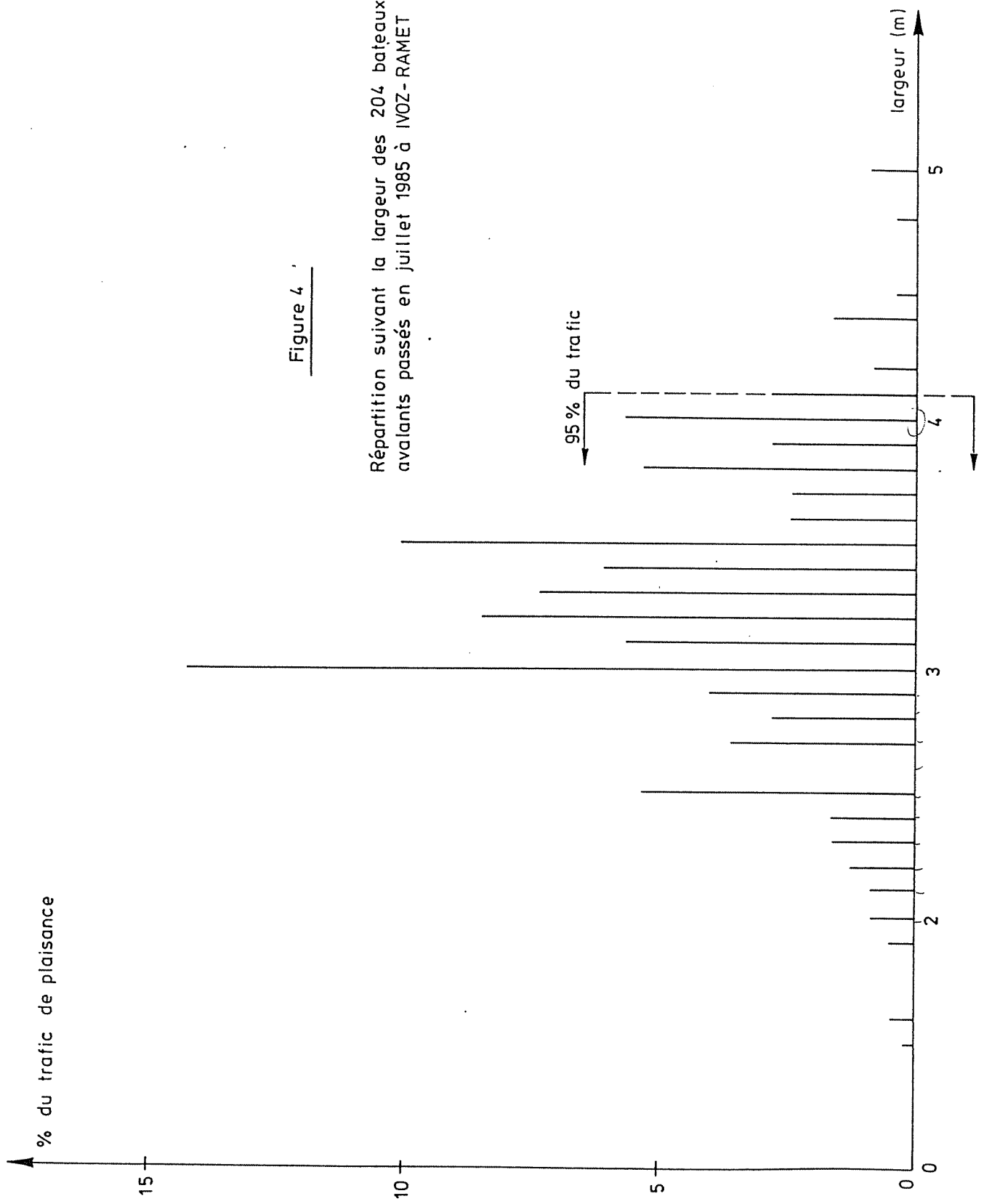


Figure 3

Répartition suivant la longueur des 204 bateaux avalants passés en juillet 1985 à IVOZ-RAMET



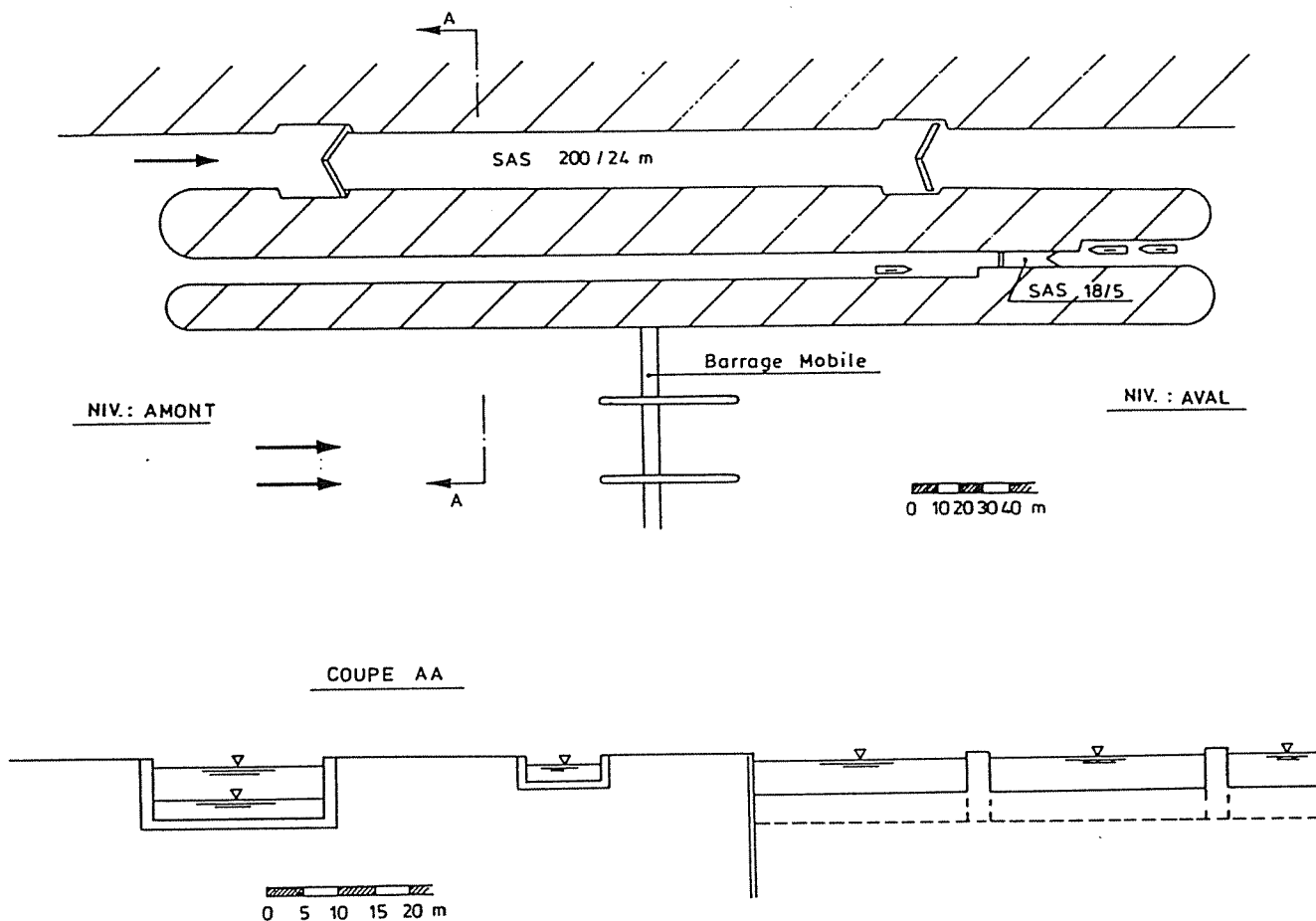


Figure 5: Vues générales d'un complexe "ECLUSES - BARRAGE "

#### 4. CHOIX DU SYSTEME DE SASSEMENT ET DU TYPE DE PORTE

L'objectif est de construire de manière simple, efficace et économique.

