

# DES ECLUSES PREFABRIQUEES EN ALUMINIUM, UN « MUST » EN VUE DU DEVELOPPEMENT DE LA NAVIGATION DE PLAISANCE

par

**Philippe RIGO**

Ingénieur Civil des Constructions, Ph.D.,  
Assistant à l'Université de Liège (L.H.C.N.)<sup>(1)</sup>

## AVANT-PROPOS

Docteur en Sciences Appliquées de l'Université de Liège et ingénieur au L.H.C.N., peu de choses me prédisposaient à faire de longues recherches sur *l'aluminium* et ses applications. La navigation de plaisance et les propriétés remarquables de l'aluminium en ont décidé autrement.

N'ayant auparavant que peu de connaissances sur l'aluminium, nombreuses ont été les personnes qui m'ont aidé à m'informer sur ses propriétés, sur son traitement et sur ses applications industrielles.

C'est à ce titre que je voudrais remercier

- MM. Caiwenberg, Franci et Verrijken de la société SIDAL à Duffel,
- MM. Habrau et Colignon, ingénieurs à CMI Aubange,
- Mr. P. Ghyoot, directeur de l'Industrie de l'Aluminium,
- MM. N.M. Dehouse, Professeur à l'Université de Liège,
- Mr. J. Lambrecht dessinateur au LHCN de l'Université de Liège.

## I. INTRODUCTION

Notre projet d'*écluses préfabriquées en aluminium* s'inscrit dans le cadre du développement de la Navigation de Sport et de Plaisance.

En Belgique, la navigation de plaisance est une richesse économique méconnue et de ce fait encore inexploitée. Ce n'est pas de cas de nos voisins du Nord (Pays-Bas) qui ont très bien compris l'intérêt d'aménager leur 6000 km de canaux et de rivières navigables et leur 128.000 hectares de lacs, rivières et canaux, mer du Nord non comprise [1].

En Belgique comme dans de nombreux pays, l'administration et l'entretien des voies d'eau relèvent du secteur public. Jadis, les dépenses s'y rapportant pouvaient se comparer aux bénéfices apportés par la navigation intérieure — plus précisément, à la quantité de marchandises transportés. Mais l'image de la navigation intérieure s'est modifiée au cours du temps. Les bateaux et les barges sont devenus plus grands et plus rapides. D'autre part, depuis les années soixante, la navigation de sport et de plaisance a pris un essor énorme.

Ainsi, aux Pays-Bas, il en résulte qu'une importante partie des voies d'eau du pays est davantage utilisée par des bateaux de plaisance que par la navigation commerciale. Bien souvent l'entretien et l'exploitation des écluses et des ponts se font exclusivement à l'avantage de la navigation récréative [5].

<sup>(1)</sup> Laboratoires d'Hydrodynamique, d'Hydraulique Appliquée, de Constructions Hydrauliques et Navales - Université de Liège - 6 Quai Banning, 4000 Liège, Belgique.

Dans ce contexte, il devient important de se demander si, à l'image de la situation hollandaise, le bénéfice social de la navigation de plaisance peut justifier l'accroissement des dépenses publiques engagées dans la construction, la gestion et l'entretien de ces voies.

A titre d'exemplatif, nous donnons quelques aspects de l'étude économique menée par le NRIT (Institut Néerlandais du Tourisme et du Transport) concernant les sports nautiques et la navigation de plaisance aux Pays-Bas. Dans son article relatif à cette étude [1], Van Oostkom décrit les investigations entreprises sur ordre du gouvernement néerlandais dans le but de trouver une réponse à la question posée ci-avant.

## **II. ETUDE DES RETOMBÉES ÉCONOMIQUES DE LA PLAISANCE**

En premier lieu, l'étude du NRIT [1] évalue les montants dépensés dans la navigation de plaisance et les sports nautiques. Ensuite, elle détermine le nombre d'emplois engendrés dans les secteurs de la plaisance et dans les secteurs annexes (hôtellerie, ...).

L'année de référence prise par le NRIT auquel se réfère Van Oostkom est 1985.

### **II.1. Evaluation des dépenses dues à la navigation de plaisance et aux sports nautiques**

#### *II.1.1. Les achats*

Un total de 295 millions de florins furent dépensés pour l'achat de yachts et de petits bateaux, de leur moteurs, équipements et accessoires.

#### *II.1.2. Le mouillage*

Pour les 120.00 voiliers et bateaux à moteurs de plaisance ayant mouillé dans les ports durant l'été 1985 et compte tenu des frais d'hivernage, 112 millions de florins ont été payés.

#### *II.1.3. La maintenance*

Les frais de maintenance et de réparations mineures pour l'ensemble de la flotte de plaisance ont été estimés pour 1985 à 240 millions de florins.

#### *II.1.4. Frais divers*

En plus des montants ci-dessus mentionnés, les dépenses résultants du carburant, des assurances, des

frais financiers, des taxes de séjours, des charges de passage aux écluses et aux ponts mobiles, des magazines spécialisés et des cartes, ... atteignent quelques 302 millions de florins.

#### *II.1.5. Excursion d'un jour*

Compte tenu des 13,65 millions de journées d'excursion que l'on a recensées en 1985, on peut estimer que les frais encourus ont été de 264,9 millions de florins.

#### *II.1.6. Vacances en bateau*

L'utilisation du bateau comme moyen de transport pour les vacances est très répandue aux Pays-Bas. Comme plusieurs milliers de familles voyageant en bateau sont recensés annuellement, 179,7 millions de florins correspondent aux frais engagés.

#### *II.1.7. La compétition*

Les montants engagés pour les courses et compétitions, les cours particuliers et les leçons de conduite de bateaux à moteur sont d'environ 2,4 millions de florins.

L'ensemble de ces dépenses estimées par le NRIT indique qu'environ 27 milliards de FB sont dépensés chaque année aux Pays Bas dans des activités ayant rapport avec la navigation de plaisance et aux sports nautiques.

## **II.2. Les emplois créés et les retombées économiques**

Le tableau 1 reprend les estimations de NRIT concernant les emplois créés et les retombées économiques. Cette étude a été faite sur base de la valeur ajoutée qu'apporte la navigation de plaisance dans les divers secteurs commerciaux. L'unité utilisée est le nombre d'emploi-année créé par million de florins engagé. Ce nombre d'emploi-année est obtenu en multipliant la valeur ajoutée par un coefficient fonction du secteur commercial. Pour les différents secteurs (commerce, hôtellerie, ...), ce tableau 1 donne le nombre d'emplois directs et indirects ainsi créés grâce à la plaisance.

Pour la navigation de plaisance et les sports nautiques, le total estimé d'emplois créés est ainsi de plus de 9000. Ce secteur est, aux Pays-Bas, celui ayant le plus de répercussion économique au niveau du tourisme et de la culture.

Cela confirme les déclarations d'un haut responsable du Ministère du Tourisme et des Sports affir-

**TABLEAU 1 — Estimations du NRIT concernant les emplois créés et les retombées économiques créés par la navigation de plaisance**

Impact économique de la navigation de plaisance aux Pays-Bas, 1985				
Secteurs économiques	Valeur ajoutée (Millions de florins)	Nombre d'emplois créés par la plaisance		
		Directs	Indirects	Total
1. Commerces (mat. plaisance)	147,6	1.624	542	2.166
2. Autres industries	13,6	101	167	268
3. Services liés à la plaisance	1.111,9	607	140	747
4. Autres services	2,1	29	3	32
5. Réparations et entretiens	60,5	865	199	1.064
6. Hôtels et restaurations	143,3	1.673	435	2.108
7. Culture et récréation	188,3	1.990	637	2.627
Total	677,3	6.689	2.123	9.012

mant, le 15 août 1989, que c'est dans le secteur touristique que les répercussions économiques d'un investissement sont les plus importantes. Pour un franc investi, c'est dans le tourisme que les retombées économiques pour une région seront les plus importantes.

### II.3. Conclusions

Tout ceci montre l'intérêt de la navigation de plaisance et des activités nautiques dans l'économie des Pays-Bas. Le NRIT a estimé qu'en plus des 9000 emplois créés, la plaisance engendrait les rentrées d'argent (franchissement des écluses, TVA, impôts, ...) qui permettent au gouvernement des Pays-Bas de payer 3500 de ses fonctionnaires.

Le Gouvernement hollandais a très bien compris l'intérêt qu'il a de soutenir ce secteur porteur. Ainsi, dans son planning d'aménagement du territoire (planning allant jusqu'en 2015), la plaisance occupe une place importante. De plus, on y reconnaît explicitement que ce secteur contribue à l'économie nationale et qu'une amélioration et une attention plus particulière à la qualité des services proposés sont susceptibles de renforcer l'engouement des visiteurs étrangers et de leur... devises.

## III. LA NAVIGATION DE PLAISANCE ET L'EUROPE

### III.1. L'exemple européen

Le développement de la plaisance n'est pas un phénomène localisé aux Pays-Bas. Pour s'en convaincre, il suffit de regarder autour de soi et se rendre compte que l'engouement pour la navigation de plaisance est un phénomène européen et international.

— *A Metz*, la mise en valeur des sites liées à l'eau (plaisance) est désormais systématiquement prise en compte dans toutes les décisions qui touchent à l'aménagement urbain; elle est garante de l'image sur laquelle la ville souhaite asseoir son dynamisme économique [6].

— *Nancy*, suite à l'aménagement du canal de la Marne au Rhin et de la Meurthe, a maintenant la chance d'avoir une voie d'eau qui passe au cœur de la ville. Il y a donc là une carte tout à fait intéressante à jouer dans le cadre du schéma régional du tourisme fluvial [7].

— *A Berlin*, en vue de reconverter des zones industrielles et portuaires à l'abandon, on a aménagé les lacs et canaux de manière à créer un centre de déclassement accessible aux activités de plaisance [8].

— *A Gorinchem (P-B)*, après 30 années de discussions, a eu lieu le 18 mai 1988 l'inauguration d'un port réservé à la navigation de plaisance. Les yachts et bateaux de plaisance y égayent la ville et ravivent son commerce et son économie. Pour ce faire, une écluse et plusieurs ponts ont été construits [9].

— *Au Royaume Uni* (Londres, Birmingham, Glasgow, Leeds, ...), plusieurs canaux ont été entretenus en vue d'une adaptation à la navigation de plaisance et autres activités de loisirs (fig. 1). Cela a permis de revaloriser les sites riverains en garantissant leur valeur d'un point de vue esthétique et en permettant une réintégration progressive dans le circuit économique [10, 19].

— *En Finlande*, les fortes fréquentations de bateaux de plaisance aux écluses (en moyenne, 1700 bateaux par écluse et par an et un maximum de 9000

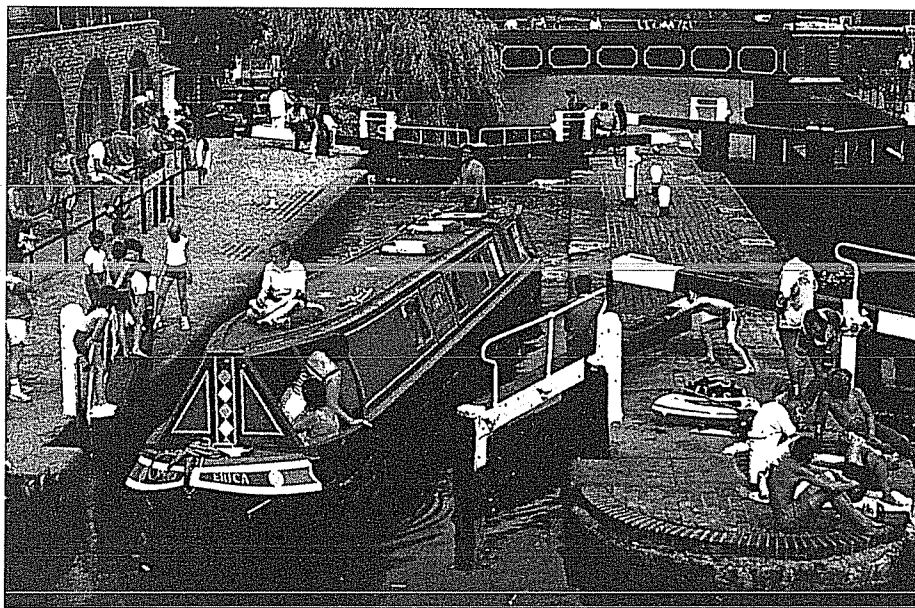


Fig. 1. — A Londres, une écluse aménagée spécialement pour la plaisance.

pour les plus fréquentées) ont conduit les autorités du pays à concevoir des écluses de plaisance totalement automatisées de type self-service [11].

— Au Luxembourg, déjà dans les années 1960, lors de la construction à Trèves du complexe écluses-barrages mobiles-usine hydroélectrique, une écluse pour bateaux de plaisance a été prévue [12].

### III.2. La situation belge

Il est difficile d'appliquer les enseignements et d'extrapoler les données néerlandaises à la situation belge. La situation est bien sûr moins favorable, il n'y a en Belgique que 50 km de plage et les canaux ne sont pas aussi nombreux.

Néanmoins, la situation privilégiée de la Belgique, centre de l'Europe et pays de grande tradition en matière de voies navigables montre l'intérêt qu'a la Belgique de ne pas négliger le secteur de la navigation de plaisance. La Meuse, le canal Albert, la Sambre, le canal Maritime et le canal du Centre sont des exemples marquants de voies de pénétration utilisées couramment par de nombreux plaisanciers. Leur but, partant des Pays-Bas, de l'Allemagne, ... est de rejoindre leur lieu de séjour qui est d'ailleurs Pays-Bas, de l'Allemagne, ... est de rejoindre leur lieu de séjour qui est d'ailleurs souvent le midi de la France. Malheureusement, notre pays sert trop souvent de route de passage et encore trop peu de plaisanciers y séjournent ou même s'y arrêtent.

*Cela peut et doit changer! Les atouts belges sont aussi nombreux qu'importants et méritent d'être mis en exergue*

— Certes, « Belgique, carrefour de l'Europe » est un slogan politique et économique mais il doit également le devenir en matière de tourisme et plus particulièrement en ce qui concerne la navigation de plaisance. En effet, la Belgique est une région de passage obligée pour les plaisanciers voulant se rendre en France. Nous sommes à la jonction de plusieurs bassins hydrographiques et il faut obligatoirement transiter par la Belgique pour passer d'un bassin à un autre. Ainsi, pour joindre le Rhin, le Rhône, la Meuse, ... la Belgique est bien souvent une région de passage obligée.

— La Belgique navigable ne se limite pas à la Meuse, le canal Albert, la Sambre, le canal du Centre et le canal maritime. En effet, nombreux sont dans le nord du pays les peits canaux qui ne sont plus économiquement rentables pour le transport des marchandises mais qui ne demandent qu'à être parcourus par des plaisanciers à la recherche de coins pittoresques, de tranquillité et d'écologie (l'ancien canal du centre, le canal d'Ath à Condé sur la Dendre, La Lys, la Sambre en amont de Charleroi, le canal Dunkerque-Nieuwpoort-Plassendale, les canaux de Bruges et Damme, les canaux campinois comme le Zuid-Willemsvaart, etc...). Les Français qui aménagent le Haut-Rhône ont très bien compris l'attrait touristique que représente la navigation de

plaisance. Ainsi projettent-ils de construire 4 écluses spécialement conçues et destinées à la plaisance; le gabarit choisi étant celui dit de «Freyssinet» (300 tonnes).