Nous avons combiné au mieux les opérations de sassement et de manoeuvre. Ainsi à l'amont, où les dimensions de la tête amont sont les suivantes :

retenue = 2 m  
largeur = 5 m,

on envisage de réaliser un ensemble en forme de L pivotant autour d'un axe inférieur (figure 6). La porte pivote autour de son axe durant environ 20 secondes décrivant un angle de 18 degrés. Dès cet instant, la porte reste dans cette position jusqu'à la fin du sassement.

Une fois les deux niveaux égalisés, le mouvement reprend et la porte se couche complètement. La manoeuvre inverse se fait sans interruption, le câble de manoeuvre laissant remonter la porte à vitesse constante.

A l'aval, le système précédent est inapplicable, le rabattement de la porte se faisant dans le sas.

Les systèmes de porte demandant trop d'infrastructure ou réduisant le tirant d'air seront également rejetés.

En conséquence, pour cette porte, on optera pour un système de portes busquées avec ventelles incorporées.

La hauteur de la porte dépend évidemment de la chute.

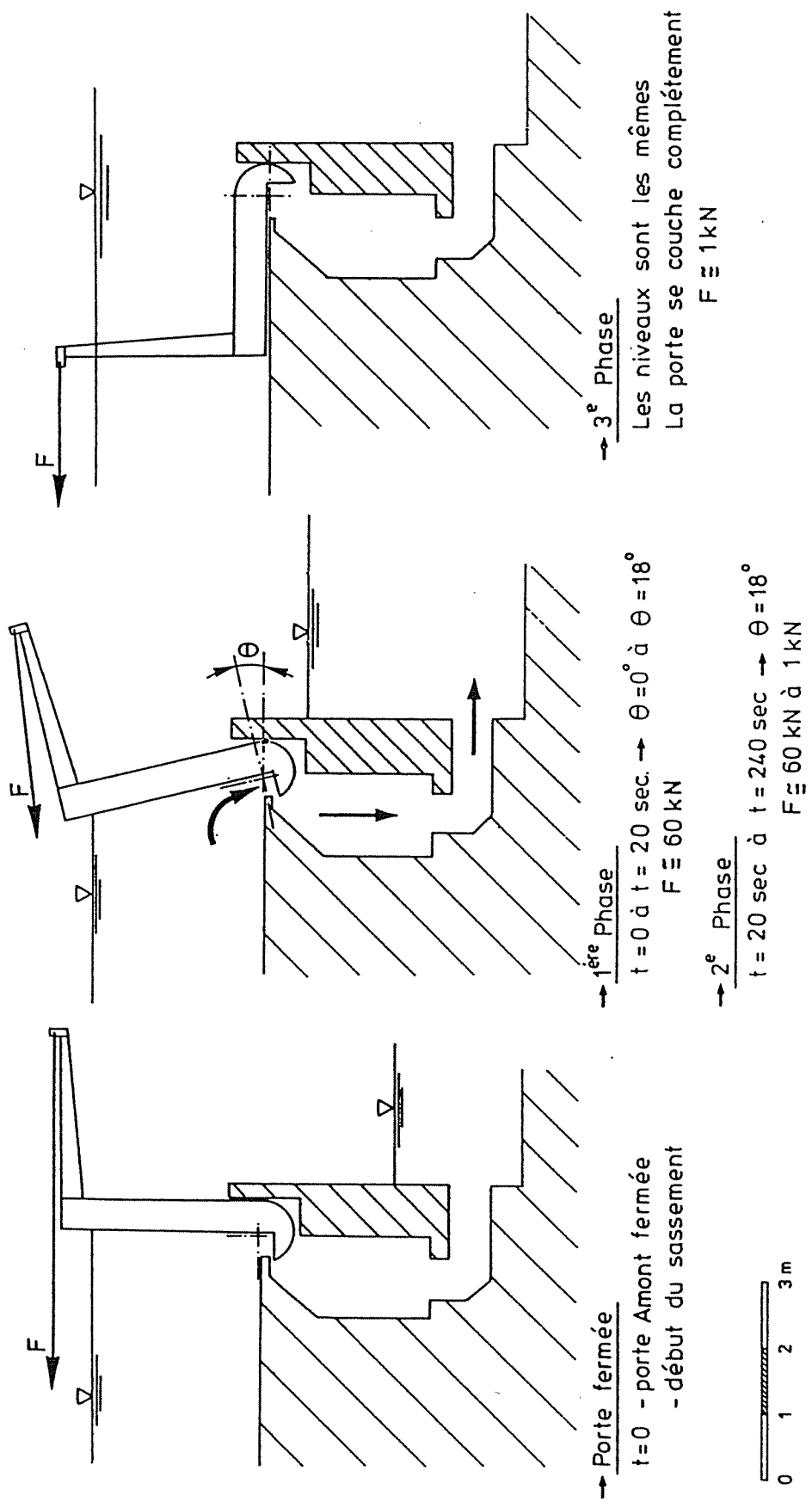


Figure 6 - Schéma du processus d'ouverture combiné avec le sassement.

### 5. CATACTERISTIQUES DE LA PORTE AMONT

Cette porte étant de faible dimension et son poids ayant une grande importance pour la manoeuvre, nous proposons de la construire en aluminium. Les frais d'entretien seront également de ce fait très réduits.

Ainsi l'aluminium AL.Mg.4.Mn possède les caractéristiques suivantes :

- $E = 69 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$  (Module de Young)
- $\Delta = 27 \text{ kN/m}^3$  (Poids spécifique)
- $Re = 125 \text{ N/mm}^2$  (Limite élastique).

Son emploi se justifie en outre par le fait que pour des raisons de corrosion, l'acier exigerait une épaisseur non nécessaire de 8 mm. Les calculs ont été réalisés en se basant sur une contrainte admissible de  $85 \text{ N/mm}^2$ .

La manoeuvre de la porte se fait par l'intermédiaire d'un câble unique fixé à une console. Celle-ci est encastree à la partie supérieure de la porte.

Les figures 6 et 7 schématisent les opérations d'ouverture et de fermeture.



Le moment sollicitant  $M$  étant toujours positif, aucun effort ne doit être produit pour relever la porte. Le câble reste en traction lorsque la porte est en position basse et se déroule progressivement laissant ainsi remonter la porte d'une manière régulière. Un caisson développant un effort  $F_2$  (figure 7) a été dimensionné de manière à ce que  $M$  reste toujours positif. Un caisson trop volumineux créerait un moment négatif trop important lorsque la porte sera en position haute (figure 7) et de ce fait, la porte resterait en équilibre sans jamais se fermer complètement.