— L'attrait touristique du sud de notre Pays (le bassin de la Meuse et les Ardennes) est considérable vis-à-vis de nos voisins du nord. Il suffirait que nos autorités politiques régionales en prennent conscience pour prévoir sur la Haute-Meuse (Namur-Dinant-Hastières) des aménagements spécifiques à la plaisance afin d'y intensifier le trafic de plaisance et ainsi accroître les retombées économiques du tourisme sur une région fort défavorisées industriellement. Ainsi, des aménagements tels que zones de mouillage, quais d'accostage, plages, plans d'eau accessibles aux planches à voile et autres sports nautiques, parcs de déclassement, ... inciteraient les plaisanciers à passer quelques jours dans nos contrées avant de poursuivre leur route.

— La Belgique est riche d'un passé de plusieurs siècles de navigation intérieure. Ainsi, dès le 18<sup>e</sup> siècle, Chaudfontaine était le but de promenades nautiques. Un coche d'eau a existé dès la fin du 17<sup>e</sup> siècle qui permettait en quelques 3 heures de joindre Liège à Chaudfontaine (fig. 2). D'un autre côté (fig. 3), les 4 ascenseurs hydrauliques sur le Canal du Centre attirent une foule nombreuse; 25.000 personnes l'année dernière et l'objectif est d'en accueillir 100.000. Plus d'une trentaine de personnes vivent actuellement des retombées économiques de ce tourisme dans la région du Centre (Charleroi).

— Des centres de villégiature tel que celui en construction à Chaudfontaine «Paradis Tropical» augmentent l'attrait touristique de l'ensemble de la région et ce n'est pas les aléas financiers récents qui nous contrediront. Dans le cas précis de Chaudfontaine [13], l'aménagement de la Vesdre (entre Liège et le centre de loisir) afin de rendre navigable durant



Fig. 2. — Une après-midi en barque sur la Vesdre en 1757.

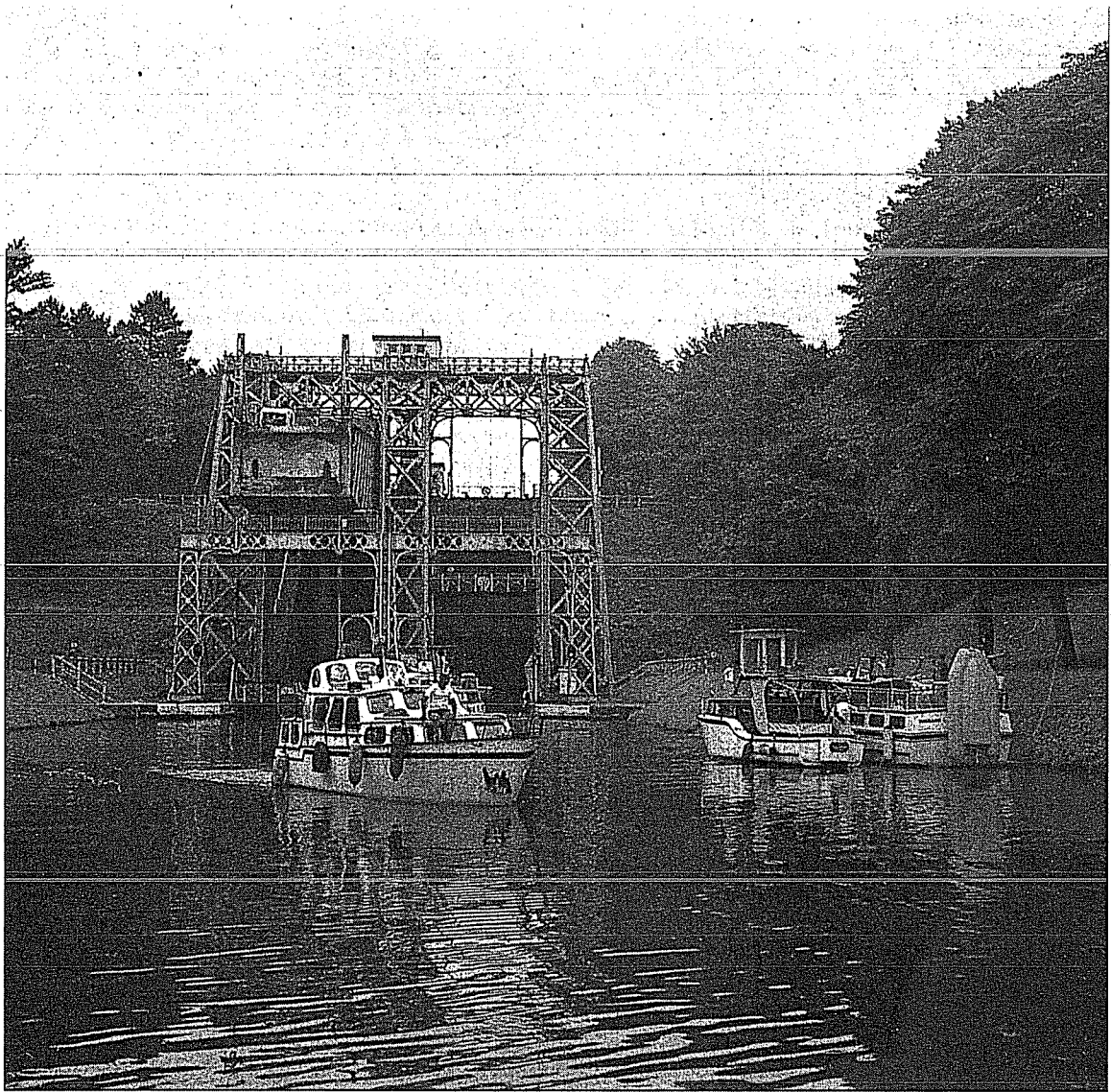


Fig. 3. — A Strey-Bracquignies, cet ascenseur hydraulique fait franchir depuis depuis près d'un siècle une dénivellation de 16 m aux péniches et aujourd'hui aux bateaux de plaisance.

la période estivale augmenterait les retombées économiques de tels investissements. Nous avons étudié en détails la faisabilité d'une telle jonction [2].

#### IV. PROPOSITIONS D'ÉCLUSES PRÉFABRIQUÉES EN ALUMINIUM

Le but et l'objet de notre étude ne repose pas sur l'aspect économique que représente la navigation de plaisance ou sur le calcul de rentabilité de tel ou tel projet. En effet, les développements repris aux chapitres précédents ont montré suffisamment clairement que la plaisance est un secteur économiquement très intéressant pour un pays comme la Belgique.

L'objet de nos recherches et développements est plus technique. Il constitue en fait, en la mise au point d'un outil destiné à l'aménagement des fleuves et rivières en vue de faciliter le franchissement des diverses chutes et retenues. L'idée est de développer le concept *d'écluses en aluminium spécialement conçues pour les bateaux de plaisance*.

Des études récentes, très poussées au niveau de la simulation mathématique du phénomène de queue d'attente près des écluses ont montré que pour faire face au développement de la navigation de plaisance dans les années à venir, *il est recommandé de prévoir des écluses spéciales pour bateaux de plaisance* [14].

Afin de réduire leur coût et de faciliter leur construction, nous proposons un système d'écluse préfabriquée en aluminium qui servirait en quelque sorte de coffrage perdu; les portes amont et aval ainsi que le système de sasement étant intégrés dans le système clef sur porte. Cette écluse standard serait utilisable sans aucune modification pour des chutes allant de 3,5 m à 10 m.

Dans un premier temps, vers les années 1984, nous nous sommes intéressés à la conception d'une écluse de plaisance (dimensions, types de portes, mode de sasement, temps de sasement, mode de franchissement et automatisation du système) [3]. Notre but était de rendre le franchissement aussi aisé, confortable, sécurisant et rapide que possible tout en visant une automatisation du franchissement qui doit permettre au plaisancier de se prendre totalement en charge. Déjà à l'époque, l'aluminium s'était imposé à nous comme le meilleur matériau en vue de la construction des portes et plus spécialement de la porte basculante à l'amont de l'écluse.

Plus récemment, nous nous sommes demandé quelle était la meilleure technique à mettre en œuvre en vue de la réalisation de ce type d'écluse; cette technique devant permettre autant que possible une standardisation aussi aisée et aussi peu coûteuse que possible.

A priori, la technique classique du béton armé coulé sur place peut sembler intéressante, mais c'est sans compter avec le coût prohibitif de la main d'œuvre nécessaire pour la réalisation des coffrages des têtes amont et aval ainsi qu'éventuellement d'aqueducs longitudinaux. Des surcoûts au niveau de plusieurs postes de la construction résulteraient également du fait des faibles quantités à mettre en œuvre.

Au niveau des techniques de préfabrication, la construction à partir de tronçons en béton armé ou de béton de fibres, quoique moins coûteuse est à rejeter compte tenu des problèmes de manutention et de transport que ces solutions engendrent. En effet, les poids à déplacer seraient de plus de 100 tonnes par élément, ce qui nécessiterait des grues de levage de grande capacité ainsi que des problèmes d'accès au chantier.

Nous avons recherché une solution que nous avons voulue optimale, peu coûteuse, ne nécessitant sur chantier que peu de moyens d'exécution et de transport, rapide à mettre en place, conduisant à un ouvrage de franchissement rapide (afin d'éviter les files d'attente), fonctionnel, confortable et sécurisant pour les plaisanciers.

Dans notre recherche du choix optimal du mode de réalisation, l'accent a été mis sur la facilité

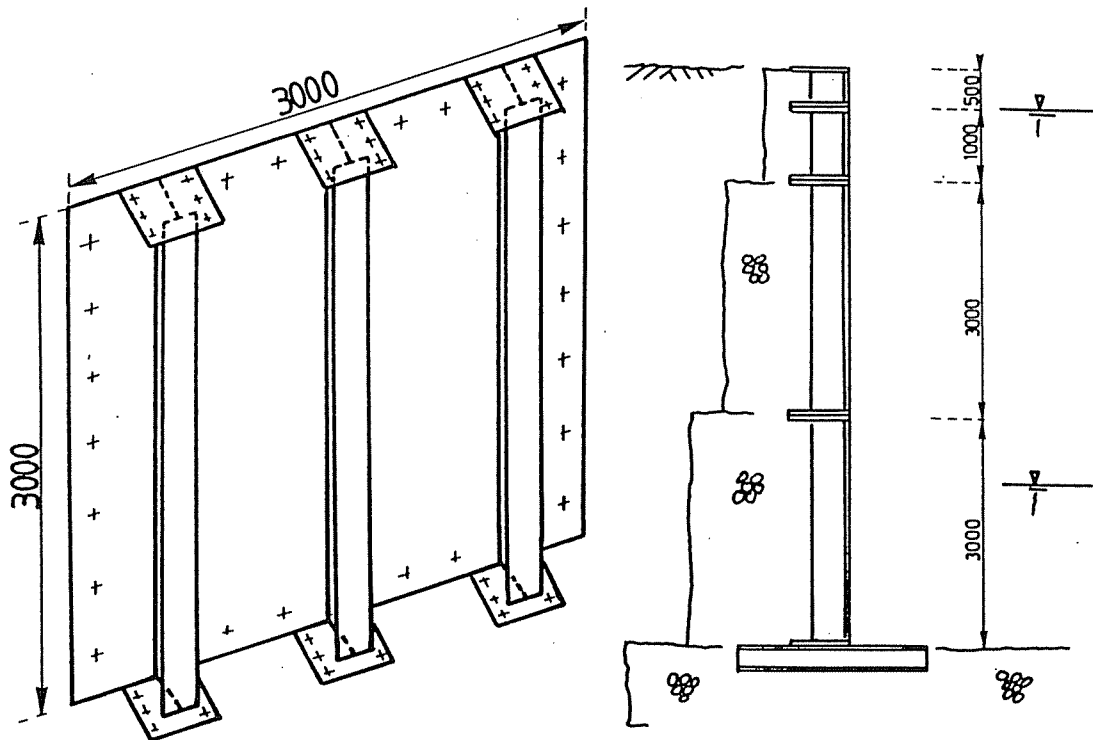


Fig. 4. — Panneau raidi en aluminium de 3,00 m sur 3,00 m servant d'élément de base pour la préfabrication des bajoyers de l'écluse.

d'exécution et surtout sur la réduction des moyens d'exécutions (main-d'œuvre, grues, coffrages, ...) et de transport (acheminement du matériel et son maniement sur chantier). Ainsi, avons nous voulu trouver un système de réalisation pour lequel l'ensemble du matériel à acheminer peut s'effectuer via des transports usuels, en tonnage (10 tonnes) et en dimensions (2,5 m de large). De plus, nous avons voulu réduire au strict minimum les opérations longues et coûteuses de coffrages et de ferrailages.

Cela étant, la solution retenue se base sur des éléments en aluminium, préfabriqués, qui servent de coffrages perdus pour les têtes amont et aval ainsi que pour les bajoyers (voir figs. 23 à 28 ci après). La réalisation des bajoyers repose sur des éléments préfabriqués et raidis (fig. 4), dont les dimensions sont 3,00 m sur 3,00 m. Il est ainsi aisé d'assembler plusieurs éléments les uns à coté des autres pour former un bajoyer complet de la longueur désirée. La hauteur exacte du bajoyer (par exemple 7,5 m) est atteinte grâce à de petits éléments de 1,00 m et de

0,50 m de hauteur, l'autre dimension restant de 3,00 m. Pour l'exemple d'un sas de 7,50 m de haut, il faudra donc par tronçon de 3 m de bajoyer, 2 éléments de  $3,00 \times 3,00$  m, 1 élément de  $3,00 \times 1,00$  m et 1 élément de  $3,00 \times 0,50$  m.

Des éléments en forme de U de 3,00; 1,00 et 0,50 m de hauteur sont également prévus (fig. 5). Ils peuvent s'intercaler entre 2 tronçons de 3 m schématisés à la figure 4 et ont un usage multiple. Ainsi peuvent-ils servir indifféremment de rainure pour les batardeaux de secours, de rainure pour placer une échelle dans le sans de rainure pour placer des bollards fixes ou flottants.

Les têtes amont et aval, également en aluminium, sont d'une conception plus sophistiquée et requerront un travail important et plus soigné en usine. Cependant, le gain de temps et la facilité de mise en œuvre sur chantier compenseront largement l'investissement réalisé. L'économie réalisée viendra principalement de la disparition de toutes espèces de

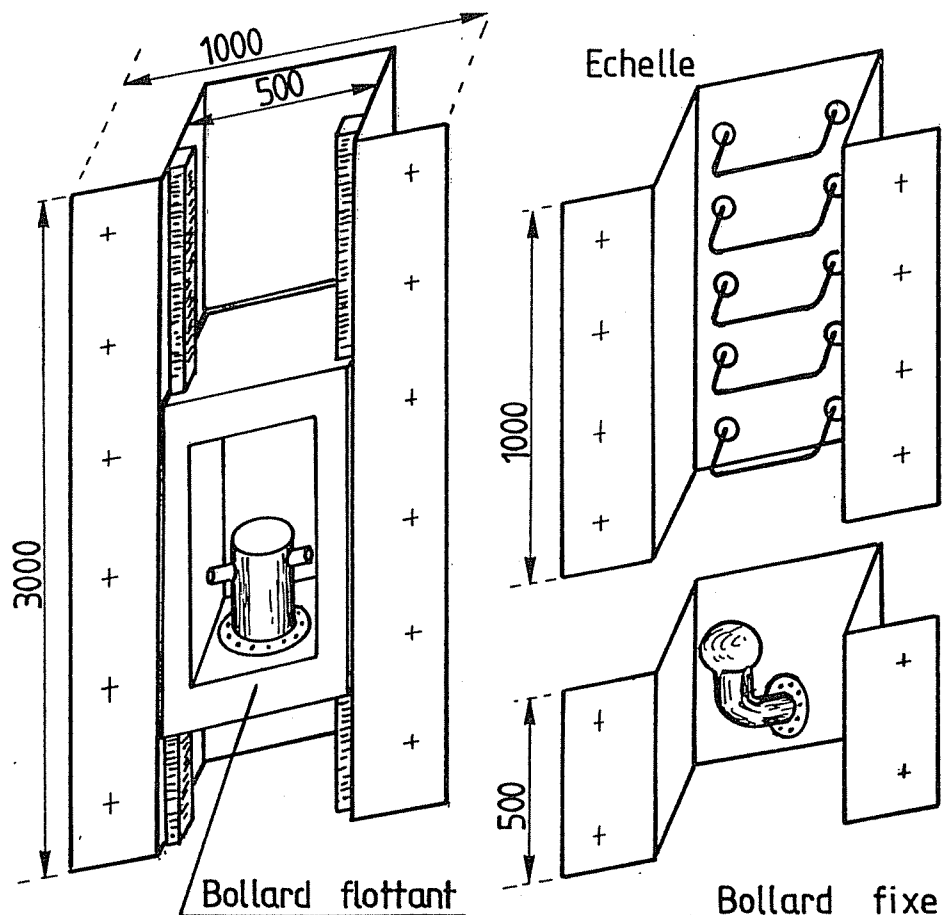


Fig. 5. — Élément en aluminium de 3 m, 1 m ou 0,5 m de long en forme de U pouvant servir de rainure pour les batardeaux de secours, pour une échelle, pour des bollards.



coffrage, surtout ceux des têtes de portes, des canalisations et des batées et logements des portes. Ainsi, il ne sera plus nécessaire de prévoir un bétonnage de seconde phase pour tous les endroits quelque peu délicats, étanchéités, batées, supports des axes de portes et des pièces mécaniques.

Les portes, également en aluminium, font partie intégrante du système clef sur porte (porte amont basculante et portes aval busquées).

A l'image de ces panneaux métalliques en aluminium (fig. 4) qui suppriment toutes opérations de coffrage, nous proposons l'utilisation du *béton de fibres métalliques* pour les bétons du radier, des bajoyers et des têtes de porte. On supprimera de cette manière, toutes les opérations lentes et pénibles de ferrailage et l'on réduira aussi le risque de corrosion galvanique causée par un contact entre les barres de l'armature et les panneaux d'aluminium.

#### IV.1. Les raisons du choix de l'aluminium

Lorsque l'on parle de panneau métallique de coffrage, le réflexe d'une immense partie des ingénieurs est en fait de penser acier en oubliant que la construction métallique n'est pas synonyme d'acier mais peut aussi signifier aluminium. Ce mauvais «réflexe», est dû, selon Mr. P. M. Ghyoot, Directeur de l'association des producteurs belges d'aluminium [27], à la relative jeunesse de l'aluminium vis-à-vis de l'acier. De plus, explique Mr. Ghyoot, cette tradition de l'acier a même pénétré l'enseignement et nos universités. Ainsi, si l'on parle abondamment de l'acier, on n'enseigne que fort peu de choses au sujet de l'aluminium.

Ces constatations, nous les avons également faites lorsque, plutôt que de laisser jouer notre réflexe acier, nous avons évalué les avantages et inconvénients de divers métaux. Très vite, seul l'aluminium et l'acier restent susceptibles d'être utilisés.

L'emploi de l'aluminium se justifie dans 3 circonstances :

- si le poids à beaucoup d'importance,
- si l'importance d'un entretien aisé et réduit est requis,
- si l'aspect esthétique est une priorité.

En ce qui nous concerne, les deux premières conditions, sont sans aucun doute respectées, nous y reviendrons. Pour l'aspect esthétique, quoique son

importance soit réduite du fait qu'une partie importante de la structure sera en permanence sous eau, l'aspect propre, net et sécurisant de l'aluminium est une raison supplémentaire de le choisir.

*Les avantages de l'acier vis-à-vis de l'aluminium* sont d'abord son moindre coût au kg et ensuite ses caractéristiques mécaniques plus élevées. Ainsi que nous le verrons par la suite, pour les ouvrages que nous voulons étudier, ces avantages ne se montreront pas décisifs.

*Les avantages de l'aluminium* sont par contre bien plus intéressants. Citons d'abord son poids,  $26,6 \text{ kN/m}^3$  au lieu de  $78,5 \text{ kN/m}^3$  pour l'acier; soit un rapport de 1 à 3. Lorsque les métaux sont immergés, le rapport devient encore plus avantageux pour l'aluminium,  $16,6 \text{ kN/m}^3$  au lieu de  $68,5 \text{ kN/m}^3$  pour l'acier; soit un rapport de 1 à 4.

Pour les constructions hydrauliques en acier, compte tenu des problèmes de corrosion, il n'est pas envisageable d'utiliser des épaisseurs inférieures à 8 ou 10 mm [4]. Cela est extrêmement coûteux vu que dans notre projet, 4 à 5 mm d'épaisseur seraient amplement suffisants du point de vue résistance mécanique.

Avec l'aluminium, 8 à 10 mm seront également nécessaires mais cette fois pour des raisons de résistance mécanique.

En conclusion, pour les ouvrages envisagés, le volume d'acier ou d'aluminium seront semblables quelque soit le choix du métal. En conséquence, il faudrait que le coût des ouvrages en aluminium par rapport au coût de la solution acier soit près de trois fois plus élevé pour que l'on choisisse l'acier plutôt que l'aluminium.

Avec l'aluminium, pour l'ensemble des éléments de l'écluse (bajoyers préfabriqués, têtes de portes et les ports elles-mêmes) le coût au kilo sera d'environ 350 F. Par contre pour l'acier, à la construction le coût au kilo sera d'environ 100 F, mais il faut y ajouter l'ensemble de frais d'entretien sur une période de 20 ans. Le coût de revient au kilo d'acier peut donc être estimé à 120 F/kg. A volume égal, on obtient donc :

$$\text{Aluminium:} \\ 2660 \text{ kg/m}^3 \times 350 \text{ F/kg} = 93100 \text{ F/m}^3$$

$$\text{Acier:} \\ 7850 \text{ kg/m}^3 \times 120 \text{ F/kg} = 94200 \text{ F/m}^3$$

### Remarque

Ces estimations du prix au kilo peuvent être confirmés par le raisonnement suivant :

Le prix des éléments de base (tôles, ...) sont

pour un kilo d'acier : 35 F/kg et  
pour un kilo d'aluminium : 160 F/kg.

Le coût de la main d'œuvre sur un kilo d'acier étant estimé pour une écluse à 65 F, et comme à volume égal le coût de la main d'œuvre est identique pour l'acier ou pour l'aluminium, le coût de la main d'œuvre pour un kilo d'aluminium peut être estimé à 192 F ( $65 \text{ F} \times 7,85/2,66$ ). En conséquence au prix de 100 F au kilo pour l'acier (35+65), correspond un somme de 253 F au kilo pour l'aluminium (160+192).

En conséquence, à volume égal, pour ce type de structure, les coûts pour l'acier et pour l'aluminium sont comparables. Ce sont donc d'autres facteurs, que le prix, qui ont guidé notre choix.

Les facteurs économiques qui furent déterminants pour le choix du métal sont, les *frais d'entretien*, le *coût de l'acheminement* sur le site des engins de manutention à mobiliser sur chantier ainsi que le *coût du montage* des divers éléments préfabriqués. Rappelons que nous nous étions fixé comme impératif de départ de réduire au maximum les problèmes de manutention et de transports ainsi que l'encombrement provoqué par les grues et dispositifs d'accès au site.

*La haute résistance de l'aluminium face à la corrosion* est un des facteurs qui a fait pencher la balance en faveur de l'aluminium. La corrosion de l'acier est en effet préjudiciable à son utilisation dans certaines constructions hydrauliques. Ainsi des épaisseurs de 8 à 10 mm non requises pour la simple résistance mécanique, sont nécessaires pour se prémunir du danger de corrosion. L'acier requiert un entretien coûteux (sablage, peinture de base et de recouvrement) alors que pour l'aluminium l'entretien est élémentaire (nettoyage à l'eau, avec éventuellement un peu de détergent afin de diluer les agents agressifs).

L'aluminium se situe parmi les métaux présentant la meilleure résistance à la corrosion. Ceci s'explique en grande partie par la formation d'une couche d'oxyde apparaissant spontanément dès que l'aluminium est mis au contact de l'air.

En ce qui concerne *la durabilité de l'aluminium*, le recul vis-à-vis de structures en aluminium déjà réalisées n'est pas encore suffisant (50 à 100 ans) pour pouvoir porter un jugement final. Cependant, on peut affirmer que la durée de vie est supérieure à 100 ans pour autant qu'un nettoyage de surface à l'eau soit effectué régulièrement.

*Le choix de l'alliage d'aluminium* a été fait de manière à ce qu'il soit particulièrement résistant à la corrosion.

Pour rappel, il y a 6 grandes familles d'aluminium auquel il faut ajouter celle de l'aluminium non allié [28].

Série 1000	Aluminium non allié
Série 2000	Aluminium cuivre
Série 3000	Aluminium manganèse
Série 4000	Aluminium silicium
Série 5000	Aluminium magnésium
Série 6000	Aluminium magnésium silicium
Série 7000	Aluminium zinc

Compte tenu du projet et de l'utilisation de l'aluminium, nous avons choisi l'alliage de la famille 5000 (alliage de corroyage sans durcissement structural). Les alliages de cette série présentent un ensemble remarquable de propriétés dont voici quelques unes qui nous intéressent particulièrement :

- bonne aptitude à la mise à forme et bonne soudabilité opératoire et métallurgique,
- excellente résistance à la corrosion à l'état soudé ou non,
- très bon comportement aux basses températures.

A l'intérieur de cette famille 5000, notre choix s'est porté sur l'alliage d'aluminium « Al·Mg·4·Mn » (norme Din) équivalent au « 5086 » des normes françaises et américaines dont la résistance à la corrosion est encore renforcée par la présence de manganèse (le manganèse, le magnésium et le chrome sont les éléments ayant une influence positive sur la résistance à la corrosion de l'aluminium). Les alliages à base de magnésium et de manganèse sont les plus efficaces face à la corrosion, qu'elle soit atmosphérique ou marine. En effet, ces éléments renforcent la stabilité du film d'oxyde naturel, l'alumine, qui recouvre le métal. La stabilité de l'aluminium dans l'eau est très grande parce que le film d'alumine est très stable dans la zone des pH proches de la neutralité.

*Le soudage de l'aluminium* ne pose aucun problème du pont de vue corrosion pour autant qu'il

soit fait dans les règles de l'art avec un alliage d'apport compatible. Des essais de corrosion, notamment en eau de mer, montrent que les soudures ne sont jamais des endroits préférentiels de corrosion (sauf l'alliage pour 7020).

*La corrosion de l'aluminium face au béton frais* mérite cependant quelques attentions [33]. Bien que les bétons aient un pH supérieur à 10, l'aluminium et ses alliages résistent très bien au contact des bétons. Cependant, il se produit toujours au début de la prise du béton un léger décapage de l'aluminium sur une épaisseur inférieure à 30 microns; attaque qui cesse très rapidement dès les premiers jours de contact. Cette attaque a pour effet d'abaisser très localement le pH vers 8 et de former sur l'aluminium un film protecteur d'aluminate de calcium.

L'aluminium «Al·Mg·4·Mn» ou «5086» possède les caractéristiques suivantes [30, 31, 32 et 36]:

$E = 71,00 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$	(Module de Young)
$\nu = 0,33$	(Coefficient de Poisson)
$A = 26,6 \text{ kN/m}^3$	(Poids spécifique)
$R_e = 125 \text{ à } 190 \text{ N/mm}^2$	(Limite élastique)
$R_p = 275 \text{ à } 350 \text{ N/mm}^2$	(Limite de rupture)

Les alliages d'aluminium de la série 5000 étant non trempants, le durcissement s'effectue par écrouissage. Le niveau de l'écrouissage influence donc la limite élastique qui peut donc varier en pratique de 125 à 190 N/mm<sup>2</sup>. Pour le calcul des portes, nous nous sommes basé sur une contrainte admissible de 85 N/mm<sup>2</sup>.

Enfin, les propriétés au pliage à froid de l'aluminium 5086 sont bonnes sans toutefois être exceptionnelles. L'ensemble des propriétés physiques, mécaniques et technologiques ainsi que la composition de cet alliage sont décrites dans les ouvrages cités en référence [28, 30, 31, 32, 33 et 36].

#### Remarque

Le choix de l'alliage 5086 est confirmé par de nombreuses utilisations de l'aluminium pour des structures hydrauliques ou navales. Ainsi, le ponton du port de Tréboul dans le Finistère ou le bateau «Pen Duick 6» d'Eric Tabarly ont été construits avec cet alliage. Dans son ouvrage sur les alliages 5000, Blaze [36] confirme également notre choix de la série 5000 et plus particulièrement celui de l'alliage 5086 pour la navigation de plaisance et les structures marines.

## IV.2. Evolution de la navigation commerciale

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 navigation intérieure atteignent 200 × 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 un temps d'accès et de sortie beaucoup plus important que le seul temps de sasement compte tenu des difficultés de manœuvre des grosses unités lors de leur entrée et sortie de l'écluse. D'autre part, la navigation de plaisance connaît un engouement très important 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 frères esquifs. Ainsi, en guise de conclusion de ses travaux, le groupe de travail mixte AISM/AIPCN [15] notait que: «La difficulté de manœuvre plus grande des navires commerciaux par rapport aux bateaux de plaisance n'est pas toujours prise en considération».

*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 (200 m × 24 m).

*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 transportés par la voie d'eau.

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

A l'instar de ce qui est réalisé sur la Moselle depuis bientôt 30 ans [12], nous suggérons de rendre le trafic au droit des écluses plus fluide en prévoyant des écluses spécialement adaptées au besoin de la navigation de plaisance.

#### IV.3. Estimation du gabarit à donner aux écluses de plaisance

L'estimation du gabarit a été effectuée de manière à englober la majeure partie du trafic de plaisance : le pourcentage de 95 % a été choisi. Sur base de ce pourcentage, les dimensions standard (longueur, largeur, enfoncement) ont été estimées.