Dans le diagramme de la figure 8 on peut observer l'influence des 3 forces ( $F_1$  poids du bras,  $F_2$  effet du caisson,  $F_3$  poids de la porte) sur le moment résultant autour de l'axe de rotation. Le caisson développe un moment positif maximum de 14,11 kN.m autour de l'axe de rotation lorsque la porte est couchée. L'équilibre de toutes les forces donne un moment résultant positif de 4,63 kN.m. Le caisson est lui-même subdivisé en 8 parties de manière à le rigidifier (car il fait partie de l'ossature résistante) mais aussi par sécurité.

En position fermée, la porte peut être assimilée à une plaque appuyée sur 2 côtés parallèles verticaux. Par contre, dans les autres positions, particulièrement au début du sassement, la porte repose sur

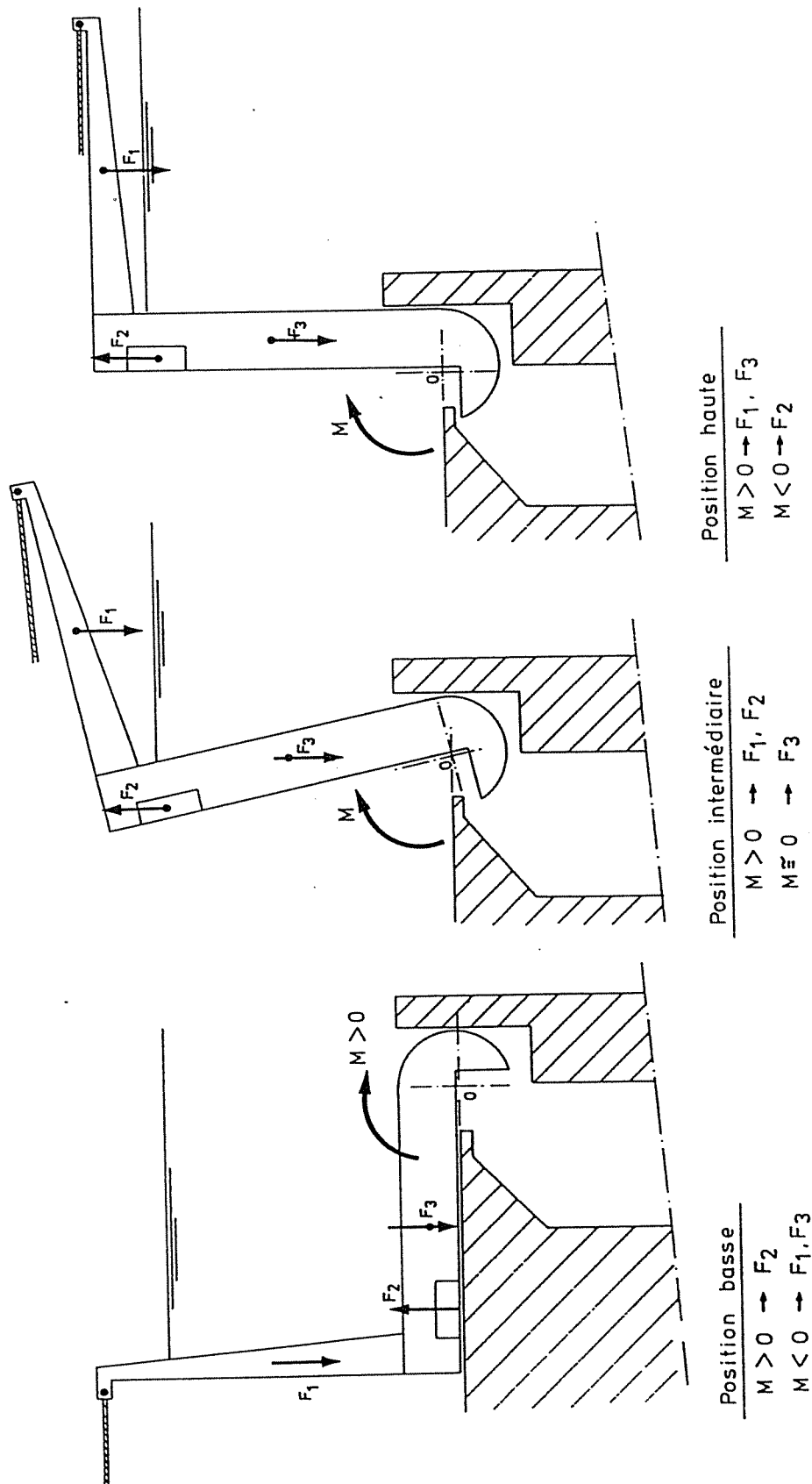


FIGURE 7 - Schéma du processus de fermeture de la porte.

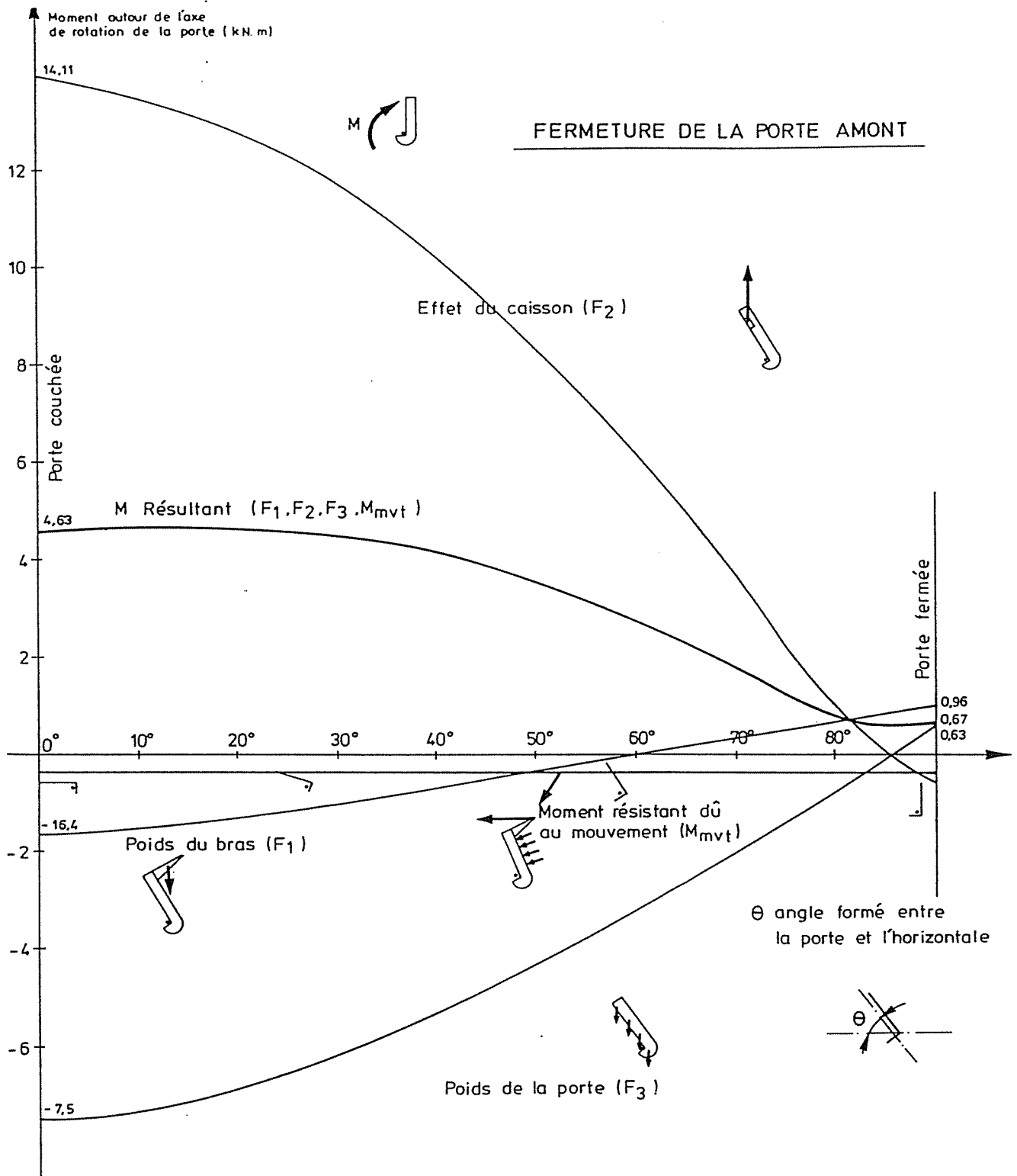


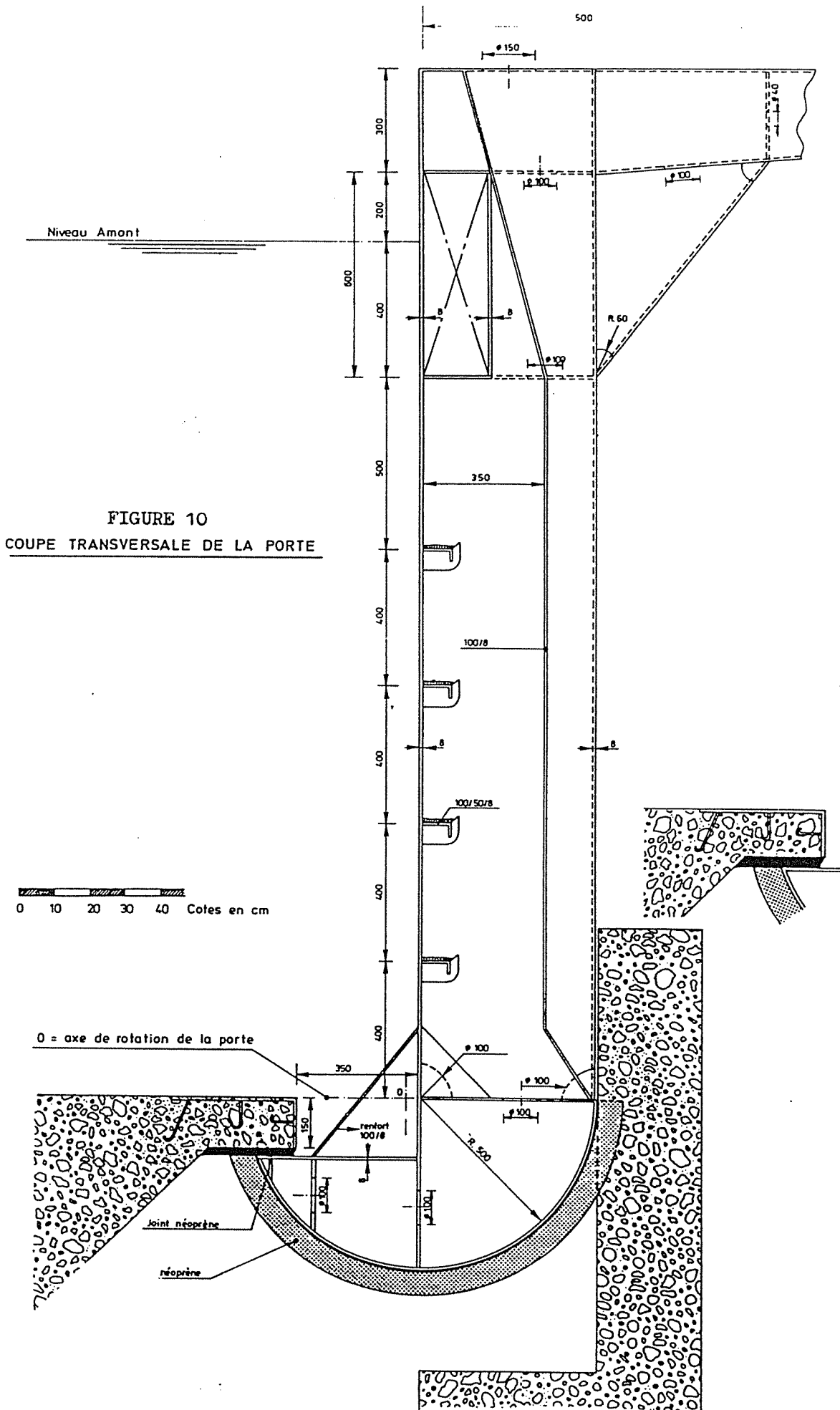
FIGURE 8 - Evolution du moment résultant lors de la fermeture de la porte.

3 appuis ponctuels : le bras et les deux extrémités de l'axe de rotation (figures 9, 10, 11). Pour résister de manière efficace, un cadre rigide forme la base de l'ossature de la porte. On

a ainsi les deux montants, le caisson étanche à la partie supérieure et le demi-cylindre à l'axe de rotation.