Ces dimensions ont été déterminées sur base de relevés ou de données ayant trois origines différentes :

A) Les carnets d'éclusiers dans lesquels sont notés le nom et la jauge de chaque bateau qui utilise l'écluse en question. Pour définir le gabarit standard englobant tous les bateaux concernés, nous avons classé selon leur jauge les 1248 bateaux de plaisance ayant utilisé l'écluse d'Ivoz Ramet durant le mois de juillet 1984 [3]. Ainsi a été tracée la courbe des fréquences de la figure 1. On constate que si on limite la jauge à 20 tonnes, on assure le passage de 96 % du trafic concerné. En vue de fixer les dimensions moyennes d'un bateau de 20 tonnes de jauge, nous avons fait les hypothèses suivantes :

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

On en déduit ainsi :

$$\begin{aligned}L^* &= 12,50 \text{ m} \\l^* &= 3,10 \text{ m} \\e^* &= 1,50 \text{ m}.\end{aligned}$$

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

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

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

B) Un sondage effectué par nos soins à l'écluse d'Ivoz Ramet en 1985 [3 et 17].

Ce sondage a porté sur 204 bateaux de plaisance avalants à l'écluse d'Ivoz-Ramet en août 1985. Le nombre total de bateaux de plaisance avalants durant la période de l'enquête ayant été de 582, il s'agit donc d'un échantillon représentatif de la population totale. On en déduit que la jauge ( $J$ ) varie en fonction du logarithme de la longueur ( $L$ ).

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

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 à 15,20 m).

La valeur de la longueur estimée précédemment  $L^* = 12,50$  m est donc vérifiée puisque comprise dans ledit intervalle.

Une autre confirmation se déduit des diagrammes des fréquences relatives des longueurs et largeurs (figs. 6 et 7). Les valeurs des longueurs et largeurs qui englobent 95 % du trafic sont respectivement 17,00 m et 4,10 m.

C) Une étude statistique des dimensions des bateaux ayant fréquenté les ports et quais d'accostages de Liège durant toute l'année 1988 [13]. Cette étude est basée sur les documents que les plaisanciers complètent lors de leur passage à la capitainerie du Port de Liège.

Les figures 8 et 9 présentent la répartition suivant la largeur et la longueur des 643 bateaux avalant ayant fait escale au port des yachts de Liège en 1988. Cette fois, les valeurs des longueurs et largeurs qui englobent 95 % du trafic sont respectivement 16,00 m et 4,00 m au lieu de 17,00 et 4,1 m lors de notre propre sondage.

Ces diverses analyses confortent le choix fait précédemment d'une écluse de 18,00 m  $\times$  5,00 m comme superficie utile.

##### IV.3.1. Confirmation de l'estimation

Dans les ouvrages spécialisés, nous avons obtenu confirmations de nos estimations (18 m sur 5 m et

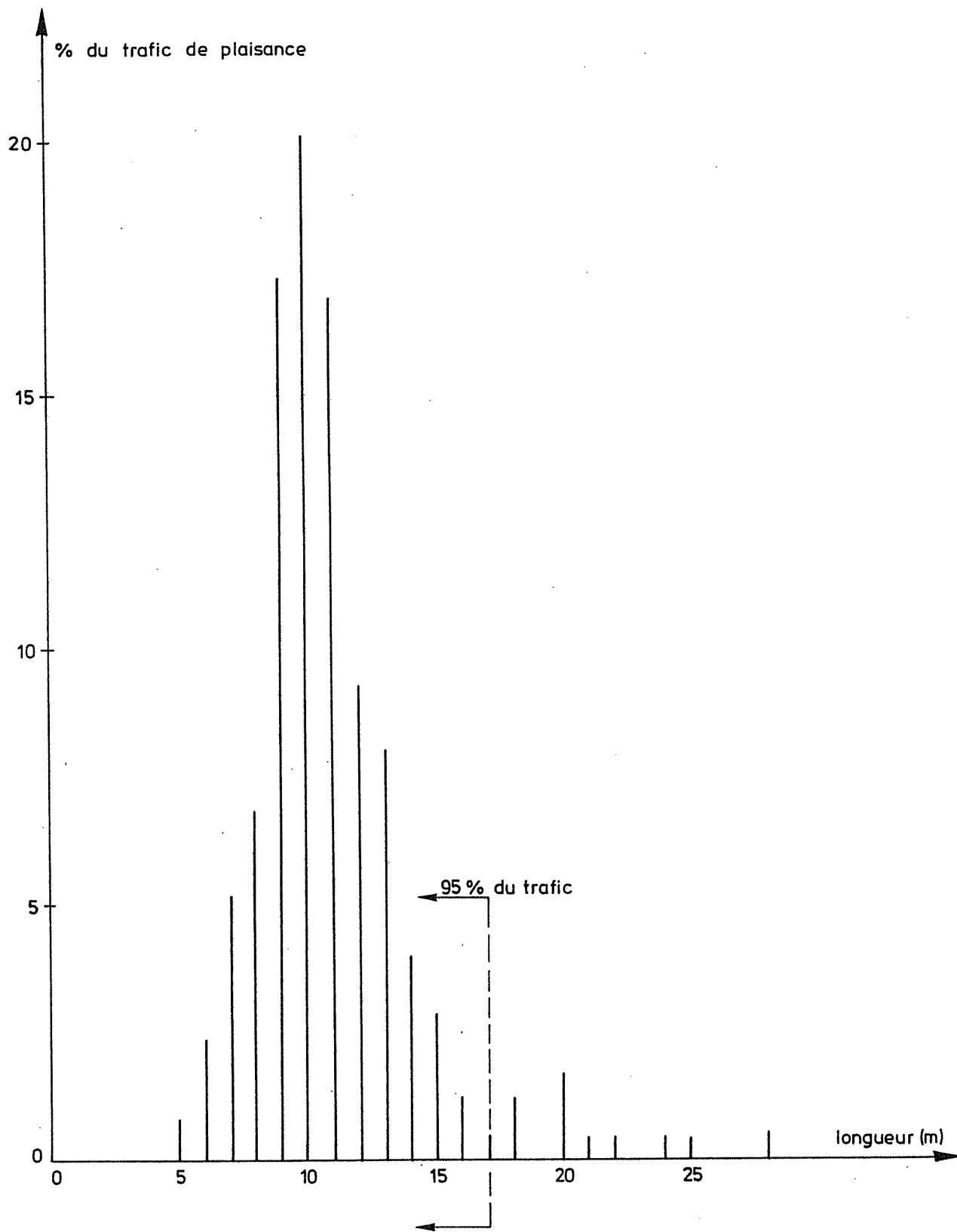


Fig. 6. — Répartition suivant la longueur des 204 bateaux avalants passés en Juillet 1985 à Ivoz-Ramet.

2 m de tirant d'eau). Ainsi, à Trèves sur la Moselle, l'écluse de plaisance fait 3,5 m sur 18 m et à une profondeur d'eau minimum de 1,5 m [12]. En France sur le Haut-Rhône, un gabarit supérieur a été retenu afin de conserver une uniformité sur le réseau français. Ce gabarit dit de Fregeinet correspond aux écluses pour bateaux de 300 t est de 5,2 m sur 40 m et 2,30 m de tirant d'eau [4]. La construction d'une telle écluse avec le procédé de panneaux en aluminium ne poserait d'ailleurs aucun problème vu la modularité du système de préfabrication. Ainsi, il serait aisé de construire des écluses de 40 m sur 5 m et 2 m de tirant. A Neue Mühle près de Berlin il y a une écluse dont les dimensions utiles du sas sont 20 m sur 4 m [14]. A Gorichem (P-B), une ancienne écluse commerciale a été transformée en écluse de plaisance. L'ancienne largeur de 10 m a été ramenée à 4,5 m afin d'être plus appropriée à la navigation de plaisance [9].

Comme il sera précisé ultérieurement, vu la standardisation des éléments constitutifs de l'écluse, la longueur peut très aisément être modifiée afin de répondre à la spécificité des besoins de chaque situation ou région. Ainsi une écluse de 15 m peut-elle être jugée acceptable dans le cas où elle est accolée à une écluse de plus grande dimension; les bateaux de plaisance de plus grande taille utilisant la grande écluse. D'un autre côté, il peut être compréhensible de prévoir 25 à 30 m de longueur si l'écluse est unique et que des bateaux d'excursion d'un jour (50 à 100 personnes) doivent sillonner la région.

#### IV.4. Evolution de la navigation de plaisance

L'Office de la navigation de Liège établit annuellement les statistiques concernant le nombre de bateaux de plaisance ayant franchi les écluses situées

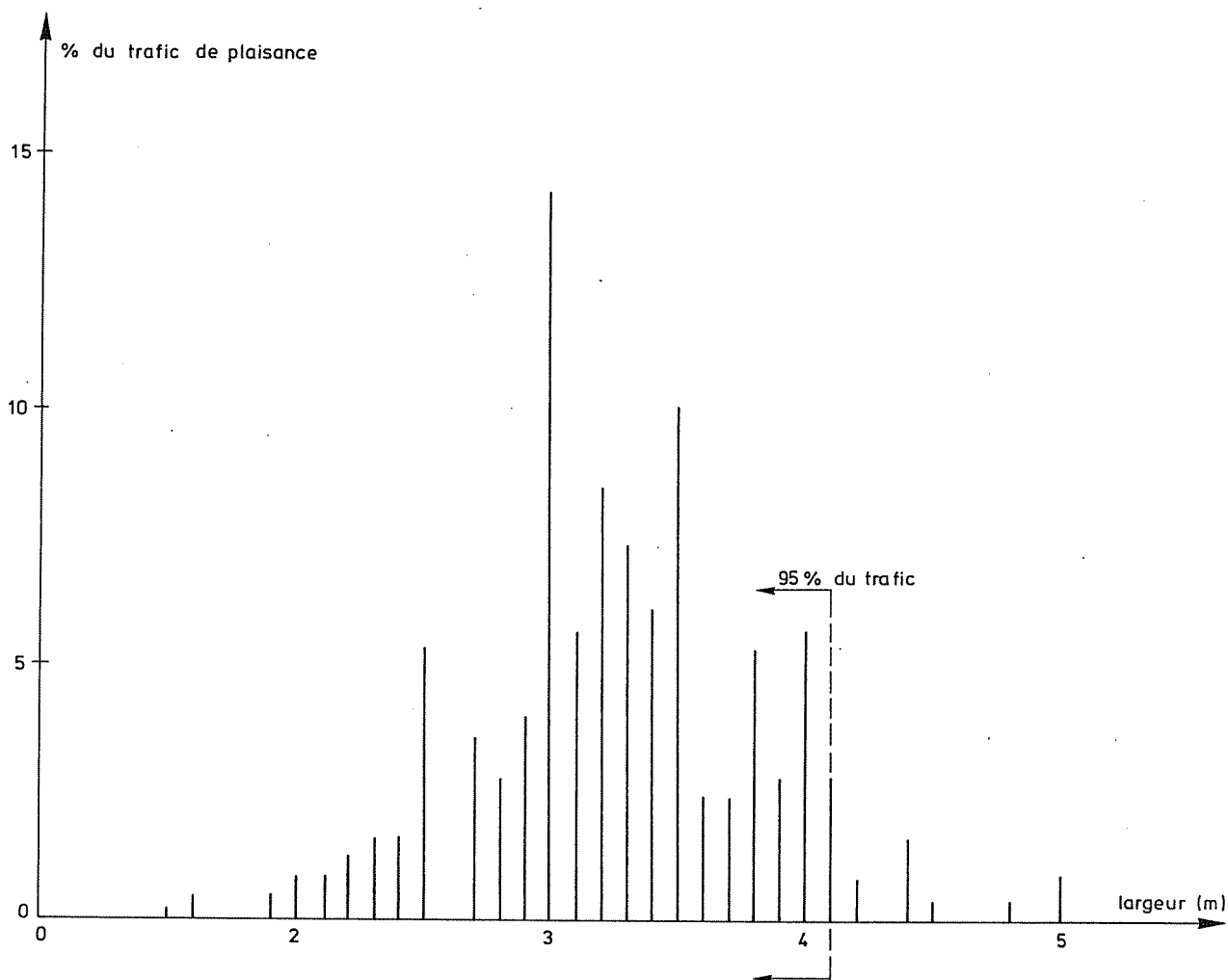


Fig. 7. — Répartition suivant la largeur des 204 bateaux avalants passés en Juillet 1985 à Ivoz-Ramet.

sur la Meuse, le Canal Albert et la Sambre. Ces statistiques sont relatives aux années 1977 à 1988 et concernent la fréquentation aux écluses des bateaux de plaisance. La fréquentation est donnée mensuellement à chaque écluse de la Meuse depuis Lanaye

jusque Hastière ainsi que sur la Sambre. La figure 10 reprend ces statistiques pour l'année 1988. Son analyse montre que la partie importante du trafic est d'origine hollandaise. Ces plaisanciers empruntent le canal Albert via l'écluse de Petit-Lanaye et ensuite

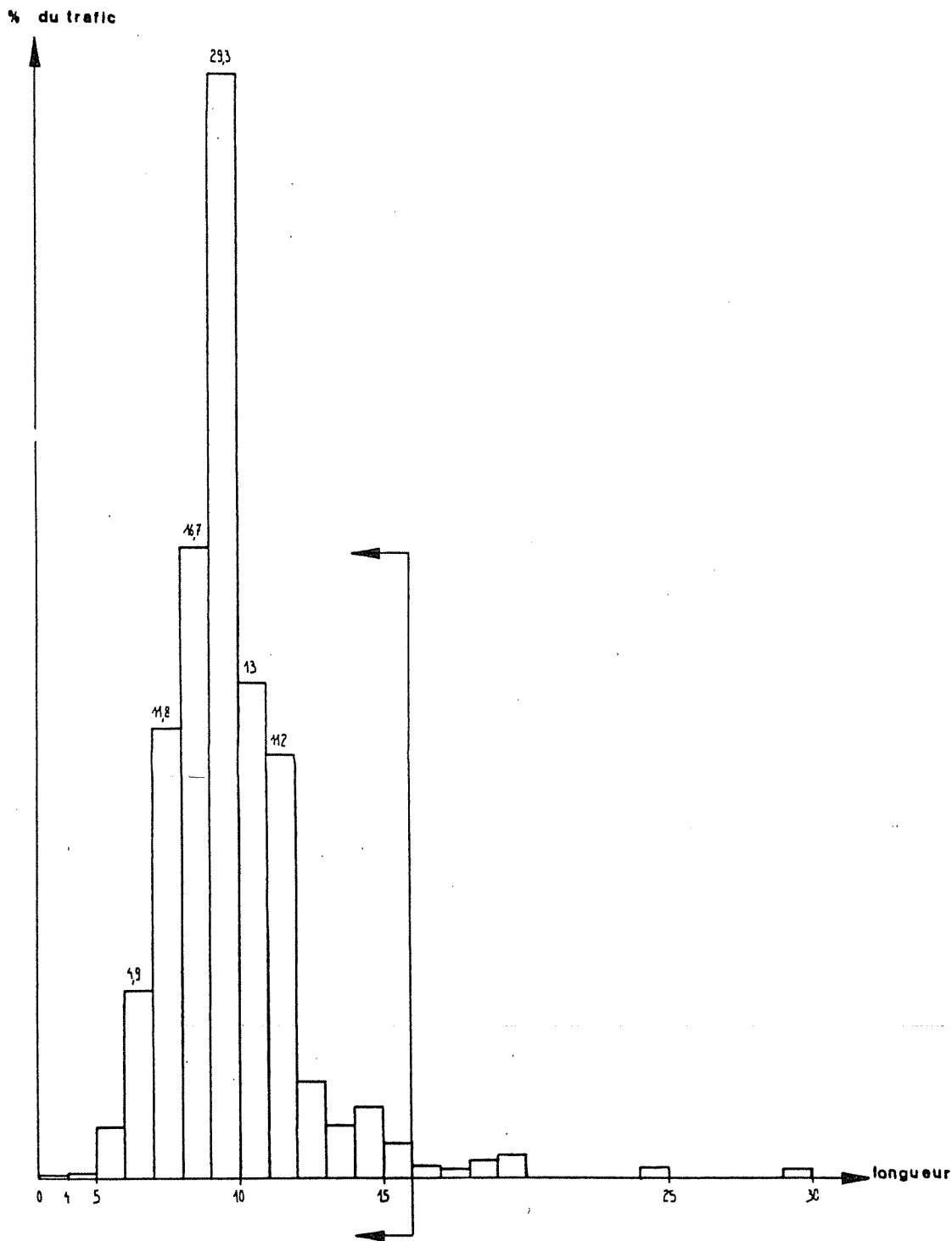


Fig. 8. — Répartition suivant la longueur des 643 bateaux avalants ayant fait escale en 1988 au port des Yachts de Liège.