L'effort dans le câble est d'environ 60 kN lors





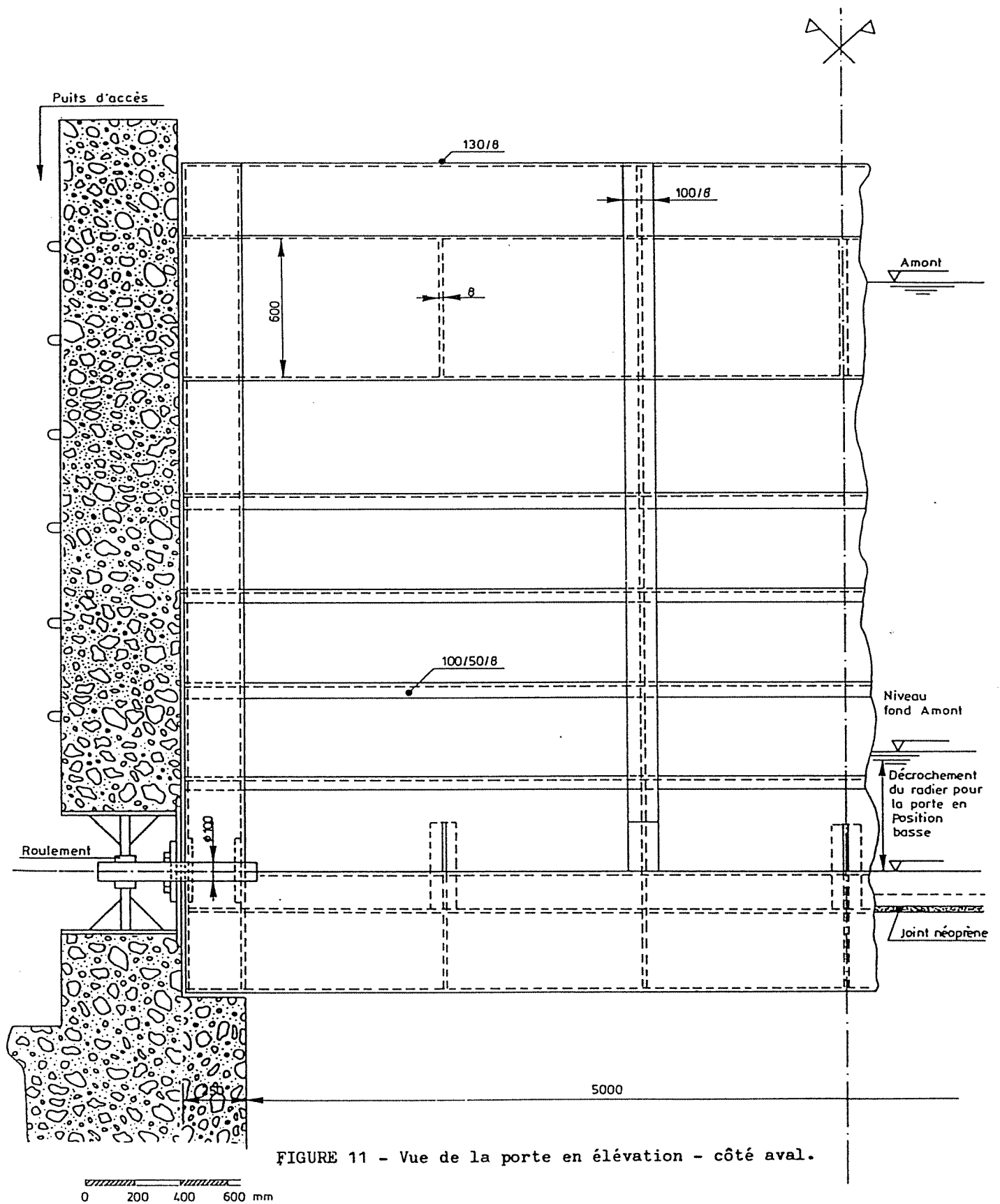
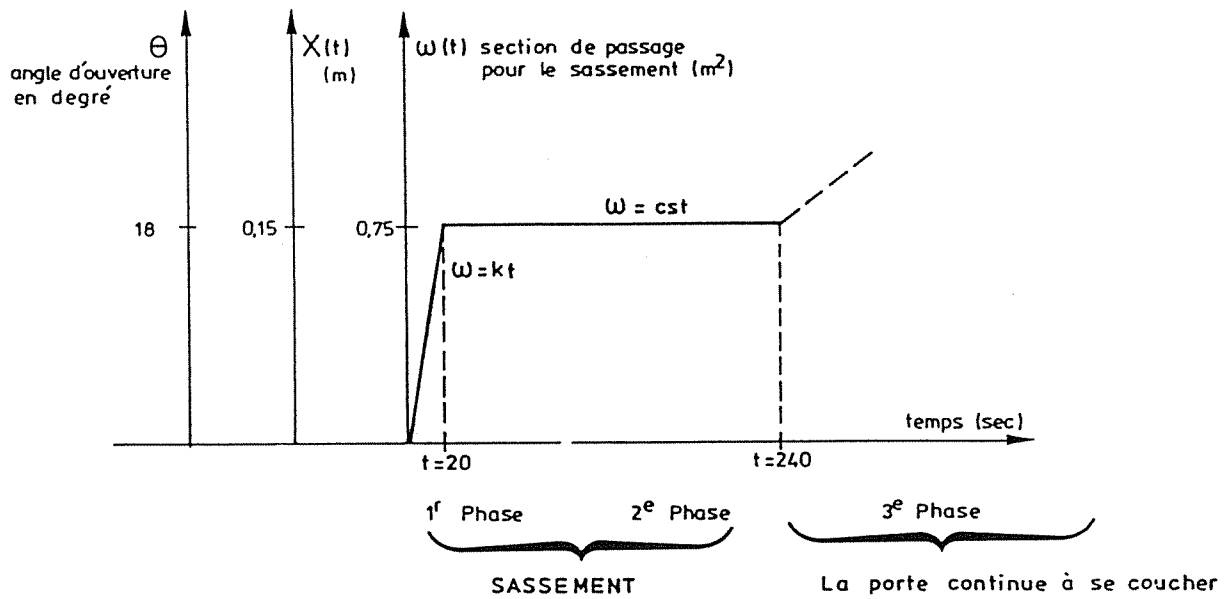


FIGURE 11 - Vue de la porte en élévation - côté aval.



$$\omega(t) = X(t) \cdot \text{Larg. utile} = X(t) \cdot 5$$

Figure 12 : Loi du sassement

L'eau pénètre dans une chambre de dissipation par l'orifice qui se crée lors de l'inclinaison de la porte. Ensuite elle pénètre dans le sas par un pertuis (60 cm x largeur du sas) (voir figure 13).

Pour estimer le temps de sassement, nous avons admis :

- Perte de charge à l'entrée du pertuis  $K_e = 0,5$
- Perte de charge à la sortie du pertuis  $K_s = 1,0$
- Perte de charge en ligne dans le pertuis  $K_L = 0,05$
- Perte de charge due au rétrécissement avant la vanne  $K_R = 0,5$
- Perte de charge de Bélanger à la vanne lors de l'entrée dans la chambre (épanouissement)

$$K = \left( \frac{\omega_{\max}}{m \cdot \omega(t)} - 1 \right)^2 + \frac{1}{9}$$

- Les sections sont les suivantes :

- au rétrécissement :

$$\omega_{\text{Retrec}} = 0,35 \times 5 = 1,75 \text{ m}^2$$

- à la vanne :

$$\omega_{\max} = 0,50 \times 5 = 2,5 \text{ m}^2$$

$$\omega(t) = x(t) \times 5$$

$$\omega(t=20) = 0,15 \times 5 = 0,75 \text{ m}^2$$

- dans le pertuis :

$$\omega_{\text{pertuis}} = 0,6 \times 5 = 3,00 \text{ m}^2$$

Le coefficient de contraction  $m$  sera admis constant et égal à  $m = 0,60$ .

$S_{\text{sas}}$  la surface du sas vaut  $= 18 \times 5 = 90 \text{ m}^2$ .

Notons :

$V$  = vitesse au niveau de la vanne supposée complètement ouverte

$U_{\text{pertuis}}$  = vitesse au niveau du pertuis

$U_{\text{Retrec}}$  = vitesse au niveau du rétrécissement.

Lorsque le niveau dans le sas est inférieur au niveau de la vanne, l'écoulement n'est pas noyé.

La charge étant constante, on obtient aisément le temps ( $t = 102 \text{ sec.}$ ) nécessaire à la montée des eaux jusque  $H = 4,5 \text{ m.}$

Dès cet instant, d'autres équations régissent l'écoulement. L'équation de continuité donne :

$$V \cdot \omega_{\max} = U_{\text{pertuis}} \cdot \omega_{\text{pertuis}} =$$

$$U_{\text{Retrec}} \cdot \omega_{\text{Retrec}} \quad (1)$$



et

$$\omega_{\max} V dt = - S_{\text{sas}} dh$$

L'équation de Bernoulli donne :

$$(K_e + K_L + K_S) \frac{U_{\text{pertuis}}^2}{2g} + K_R \frac{U_{\text{Retrec}}^2}{2g} + K \frac{v^2}{2g} = h_{\text{amont}} - h_{\text{aval}} = \Delta h \quad (2)$$

Les équations (1) et (2) permettent d'écrire :

$$\frac{dh}{dt} = \frac{v^2}{2g} \left( \beta + \left( \frac{\omega_{\max}}{m\omega(t)} - 1 \right)^2 \right) \quad (3)$$

avec  $\beta = \alpha + \frac{1}{9} = 2,1$

et  $\alpha = \omega_{\max}^2 \cdot \left( \frac{K_e + K_L + K_S}{\omega_{\text{pertuis}}^2} + \frac{K_R}{\omega_{\text{Retrec}}^2} \right)$

Intégrons (3) pour la seconde phase  $\omega = \text{constante} = 0,75 \text{ m}^2$  de manière à obtenir le temps à la fin du sassement ( $h_{\text{sas}} = 7 \text{ m}$ ).

Notons quelques résultats :

en t = 0	$h_{\text{sas}} = 2 \text{ m}$	$dh/dt = 0$
en t = 20 s	$h_{\text{sas}} = 2,27 \text{ m}$	$dh/dt = 2,7 \text{ cm/s}$
en t = 102 s	$h_{\text{sas}} = 4,50 \text{ m}$	$dh/dt = 3,6 \text{ cm/s}$ (valeur max)
en t = 235 s	$h_{\text{sas}} = 7,0 \text{ m}$	$dh/dt = 0$

Ainsi le temps de sassement au remplissage est de l'ordre de 4 minutes pour une chute de 5 m.

## 8. AUTOMATISATION DU FONCTIONNEMENT

Pour répondre aux objectifs évoqués en préambule, l'écluse sera complètement automatisée.

Le principe de cette écluse "presse-bouton" est le suivant :

- un bateau arrivant du côté A enclenche par l'intermédiaire d'un dispositif d'appel, un système complètement automatique et bloque jusqu'à sa sortie par le côté B toutes les autres demandes d'éclusage;
- une fois le bateau sorti du côté B, ce sont les bateaux en attente situés de ce côté qui ont la priorité de manière à garder un trafic équilibré;
- si aucun bateau ne signale sa présence, le système se place en position d'attente, c'est-à-dire que les deux portes sont fermées et le niveau du sas reste celui existant à la sortie du dernier bateau éclusé.

Ce système automatique ne demande plus la présence d'un éclusier et permet l'éclusage 7 jours sur 7, voir même 24 h sur 24.

Le facteur "gain de temps" est encore plus évident et mis de nouveau en exergue comme qualité principale de ce dispositif d'éclusage.

Le cycle complet des étapes nécessaires pour le franchissement de l'écluse est décrit ci-après (tableaux I et II).

Il requiert les dispositifs suivants (fig. 14):

- Un système de feux placé à l'amont (aval), soit le signal A (B).  
Notons les Sign A, Sign B.  
Celui-ci est vert ou rouge selon que l'autorisation d'entrer dans le sas est accordée ou non.
- Un système d'appel avec affichage permettant de signaler sa présence.  
Notons les  $P_A$  et  $P_B$ .
- Un système de feux autorisant la sortie du sas aux bateaux.  
Notons les  $F_A$  et  $F_B$ .
- Une synthèse de capteurs optiques enregistrant au niveau des portes le nombre et le sens des bateaux entrant dans le sas.

Les règles de fonctionnement seront les suivantes :

- Un appel de la part d'un bateau situé à l'amont (aval) par l'intermédiaire de  $P_A$  ( $P_B$ ) ne peut se faire que lorsque le message indiqué sous le bouton de commande  $P_A$  ( $P_B$ ) est: "Enregistrez votre appel s.v.pl."

Une fois l'appel réalisé le message devient : "Appel enregistré, passage libre dans quelques instants".

Dès que le sas est dégagé et la porte ouverte, le feu Sign A (Sign B), passe au vert et parallèlement le message devient : "Autorisation d'entrer dans le sas".

Durant toutes ces opérations de l'autre côté du sas, le message "Veuillez patienter s.v.pl." reste affiché en permanence.

- La mention "Enregistrez votre appel s.v.pl." apparaît à l'amont (aval) lorsque les 2 portes sont fermées et que le sassement se déroule de manière à amener le niveau d'eau du sas au niveau amont (aval).
- La sortie des bateaux est contrôlée par des capteurs  $C_A$  ( $C_B$ ).



# TABLEAU I - ETAPES DU SASSEMENT

## Cycle complet pour un trafic équilibré

$t_0 = 0$  s, le bateau A entre dans le sas par l'amont

TEMPS $t$ (s)	SIGNAL D'APPEL		FEUX POUR ENTRER DANS LE SAS		FEUX POUR SORTIR DU SAS	
	AMONT P <sub>A</sub>	AVAL P <sub>B</sub>	AMONT SIGN A	AVAL SIGN B	AMONT F <sub>A</sub>	AVAL F <sub>B</sub>
$t = t_0 = 0$ s	"Autorisation d'entrer dans le sas"	"Veuillez patienter s.v.pl."	<u>VERT</u>	ROUGE	ROUGE	ROUGE
$t = t_1 (= 1')$ Le bateau entre dans le sas Un $\Delta t$ après $t_1$ ( $\Delta t = 1'$ ) $t = t_2 = t_1 + \Delta t (= 2')$ Dès $t > t_2$ ( $= 2'$ )	Le capteur C <sub>A</sub> enregistre l'entrée des bateaux $t_1 =$ temps au moment du passage du dernier bateau					
	"Veuillez patienter s.v.pl."	"Veuillez patienter s.v.pl."	<u>ROUGE</u>	ROUGE	ROUGE	ROUGE
	La fermeture de la porte amont débute - $\Delta t_{\text{fermeture}} = 1'$ Ensuite le sasement par l'aval débute - $\Delta t_{\text{sasement}} = 4'$					
Durant le sasement	"Veuillez patienter s.v.pl."	"Enregistrez votre appel s.v.pl."	ROUGE	ROUGE	ROUGE	ROUGE