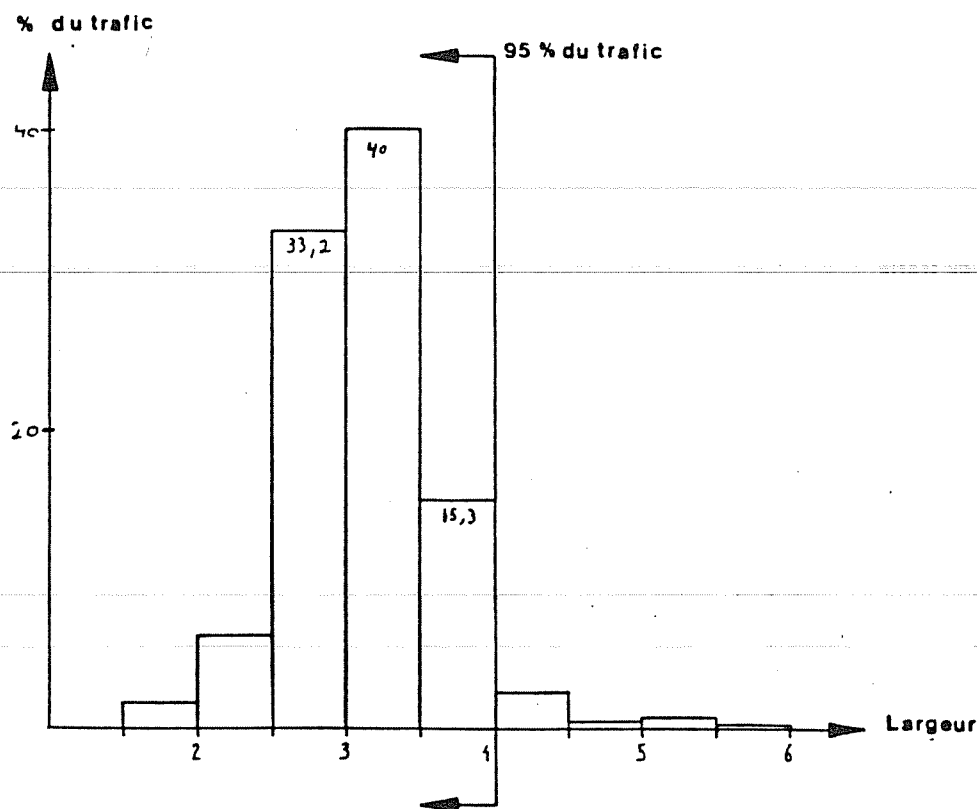


Fig. 9. — Répartition suivant la largeur des 643 bateaux avalants ayant fait escale en 1988 au port des Yachts de Liège.

**Navigation de plaisance**  
**Nombre de bateaux de plaisance passés par mois à différents ouvrages**

Dénomination de l'ouvrage	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Total
Lanaye	—	5	12	64	198	473	1.216	1.092	204	95	40	17	3.416
Visé-Canal	—	—	—	7	29	36	21	34	25	2	—	—	154
Hastièrre	—	1	5	30	170	321	938	781	143	47	11	5	2.456
Dinant	2	2	9	56	202	375	1.289	1.048	181	79	17	11	3.271
La Plante	2	2	10	60	283	416	1.425	1.114	207	78	17	8	3.622
Grands-Maladies	—	3	10	40	150	343	1.265	965	160	53	22	8	3.019
Andenne-Seilles	—	—	6	34	144	302	1.160	881	125	40	18	9	2.719
Ampsin-Neuville	—	4	11	50	188	345	1.195	894	153	64	18	9	2.931
Ivoz-Ramet	—	2	6	38	233	365	1.303	1.026	163	56	21	8	3.221
Solré s/Sambre	—	—	2	18	47	36	126	92	63	12	6	2	404
Thuin	—	—	1	21	53	49	142	103	92	11	11	4	487
Monceau s/Sambre	2	1	2	15	36	55	171	129	72	16	12	4	515
Marcinelle	1	2	3	23	38	84	462	359	90	25	13	5	1.105
Auvelais	—	3	5	18	28	68	444	349	68	26	7	2	1.015
Namur - Sambre	1	2	5	38	29	82	447	360	90	29	10	6	1.099
Hermalle s/Argenteau	—	—	—	4	24	23	20	21	26	9	—	—	127
Monsin Meuse	—	—	—	7	27	38	21	40	27	9	—	—	169

Fig. 10. — Fréquentation mensuelle des bateaux de plaisance aux écluses du bassin mosan en 1988.



remontent la Meuse en direction de la France. L'analyse de l'évolution du trafic entre 1977 et 1988 (fig. 11) montre que la région de la haute Meuse (Namur-Dinant) a un attrait touristique certain qui se traduit par une croissance continue et régulière du trafic de 52% depuis 1983. Cette augmentation est bien supérieure aux 18% de progression enregistrée à Lanaye (fig. 12). Cela confirme le développement et l'intérêt des plaisanciers pour nos régions. Les plaisanciers aiment nos régions, il faut les accueillir et aménager nos fleuves et rivières en conséquence.

Prenons-en pour preuve, tableau 2, les 36% d'augmentation de la fréquentation au port des Yachts de Liège ces cinq dernières années [13]. Ainsi, actuellement 4 plaisanciers sur 10 s'arrêtent au port de Liège. Cette très forte augmentation du volume de plaisance est due aux aménagements que le Port Autonome de Liège a entrepris de façon à améliorer les conditions de séjours de plaisanciers.

**TABEAU 2 — Fréquentation des bateaux de plaisance au port des yachts de Liège de 1984 à 1988**

Année	Nombre de bateaux de plaisance au Port de Liège
1984	983
1985	967
1986	1.239
1987	1.341
1988	1.386

#### IV.5. Disposition générale de l'aménagement d'une voie navigable

Selon son importance, son utilisation et son type (canal, rivière naturelle), l'aménagement peut comprendre :

- Uniquement l'écluse de plaisance. C'est le cas d'un canal réservé à la navigation de plaisance (fig. 1).

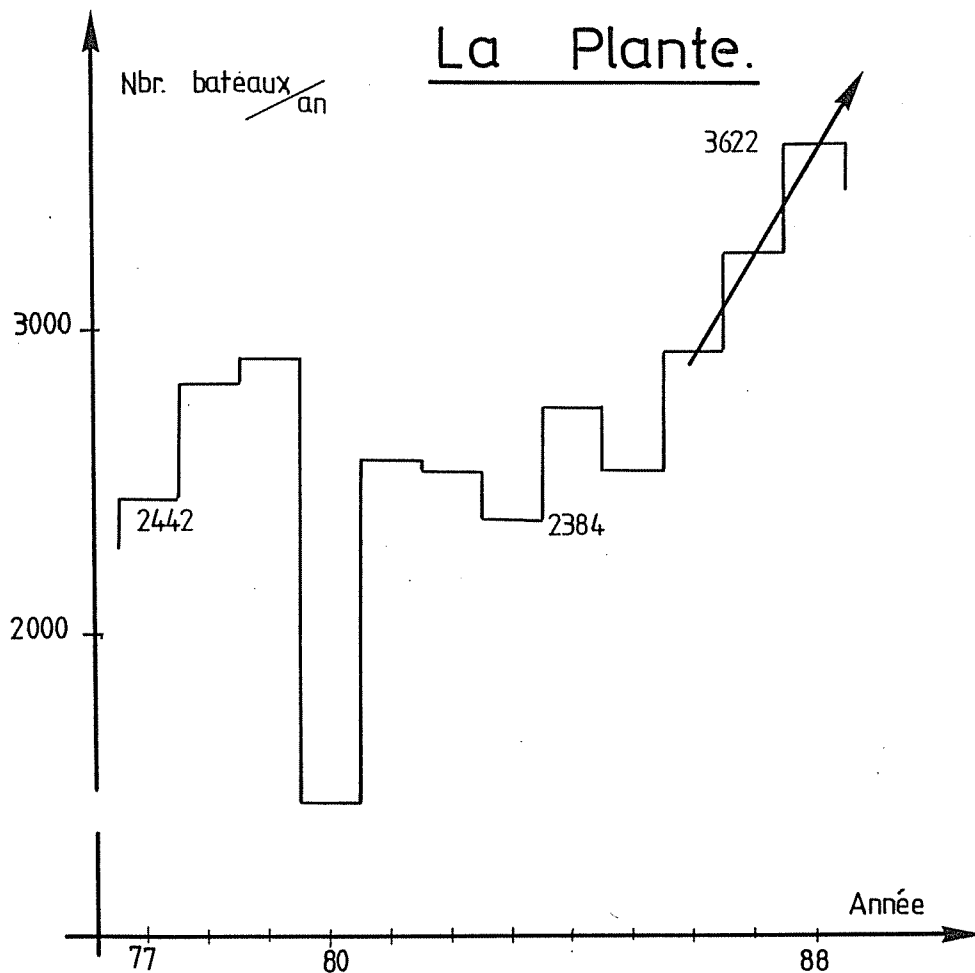


Fig. 11. — Evolution du trafic de plaisance à La Plante (Namur) de 1977 à 1988.

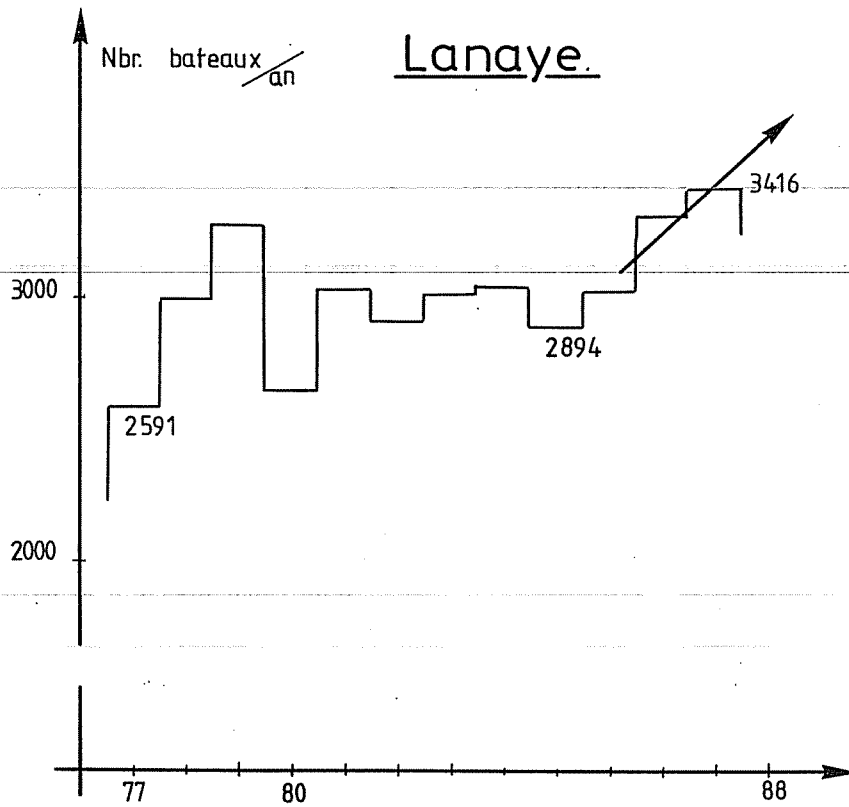


Fig. 12. — Evolution du trafic de plaisance à Lanaye (Canal Albert) de 1977 à 1988.

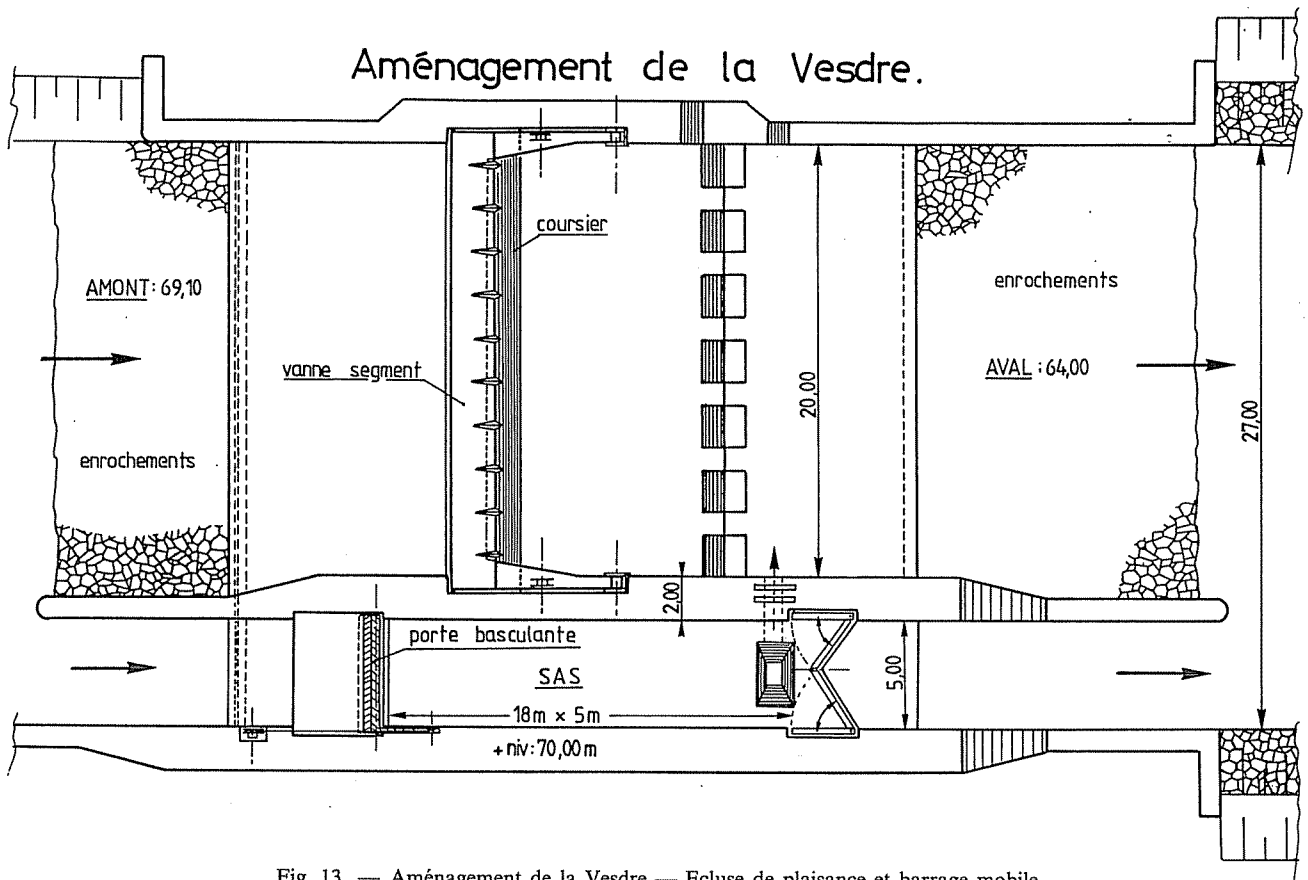


Fig. 13. — Aménagement de la Vesdre — Ecluse de plaisance et barrage mobile.