Trafic équilibré - Un bateau à l'aval enregistre son appel

TEMPS	SIGNAL D'APPEL	FEUX D'ENTREE		FEUX DE SORTIE	
Le sasement est terminé $t = t_3 = t_2 + \Delta t_{\text{ferm}} + \Delta t_{\text{sass}} (= 7')$	"Veuillez patienter s.v.pl." "Appel enregistré-passage libre dans quelques instants"	ROUGE	ROUGE	ROUGE	ROUGE
A la fin de l'ouverture des portes busquées $t = t_3 + \Delta t_{\text{ouvert}} (= 8')$	"Veuillez patienter s.v.pl." "Appel enregistré-passage libre dans quelques instants"	ROUGE	ROUGE	ROUGE	<u>VERT</u>
La sortie des bateaux $t = t_4 = t_3 + \Delta t_{\text{sortie}} (= 9')$	Le capteur C <sub>B</sub> enregistre la sortie des bateaux $t_4 =$ temps au moment de la sortie du dernier bateau				
	L'autorisation aux bateaux d'aval d'entrer dans le sas est donnée après un instant de temporisation ( $= 30''$ )				
$t = t_5 = t_4 + t_{\text{temp}} (= 9'30'')$	"Veuillez patienter s.v.pl." "Autorisation d'entrer dans le sas"	ROUGE	<u>VERT</u>	ROUGE	<u>ROUGE</u>
$t = t_6 (= 10'30'')$	Le capteur C <sub>B</sub> enregistre l'entrée des bateaux $t_5 =$ temps au moment de l'entrée du dernier bateau				
	L'interdiction d'entrée (Sign B rouge) est donnée $\Delta t_1$ après le passage du dernier bateau. L'écart entre bateau est donc limité par ce délai ( $\Delta t_1 = 60''$ )				
$t = t_7 = t_6 + \Delta t_1 (= 11'30'')$	"Veuillez patienter s.v.pl." "Veuillez patienter s.v.pl."	ROUGE	<u>ROUGE</u>	ROUGE	ROUGE
$t = t_8 = t_7 + \Delta t_2 + \Delta t_{\text{ferm}} (= 13')$ Dès le début du sasement par l'amont	La fermeture des portes busquées débute $\Delta t_2$ après l'interdiction d'entrer $\Delta t_{\text{fermeture}} = 1'$ Ensuite le remplissage du sas par l'amont débute, $t = t_8$				
	"Enregistrez votre appel s.v.pl." "Veuillez patienter s.v.pl."	ROUGE	ROUGE	ROUGE	ROUGE
	Durant le sasement ( $\Delta t_{\text{sasement}} = 4'$ ), le trafic étant équilibré un bateau d'amont enregistre son appel.				
Le sasement se termine	"Appel enregistré-passage libre dans quelques instants." "Veuillez patienter s.v.pl."	ROUGE	ROUGE	ROUGE	ROUGE
$t = t_9 = t_8 + \Delta t_{\text{sas}} + \Delta t_{\text{ouvert}} (= 18')$	La porte amont se couche complètement ( $\Delta t_{\text{ouvert}} = 1'$ ) On autorise les bateaux à sortir du sas				
	"Appel enregistré passage libre dans quelques instants" "Veuillez patienter s.v.pl."	ROUGE	ROUGE	<u>VERT</u>	ROUGE
$t = t_{10} = t_9 + \Delta t_{\text{sortie}} (= 19')$	Le capteur C <sub>A</sub> enregistre la sortie des bateaux $t_{10} =$ temps au moment de la sortie du dernier bateau				
	L'autorisation aux bateaux d'amont d'entrer dans le sas est donnée après un instant de temporisation ( $= 30''$ )				
$t = t_{\text{cycle}} = t_{10} + t_{\text{temp}} (= 19'30'')$	"Autorisation d'entrer dans le sas" "Veuillez patienter s.v.pl."	<u>VERT</u>	ROUGE	<u>ROUGE</u>	ROUGE

TABLEAU II - ETAPES DU SASSEMENT

Cycle complet pour un trafic non équilibré

$t_0 = 0$  s, le bateau A entre dans le sas par l'amont

TEMPS t (s)	SIGNAL D'APPEL		FEUX POUR ENTRER DANS LE SAS		FEUX POUR SORTIR DU SAS	
	AMONT P <sub>A</sub>	AVAL P <sub>B</sub>	AMONT SIGN A	AVAL SIGN B	AMONT F <sub>A</sub>	AVAL F <sub>B</sub>
$t = t_0 = 0$ s	"Autorisation d'entrer dans le sas"	"Veuillez patienter s.v.pl."	VERT	ROUGE	ROUGE	ROUGE
$t = t_1 (= 1')$ Le bateau entre dans le sas Un $\Delta t$ après $t_1$ ( $\Delta t = 1'$ ) $t = t_2 = t_1 + \Delta t (= 2')$	Le capteur C <sub>A</sub> enregistre l'entrée des bateaux $t_1 =$ temps au moment du passage du dernier bateau					
	"Veuillez patienter s.v.pl."	"Veuillez patienter s.v.pl."	ROUGE	ROUGE	ROUGE	ROUGE
Dès $t > t_2$ ( $= 2'$ )	La fermeture de la porte amont débute - $\Delta t_{\text{fermeture}} = 1'$ Ensuite le sasement par l'aval débute - $\Delta t_{\text{sasement}} = 4'$					
Durant le sasement	"Veuillez patienter s.v.pl."	"Enregistrez votre appel s.v.pl."	ROUGE	ROUGE	ROUGE	ROUGE

Trafic non équilibré - pas de bateau à l'aval

TEMPS	SIGNAL D'APPEL	FEUX D'ENTREE	FEUX DE SORTIE
Le sasement est terminé $t = t_3 = t_2 + \Delta t_{\text{ferm}} + \Delta t_{\text{sass}} (= 7')$	"Veuillez patienter s.v.pl." "Enregistrez votre appel s.v.pl."	ROUGE ROUGE	ROUGE ROUGE
A la fin de l'ouverture des portes busquées $t = t_3 + \Delta t_{\text{ouvert}} (= 8')$	"Veuillez patienter s.v.pl." "Enregistrez votre appel s.v.pl."	ROUGE ROUGE	ROUGE VERT
La sortie des bateaux $t = t_4 = t_3 + \Delta t_{\text{sortie}} (= 9')$	Le capteur C <sub>B</sub> enregistre la sortie des bateaux $t_4 =$ temps au moment de la sortie du dernier bateau		
$t = t_5 = t_4 + t_{\text{temp}} (= 9'30'')$	Aucun bateau d'aval n'ayant signalé sa présence, le tableau P <sub>B</sub> indique "Veuillez patienter s.v.pl." après un instant de temporisation. En parallèle les portes busquées se ferment		
	"Veuillez patienter s.v.pl." "Veuillez patienter s.v.pl."	ROUGE ROUGE	ROUGE ROUGE
$t = t_5 + \Delta t_{\text{ferm}} (= 10'30'')$	Les portes sont fermées - $\Delta t_{\text{fermeture}} (= 1')$ Le capteur C <sub>B</sub> n'a enregistré aucune entrée Le système se place en POSITION D'ATTENTE - les portes amont et aval fermées - on attend la demande suivante de sasement qu'elle qu'en soit l'origine		
	"Enregistrez votre appel s.v.pl." "Enregistrez votre appel s.v.pl."	ROUGE ROUGE	ROUGE ROUGE
Un bateau amont signale sa présence	Dans le cas d'un trafic de l'amont vers l'aval, on enregistre un appel par P <sub>A</sub>		
	"Appel enregistré - passage libre dans quelques instants" "Veuillez patienter s.v.pl."	ROUGE ROUGE	ROUGE ROUGE
$t = t_6 (= 10'30'')$	- Début du sasement - $\Delta t_{\text{sasement}} = 4'$ - La porte amont se couche - $\Delta t_{\text{ouverture}} (= 1')$ - Le capteur C <sub>B</sub> n'ayant pas enregistré de bateau, on autorise immédiatement les bateaux d'amont à entrer dans le sas		
$t = t_{\text{CYCLE}} = t_6 + \Delta t_{\text{sass}} + \Delta t_{\text{ouvert}} (= 15'30'')$	"Autorisation d'entrer dans le sas" "Veuillez patienter s.v.pl."	VERT ROUGE	ROUGE ROUGE

N.B. : Les temps indiqués entre parenthèses ne sont qu'indicatifs.  
Les indications soulignées correspondent à une modification de l'état des feux ou des tableaux d'appel.

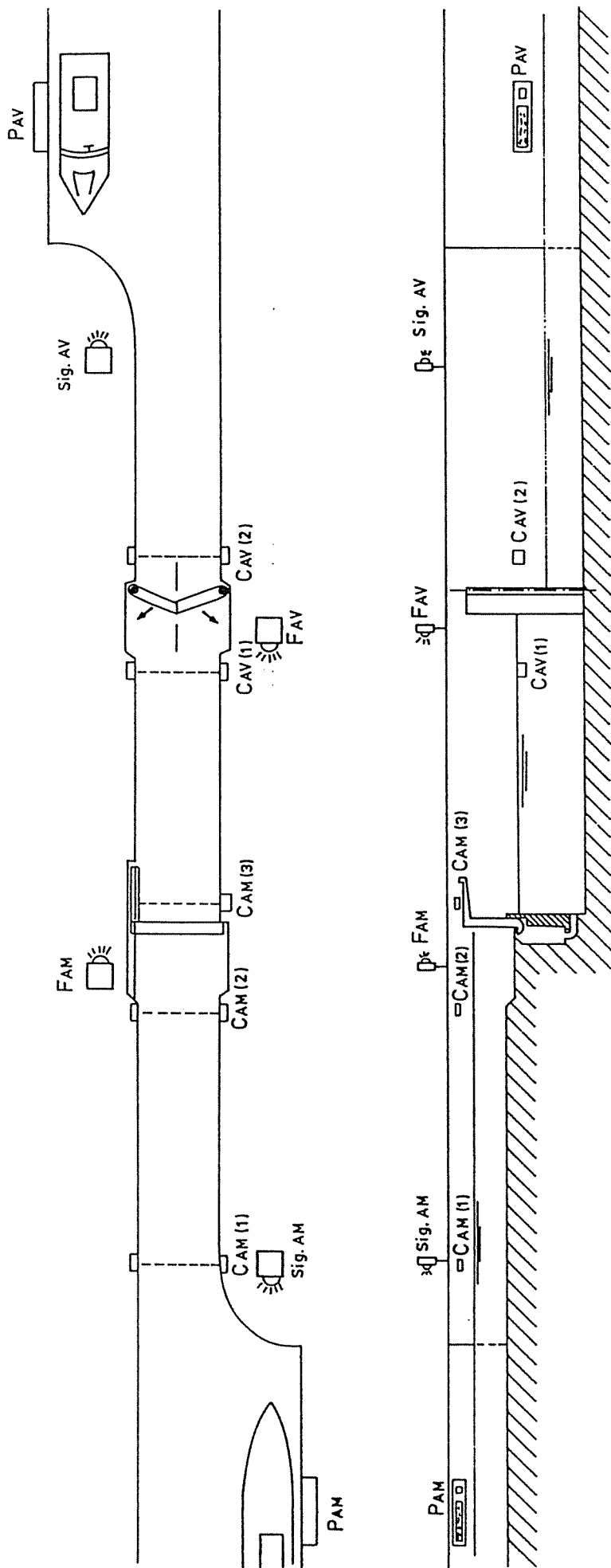


Figure 14 : Schéma indicatif des feux, capteurs et tableaux d'appel nécessaire pour une écluse "presse-bouton"

Ceux-ci font passer le feu Sign A (Sign B) au vert 30 secondes après la sortie du dernier bateau. C'est à l'entrée des bateaux dans le sas que les capteurs enregistrent leur passage et commandent le mécanisme de fermeture des portes 60 secondes après l'entrée du dernier bateau.

- Une position d'attente du dispositif est prévue en cas de faible trafic. Elle se caractérise par
  - la fermeture des portes amont et aval
  - un niveau dans le sas qui correspond au niveau aval ou amont selon le dernier éclusage
  - un même message à l'amont comme à l'aval :  
"Enregistrez votre appel s.v.pl."

#### 9. COMPORTEMENT DES BATEAUX

Un essai sur modèle à l'échelle 1/10 d'une écluse de 5 m de chute a été réalisé.

Il prouve le comportement satisfaisant des petites unités lors du remplissage et de la vidange.

#### 10. CONCLUSIONS

L'aspect économique que représente une voie d'eau équipée pour la grande navigation intérieure et la progression de la navigation de plaisance ces dernières années montrent combien il est difficile de garder un trafic

fluvial aussi fluide que possible.

La coexistence aux abords des chutes d'unités de gros tonnage et de petits bateaux de plaisance est synonyme de gaspillage, de danger et de retard. Ceci confirme l'opportunité qui existe de construire des écluses pour la navigation de plaisance.

Grâce aux relevés de l'Office de la Navigation de Liège (figures 1 et 2) et d'un sondage sur les dimensions de bateaux (figures 3 et 4) on a pu fixer les dimensions optimales, à savoir un sas de 18 m x 5 m et un chenal d'accès de 12 m x 2 m (figure 5).

Notre souci de la simplification nous a conduit à réduire les opérations de sasement et de manoeuvre.

Ainsi, c'est lors de l'ouverture de la porte amont (figure 6) que le remplissage du sas se fait. Il en est de même pour la vidange qui s'effectue par l'ouverture de ventelles situées dans la porte aval, celle-ci étant du type portes busquées.

La porte amont, en aluminium pour la facilité de l'entretien, est basculante autour d'un axe situé à la partie basse (figures 9, 10 et 11). Elle est commandée par câble, celui-ci ainsi que tout le mécanisme de manoeuvre est situé au-dessus du niveau de l'eau. La fermeture de la porte se fait automatiquement grâce à un caisson (figures 7 et 8).

Le temps de sasement pour une chute de 5 m est de l'ordre de 4 minutes y compris le temps d'ouverture de la porte amont (figure 12).

L'automatisation du franchissement assure l'éclusage 24 h sur 24.

Le principe de cette écluse "presse-bouton" (figure 14) est basé sur une suite logique d'opérations. Dès qu'un bateau met en marche le système, il est le seul à entrer en ligne de compte et les autres bateaux ne peuvent perturber la suite des opérations. Ce n'est qu'à la sortie du bateau que le système reprend l'algorithme avec le bateau suivant, ou se met dans une position d'attente.

La vérification de la stabilité des petites unités lors du sasement a été faite sur modèle réduit.

## SUMMARY

### MEANS OF OVERCOMING DIFFERENCES IN HEAD FOR PLEASURE NAVIGATION IN WATERWAYS EQUIPPED FOR THE CONVENTIONAL INLAND NAVIGATION

#### *Locks for pleasure navigation*

The economic role of the conventional inland navigation and the recent development of pleasure navigation prove how difficult it is to keep the river traffic as fluid as possible.

The coexistence, at the actual locking devices, of very important tonnage vessels and of very small pleasure craft, involve spoilage, danger and delays. This problem led the authors to the idea of stressing the importance of building special pleasure vessel locks.

Statistics coming from the "Office de la Navigation" (Liège, Belgium) (figures 1 and 2) and from a recent inquiry on vessel sizes (figures 3 and 4), fixed the optimal dimensions of a lock chamber : 18 m x 5 m. The access channel should measure 12 m x 2 m (figure 5). The filling and emptying operations of the chambers are realized by the opening of the upstream gate (figures 6 and 7) and by valves through the downstream gate.

The upstream gate is a L shaped tilt gate which covers an access well to the chamber.

Mitre gates with butterfly valves are recommended for the downstream gate.

The upstream gate should be in aluminium for easy maintenance and operated at one side only by a cable (figures 9, 10 and 11). An air chamber allows the tilting up (figure 8).

The study has been limited to heads restricted to 5 m, the usual value along the river Meuse.

In this situation, the time for filling or emptying is more or less 4 minutes (figure 12).

The "push button" principle is used to keep the lock operating 24 hours per day, if necessary without any lock-keeper (figure 14 and tables I and II).

The stability of the small craft has been checked on a model at 1/10 scale.