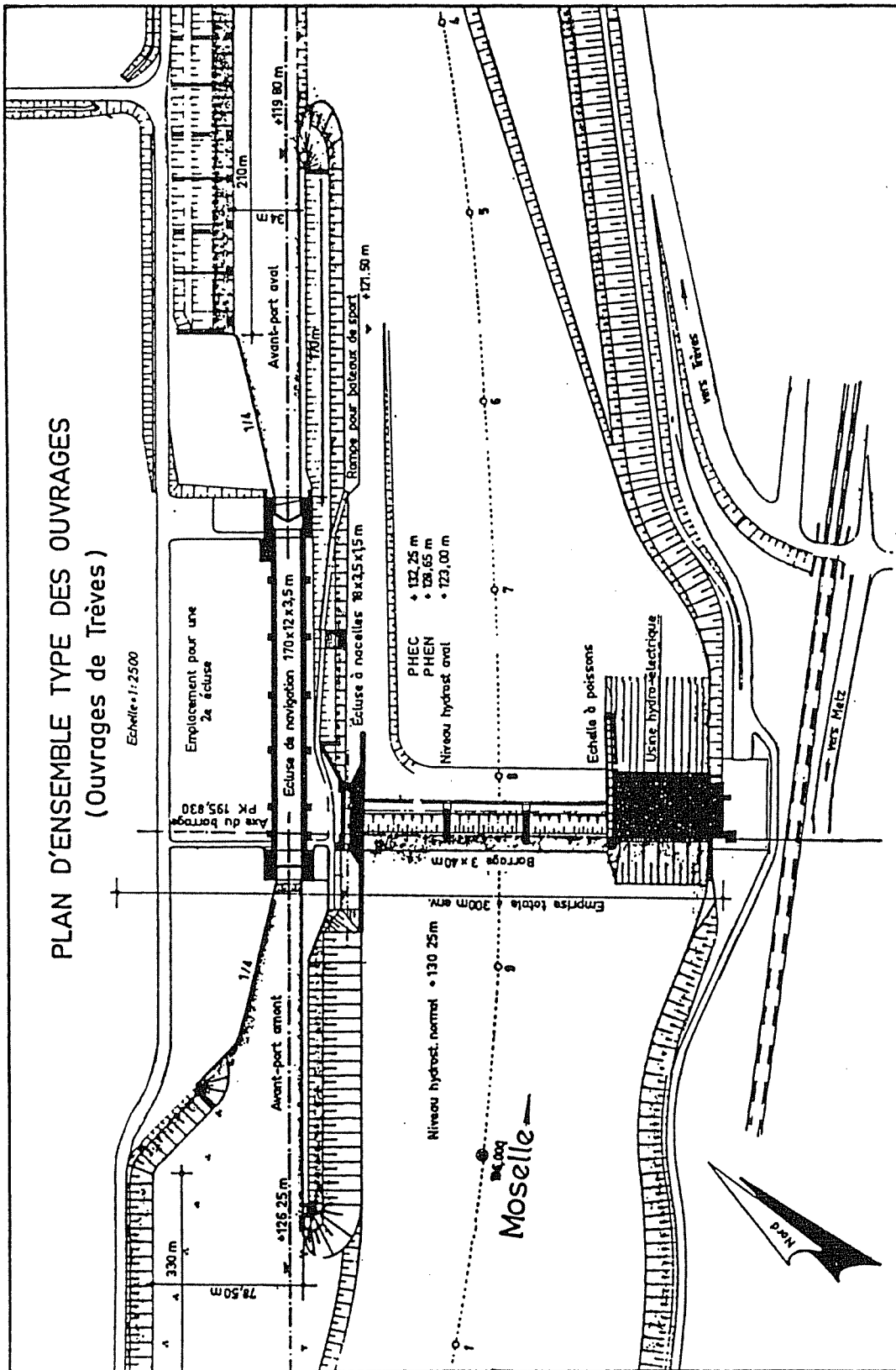


Fig. 14. — Aménagement de la Moselle à Trèves. Ecluse de navigation (170 × 120 m), écluse de plaisance (18 × 3,5 m), barrage mobile et usine hydro-électrique.

- Une *écluse de plaisance* accolée à une *écluse de plus grande dimension*. Cette situation correspond à une voie navigable, commerciale en canal; l'écluse de plaisance servant à fluidifier et accélérer la navigation commerciale sans créer de files d'attente au niveau de la plaisance tout en assurant une grande sécurité aux plaisanciers.
- Une *écluse de plaisance* accolée à un *barrage mobile* (fig. 13). La barrage sert à maintenir, pour la navigation, un tirant d'eau suffisant tout en assurant le passage des crues. Cette situation correspond aux rivières naturelles aménagées pour la plaisance. Ainsi en est-il de la situation rencontrée lors de notre projet d'aménagement de la Vesdre entre Liège et Chaudfontaine [13].
- Une *écluse de plaisance*, une ou plusieurs *écluses pour le trafic commercial* et un *barrage mobile*

(éventuellement une centrale hydro-électrique). C'est l'aménagement réalisé sur la Moselle (fig. 14) et également celui que nous préconisons pour la Meuse (Ampsin, Grands Malades, La Plante, ..., Dinant, ...).

L'aménagement prôné ici (fig. 15) comprend une écluse de plaisance de 18,00 m sur 5,00 m ayant son propre chenal d'accès situé parallèlement aux écluses déjà en place (par exemple 24 × 200 m). Une profondeur de 2 m pour le chenal est suffisante et ne devrait pas entraîner de travaux de modifications. La largeur du 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 [18].

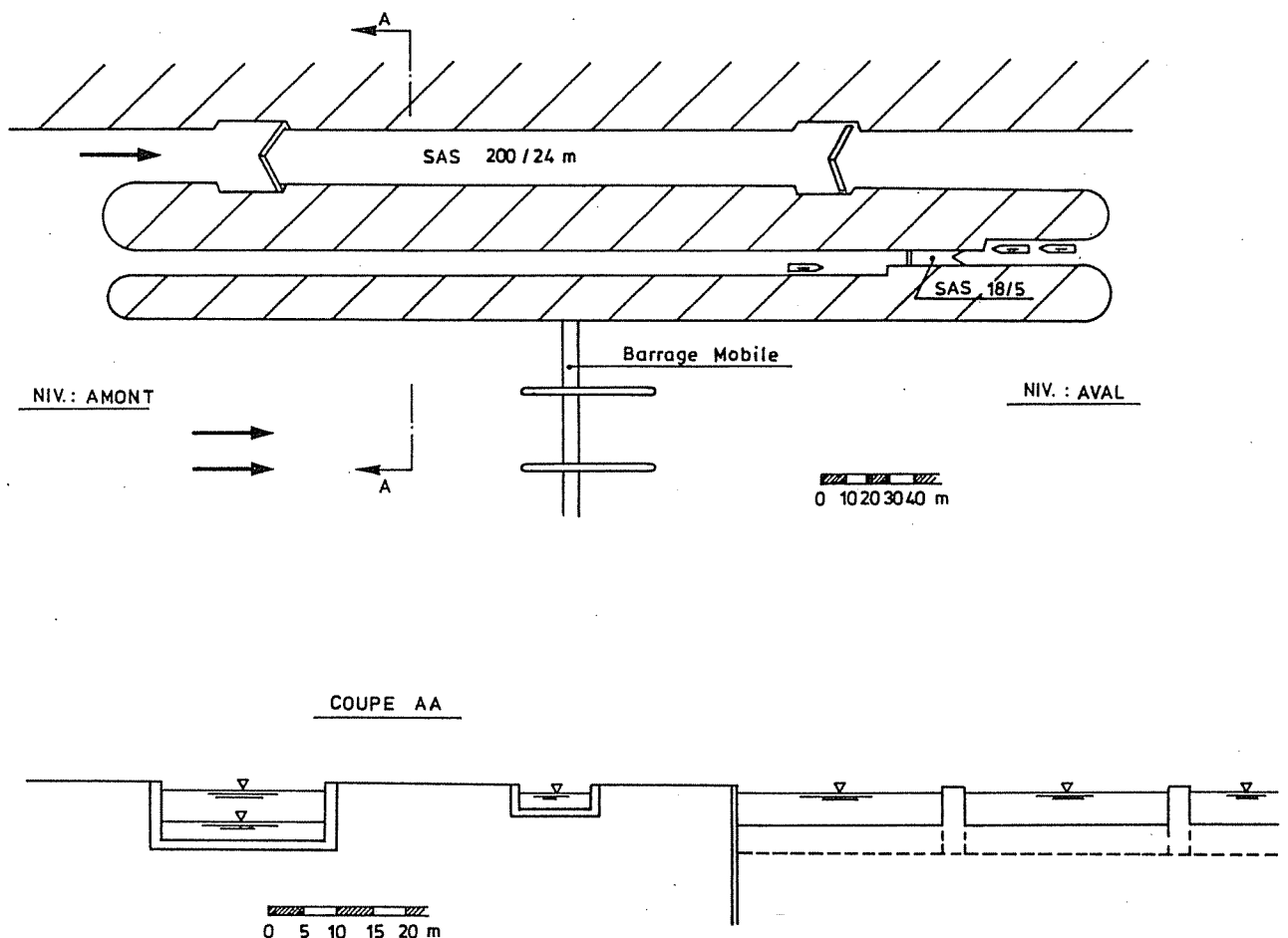


Fig. 15. — Vue générale d'un complexe «ECLUSES - BARRAGE». Ecluse commerciale, écluse de plaisance et barrage mobile.

#### IV.6. Etude du sassement et du type de porte

L'objectif est de construire de manière simple, efficace et économique. De ce fait, nous avons combiné au mieux les opérations de sassement et de manœuvre [3].

##### IV.6.1. Caractéristiques de la porte basculante d'amont

A l'amont les dimensions principales de la tête sont une retenue de 2 m et une largeur de 5 m.

On envisage de réaliser un ensemble en forme de  $L$  pivotant autour d'un axe inférieur (fig. 16). La porte pivote autour de son axe durant environ 20 secondes décrivant un angle  $\theta$  de 18 degrés. Dès cet instant, la porte reste dans cette position jusqu'à la fin du sassement. L'eau passe sous la porte, entre dans une chambre servant de bassin d'amortissement et poursuit son chemin vers le sas via une ouverture noyée située sous le mur de chute.

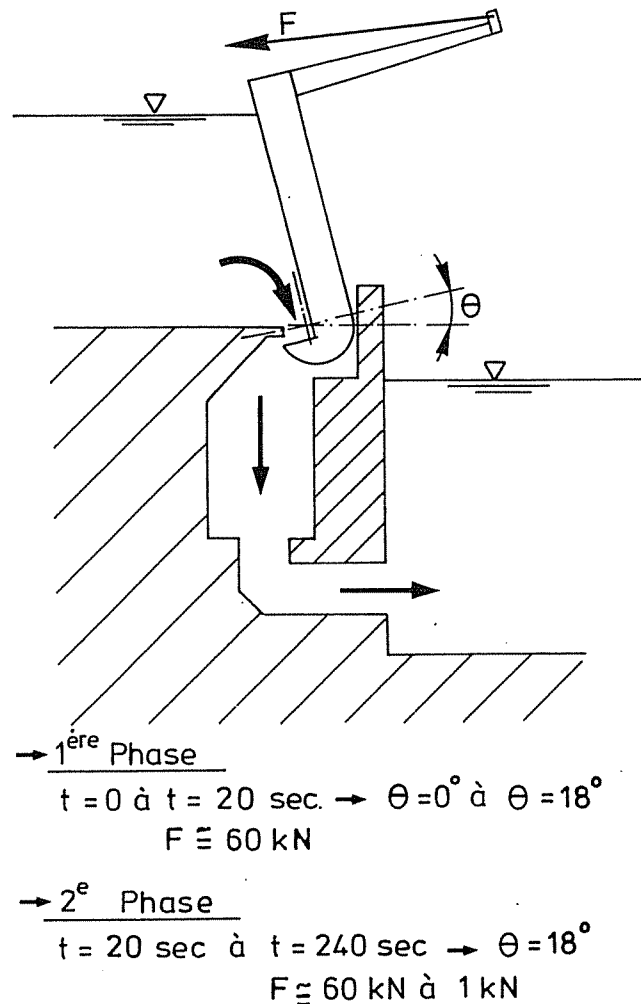


Fig. 16. — Schéma du processus d'ouverture de la porte avec le sassement.

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

Cette porte étant de faible dimension (5 m sur 2,5 m) et son poids ayant une grande importance pour la manœuvre, l'utilisation de l'aluminium se montre indispensable. De ce fait, les frais d'entretien seront également très réduits.

La manœuvre de la porte se fait par l'intermédiaire d'un câble unique fixé à la console. Celle-ci est encastree à la partie supérieure de la porte (fig. 16).

Les figures 16 et 17 schématisent les opérations d'ouverture et de fermeture. Le moment résultant autour de l'axe de rotation ( $M$ ) étant toujours

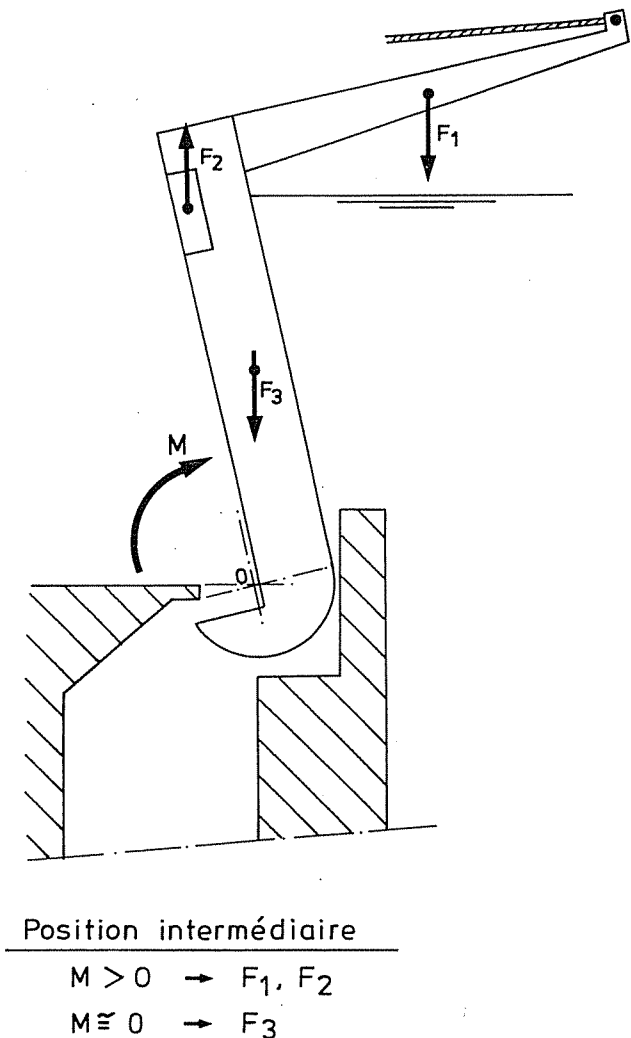


Fig. 17. — Schéma du processus de fermeture de la porte amont.



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 en laissant ainsi remonter la porte d'une manière régulière. Un caisson développant un effort  $F_2$  (fig. 17) a été dimensionné de manière à ce que  $M$  reste toujours positif.

En position fermée, la porte peut être assimilée à une plaque orthotrope appuyée sur les deux bords verticaux. Son calcul a été réalisé à l'aide du logiciel des bordages raidis L.B.R.-3 [20 à 26]. Par contre, dans les autres positions, particulièrement au début du sasement, la porte repose sur 3 appuis ponctuels: le bras et les deux extrémités de l'axe de rotation. 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 situé au niveau de l'axe de rotation.

Un décentrement de l'axe de rotation de la porte vis-à-vis du centre géométrique de la forme circulaire de la vanne permet d'assurer l'étanchéité par «serpage» lors de la fermeture de la porte (fig. 18).

Le poids de la porte basculante, avec son bras, est de 1300 kg. Afin de faciliter son transport, elle sera constituée en 3 éléments, son bras, la partie inférieure demi-cylindrique et le bordage plan.

#### Remarque

Il est utile de rappeler que c'est grâce à l'utilisation de l'aluminium que cette porte basculante peut réunir autant d'avantages dont le principal est sa simplicité de fonctionnement. L'utilisation de l'acier, outre les problèmes d'entretien qui se poseraient au fil des années, aurait nécessité un caisson beaucoup plus important et donc plus coûteux. Cela aurait eu comme conséquence de nécessiter le renforcement de tout le système de manœuvre, câble, moteur, ....

#### IV.6.2. Etude du remplissage par l'intermédiaire de la porte amont

La loi de sasement (remplissage du sas) est identique à la loi d'ouverture de la porte puisque la porte fait office de vanne (fig. 19). Nous avons étudié le sasement dans l'hypothèse d'une chute de 5 m [3 et 17]. A cette intention, un essai sur modèle a permis de confirmer nos investigations théoriques mais nous a conduit à modifier la conception de la chambre d'amortissement situé sous la porte amont. En effet, les essais ont montré qu'il est aisément possible de réduire dans le sas l'agitation du plan d'eau en optant pour la configuration de la figure 20 en lieu et place de celle des figures 16 et 17. Une faible agitation du plan d'eau est en effet requise car elle conditionne la stabilité des bateaux et les efforts repris par les amarres.

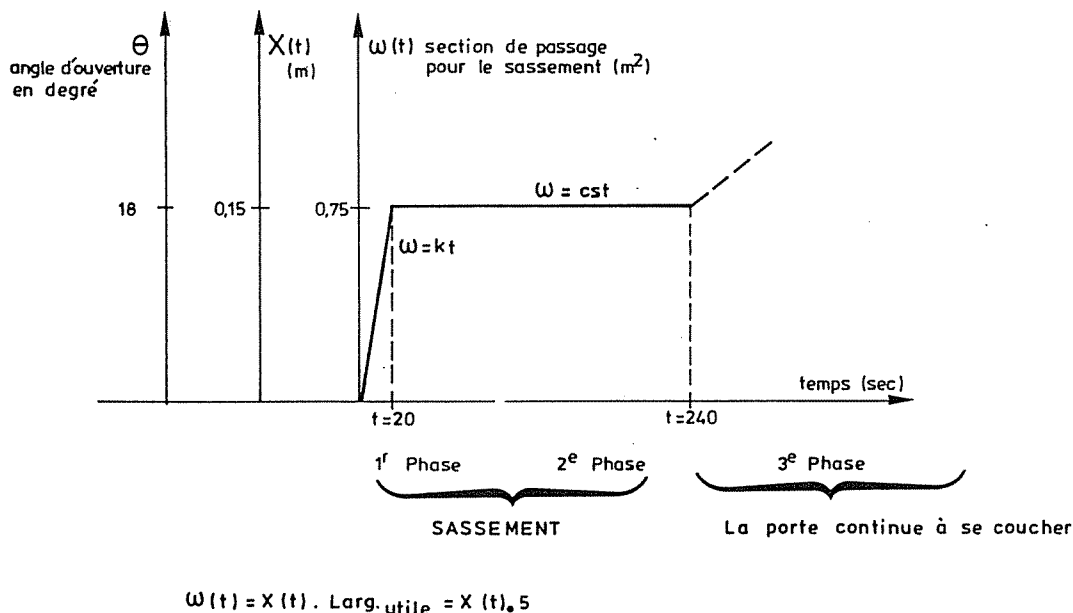


Fig. 19. — Loi de la manœuvre des portes et du sasement.

Dans un premier temps, le remplissage s'effectue sous la porte par un écoulement à la pression atmosphérique; le débit est constant puisque la charge hydraulique est elle même constante (2,5 m). Ensuite, lorsque l'orifice au pied de la porte est noyé, la charge (différence entre le niveau amont et le niveau dans le sas) diminue progressivement ainsi que les vitesses pour s'annuler lorsque les niveaux deviennent identiques.

<i>Hauteur de chute (mètres)</i>	<i>Temps de sassement (minutes)</i>
4 m	3' 30"
5 m	4' 00"
6 m	4' 30"
8 m	5' 30"
10 m	6' 30"

Tous calculs faits, le temps de sassement pour le remplissage est de l'ordre de 4 minutes pour une chute de 5 m. Pour d'autres chutes, on obtiendrait :

Quelle que soit la chute, la vitesse maximum de montée de l'eau dans le sas surant toute la première partie du sassement sera de 3,4 cm/s puisque le débit

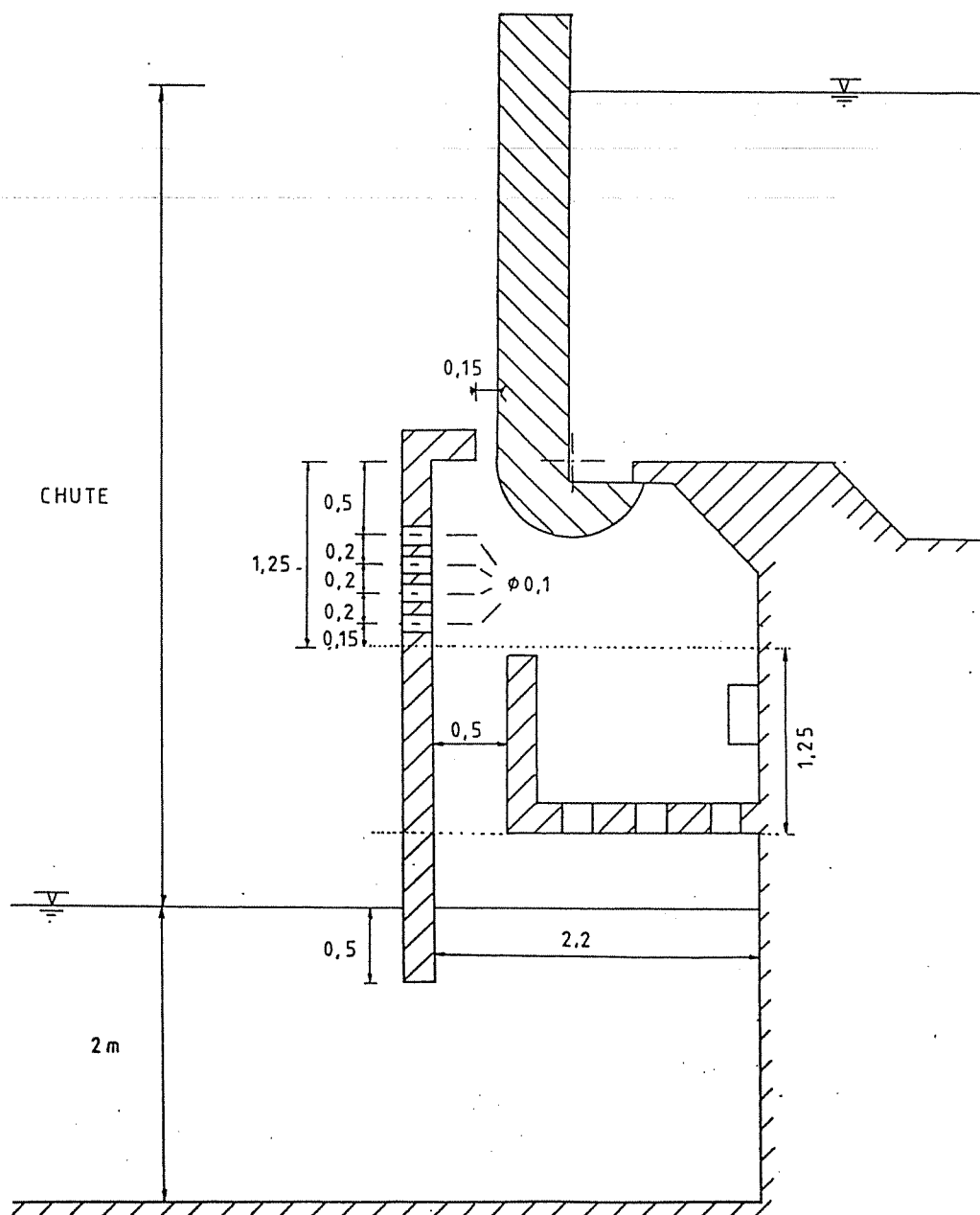


Fig. 20. — Configuration de la chambre d'amortissement obtenue suite à des essais sur modèle réduit.



est constant jusqu'au moment où le pied de la vanne est noyé. Ensuite, le débit diminue et de ce fait, également la vitesse de montée de l'eau dans le sas.

#### IV.6.3. Caractéristiques de la porte aval

À 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. Par contre, un système de portes busquées répond à la fois aux conditions d'encombrement minimum et d'efficacité pour un sas de section de 5 m de large et de plus de 7 m de haut.

En conséquence, pour cette porte, on optera pour un système de portes busquées avec ventelles incorporées. Une vidange latérale du sas peut également être envisagée. En effet, il serait très intéressant lors de la vidange du sas d'évacuer les eaux, non pas juste derrière la porte aval mais latéralement dans le bief aval, juste en aval du barrage mobile. En effet, ce système ne poserait plus aucun problème en ce qui concerne la dissipation de l'énergie hydraulique et ne perturberait nullement les bateaux attendant leur tour de pénétrer dans l'écluse. Cependant, afin de conserver la *simplicité des opérations, de garantir une standardisation* parfaite quelle que soit le site, *de ne pas accroître le coût de la préfabrication et de ne pas augmenter le nombre d'éléments constitutifs* de l'écluse, nous avons choisi de conserver un sasement à travers les portes. Les problèmes de dissipation de l'énergie à l'aval des portes peuvent aisément être atténués en ouvrant progressivement les vannes et en prévoyant un temps de sasement raisonnable (4 minutes).

La hauteur de la porte aval dépend évidemment de la chute. Ainsi, pour une chute de 5 mètres, les portes busquées auront une hauteur de 7,5 mètres et pour 7 m de chute elles auraient 9,5 m de hauteur.

La vidange s'effectue à travers les portes par l'intermédiaire de deux vannes papillon de  $0,38 \text{ m}^2$  et le temps de sasement pour une chute de 5 m est de 4 minutes.

## V. PRÉSENTATION DES ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DU SYSTÈME DE PRÉFABRICATION DES ÉCLUSES DE PLAISANCE

### V.1. Mode et techniques d'assemblage

Tous les éléments seront rapportés, à savoir: les paliers et les supports des articulations de la porte

basculante (amont) ainsi que les pivots, crapaudines, colliers, tourillons, ... des portes busquées (aval), seront fixés (provisoirement) à l'ossature de l'écluse par boulonnage via un système de boutonniers et cales d'épaisseur. Ensuite, sur chantier, ces éléments pourront être ajustés. Cela permettra de réduire au minimum les frais très coûteux d'un usinage de haute précision.

Afin d'éviter la corrosion due aux couples galvaniques, nous éviterons particulièrement toutes liaisons entre l'aluminium et l'acier où le cuivre. Lorsqu'un autre métal devra être utilisé (assemblage des panneaux préfabriqués des bajoyers), on utilisera toujours de l'acier inoxydable (boulons écrous, rondelles). Vu les faibles dimensions de la porte et sollicitations en jeu, les paliers seront également construits en inox.

Afin de se prémunir contre les déformations (accidentelles ou dues au soudage réalisé en usine) pouvant créer des difficultés lors du montage des divers panneaux, des trous avec boutonnière seront systématiquement prévus sur les plats servant de jonction entre deux tronçons de bajoyers (voir fig. 21). Ces boutonnières permettent de placer aisément le plat avec quelques boulons. Ensuite les autres trous dans le plat seront contre-forés à partir des trous existants dans les deux panneaux jointifs et enfin le plat de liaison sera fixé d'une manière définitive assurant ainsi une continuité parfaitement.

Les éléments en forme de U d'un mètre de large, peuvent être intercalés entre deux panneaux préfabriqués. Ils seront assemblés avec ces panneaux de la même manière que les panneaux jointifs.

Ces éléments en U sont extrêmement pratiques vu qu'ils peuvent être utilisés indifféremment pour plusieurs destinations. De plus, ils sont très faciles à réaliser puisque pouvant être fabriqués par pilage à froid à partir d'une simple tôle de 1,75 m sur 3 m sans aucune soudure. Ces éléments extrêmement utiles seront donc peu coûteux tout en ayant une inertie supérieure aux panneaux nervurés.

### V.2. Etude des panneaux préfabriqués en aluminium pour la réalisation des bajoyers

Lors de l'assemblage, ces panneaux ne doivent supporter aucune charge transversale. Ce n'est que lors de la coulée du béton de fibres frais que la poussée s'exerce. La poussée du béton frais étant considérable, le béton ne sera coulé que par tranches d'un mètre; la tranche supérieure n'étant coulée qu'après prise de la coulée inférieure soit 24 heures

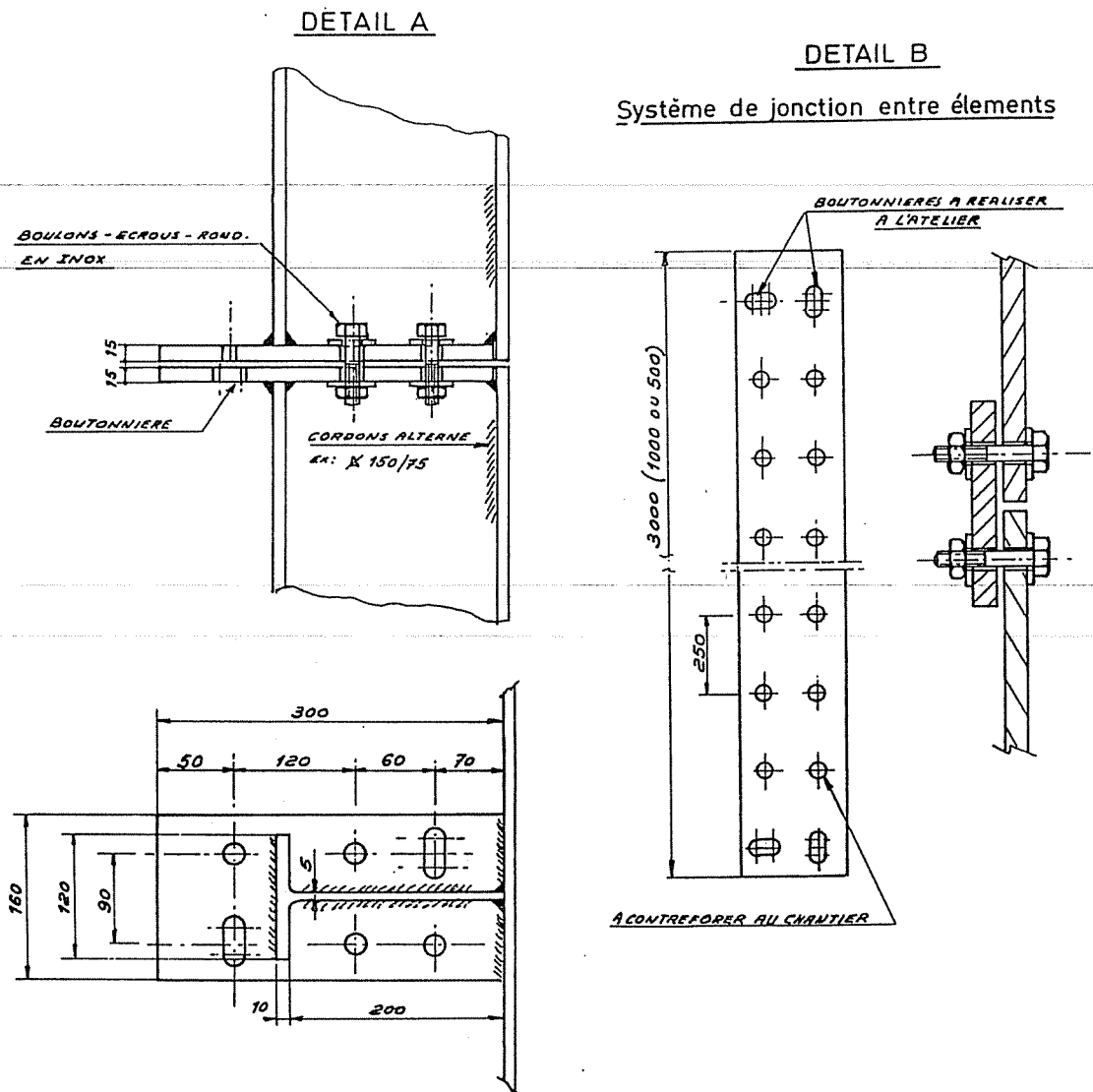


Fig. 21. — Mode et techniques d'assemblage.

après. Une fois le bajoyer entièrement terminé et l'écluse en service, on assistera à une poussée des terres très importante. A ce moment, béton et panneaux seront solidaires et devront reprendre la flexion induite par la poussée des terres. Nous reviendrons sur ce calcul.

Les panneaux en aluminium sont constitués d'une tôle de 3 mètres sur 3, raidie verticalement par des nervures dont les extrémités présentent des plats qui permettent un assemblage avec les panneaux supérieurs ou inférieurs. Par contre, on assure la continuité des deux bords latéraux avec les panneaux adjacents à l'aide de plats de 30 cm de largeur boulonnés sur les 2 panneaux jointifs.

Plusieurs systèmes de raidissage ont été envisagés (fig. 22), profils extrudés en T, profils extrudés en

double T, simples plats, profils en T formés à partir de plats.

Nous avons comparé sur base du coût ces diverses alternatives et pour ce faire nous nous sommes basés sur les prix suivants :

prix de la tôle d'aluminium	160 FB/kg,
prix des profilés extrudés	180 FB/kg,
Prix d'une filière	300.000 FB.

L'alternative basée sur un profil extrudé en double T<sub>e</sub> est onéreuse car elle exige la réalisation de chanfrins et de 4 cordons de soudures. La solution avec de simples plats paraît a priori économique car elle n'exige que de la tôle et seulement 2 cordons de soudeuse par plat, l'adhérence pouvant être réalisée par déchirure et pliage de l'extrémité libre du plat.

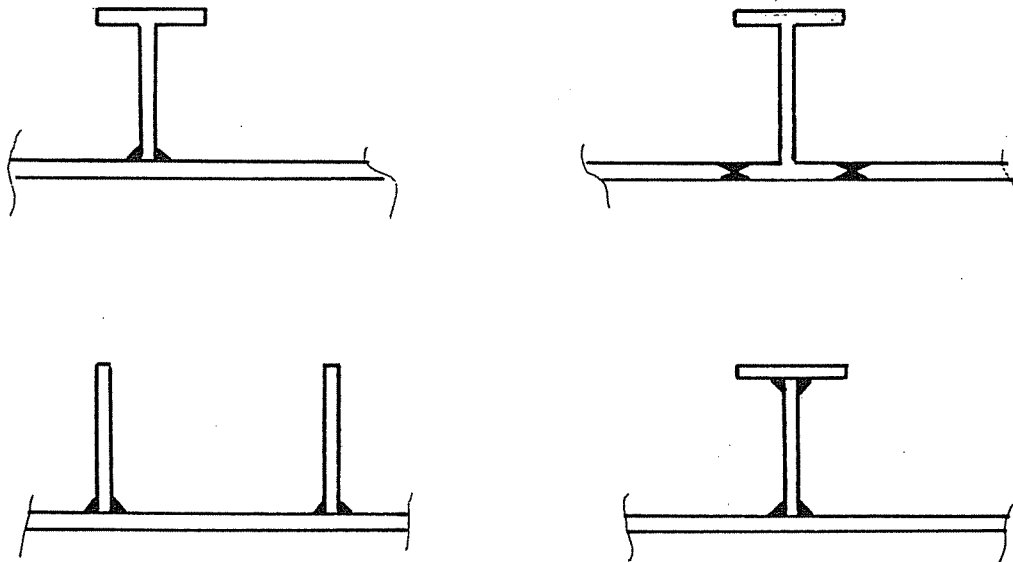


Fig. 22. — Différents systèmes de raidissage pour les panneaux préfabriqués.

Cependant, l'adhérence réalisée est peu sûre et afin d'obtenir une inertie suffisante les plats doivent être trop nombreux ou trop importants.

En conclusion, c'est la solution de profil en T, soudé ou extrudé, que nous retiendrons, *notre préférence allant au profil extrudé* car, probablement plus économique, répondant mieux au principe de la construction en aluminium et nous assurant d'utiliser des profils non déformés par le soudage.

Rappel: Les calculs ont été réalisés en se basant sur une contrainte admissible de  $85 \text{ N/mm}^2$ .

#### V.2.1. Détermination des contraintes et des déformations dans les panneaux préfabriqués en aluminium

La déformation du parement des panneaux, sous l'effet du soudage des nervures verticales, entredistantes d'un mètre, sera limitée à quelques millimètres et donc à peine visible à l'œil. En conséquence, l'aspect esthétique des bajoyers ne sera pas altéré par ces soudures. Ces soudures seront réalisées par petits cordons alternés.

La déformation entre deux nervures de ces mêmes panneaux, due à la poussée du béton frais, est au maximum de 1 cm et sera de sens contraire vis-à-vis de la déformation créée par le soudage des nervures. Les contraintes maximales dues à cet effet plaque sont de  $40 \text{ N/mm}^2$ .

Les nervures se comportent en fait comme des poutres consoles fichées dans le béton de la coulée

précédente. Nous les avons dimensionnées à la déformation afin de conserver une verticalité parfaite des bajoyers. La déformation maximum de ces nervures suite à la coulée d'une mètre de béton frais est de 0,4 mm et les contraintes de  $15 \text{ N/mm}^2$ .

#### V.2.2. Quelques considérations relatives au béton de fibres

Ainsi que nous l'avons signalé précédemment, l'utilisation du béton de fibres permet de supprimer toutes les opérations lentes, pénibles et coûteuses du ferrailage de l'armature. De plus, on élimine également le risque de corrosion galvanique causé par le contact entre les barres d'armatures avec les panneaux d'aluminium. En effet, avec le béton de fibres, seuls quelques fibres peuvent rentrer en contact avec l'aluminium.

En ce qui concerne la résistance des bajoyers à la flexion due à la poussée des terres, les fibres sont parfaitement aptes à reprendre la traction engendrée dans le massif en béton des bajoyers du côté terre. Au sein de notre laboratoire (LHCN) de nombreuses études ont montré que le dosage en fibres peut être déterminé par la formule suivante [34]:

$$\sigma_{\text{flexion}} = 1,67 (P \cdot \theta \sigma_{aa} + R_t) \quad (1)$$

avec

$\sigma_{\text{flexion}}$  La contrainte maximale que le béton de fibres peut reprendre en traction,

$P$  le pourcentage en volume de fibres, pour 30 kg de fibres par  $\text{m}^3$ , on a  $P = 0,0032$  (0,32%),

- $\theta$  le coefficient d'efficacité compris entre 0,4 et 0,5,
- $\sigma_{aa}$  la contrainte équivalente de l'acier, soit  $50000 \text{ N/cm}^2$ ,
- $R_t$  la contrainte maximum de traction du béton, soit  $300 \text{ N/cm}^2$ .

Pour  $20 \text{ kg}$  de fibres par  $\text{m}^3$ , on obtient une contrainte maximale de traction de  $570 \text{ N/cm}^2$ . Les contraintes de traction induites dans les bajoyers ne sont que de  $100 \text{ N/cm}^2$  et celles dans le radier sont au maximum de  $450 \text{ N/cm}^2$ . Il n'est cependant pas possible, pour des raisons techniques et d'homogénéité, de mettre moins de  $20 \text{ kg}$  de fibres par  $\text{m}^3$ .

De plus, des essais de flexion de dalles en béton de fibres dont une face est constituée par une tôle métallique ancrée dans le béton, ont montré le très bon comportement de ce type de structure [35].

### V.3. Préfabrication de l'ensemble de la tête amont

La tête amont est subdivisée en deux grandes parties (figs. 23 à 26). La partie inférieure, allant du bas de l'écluse (niv. 0,00 m) jusqu'à 1 mètres sous le niveau de la porte, est constituée d'éléments identiques à ceux utilisés pour les bajoyers, panneaux de  $3 \times 3 \text{ m}$ ,  $1 \times 3 \text{ m}$  ou  $0,5 \times 3 \text{ m}$  (fig. 4). Tous ces éléments seront, comme pour les bajoyers, amenés en pièces détachées et assemblés sur chantier.

La hauteur de cette partie inférieure est conditionnée par la chute. Ainsi pour une chute de  $5 \text{ m}$ , cette partie aura une hauteur de  $3,50 \text{ mètres}$ , pour une chute de  $7 \text{ mètres}$  une hauteur de  $5,50 \text{ mètres}$  et pour une chute de  $3 \text{ mètres}$  une hauteur de  $1,50 \text{ m}$ .

La seconde partie (fig. 23), la partie supérieure de la tête amont, aura une hauteur de  $4 \text{ mètres}$ , indépendamment de la chute. Elle se compose de deux éléments latéraux identiques où les paliers de la porte basculante prendront place, ainsi qu'un élément de  $5 \text{ m}$  de long constituant le bec du radier amont avec lequel la porte assure l'étanchéité inférieure. Ces trois éléments seront assemblés sur chantier, ainsi que les trois éléments constituant la porte, de façon à constituer la partie supérieure de la tête amont.

Deux autres éléments annexes (figs. 23 à 26) seront ensuite ajoutés à l'ensemble une fois constitué. Il s'agit d'un élément constituant le mur de chute, séparant le sas de la chambre de dissipation située sous la porte. L'autre élément annexe est un bac de réception créant une première dissipation de l'énergie.

### V.4. Préfabrication de l'ensemble de la tête aval et de la porte busquée

La tête aval est d'une conception plus simple que celle d'amont. Elle se compose uniquement d'élé-

- ELEMENTS PREFABRIQUES
- Bras de la porte
  - Panneau de la porte
  - Bas de la porte
  - Bec du radier amont
  - Bac de dissipation
  - Mur latéral de la tête amont
  - Mur de chute
  - Éléments de type bajoyer

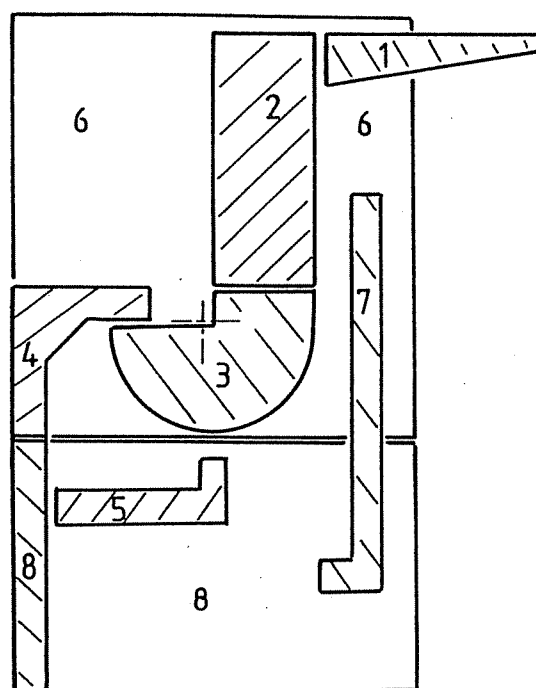


Fig. 23. — Schématisation du principe de montage de la tête amont.

# COUPE 1

## COUPE TRANSVERSALE DU SAS

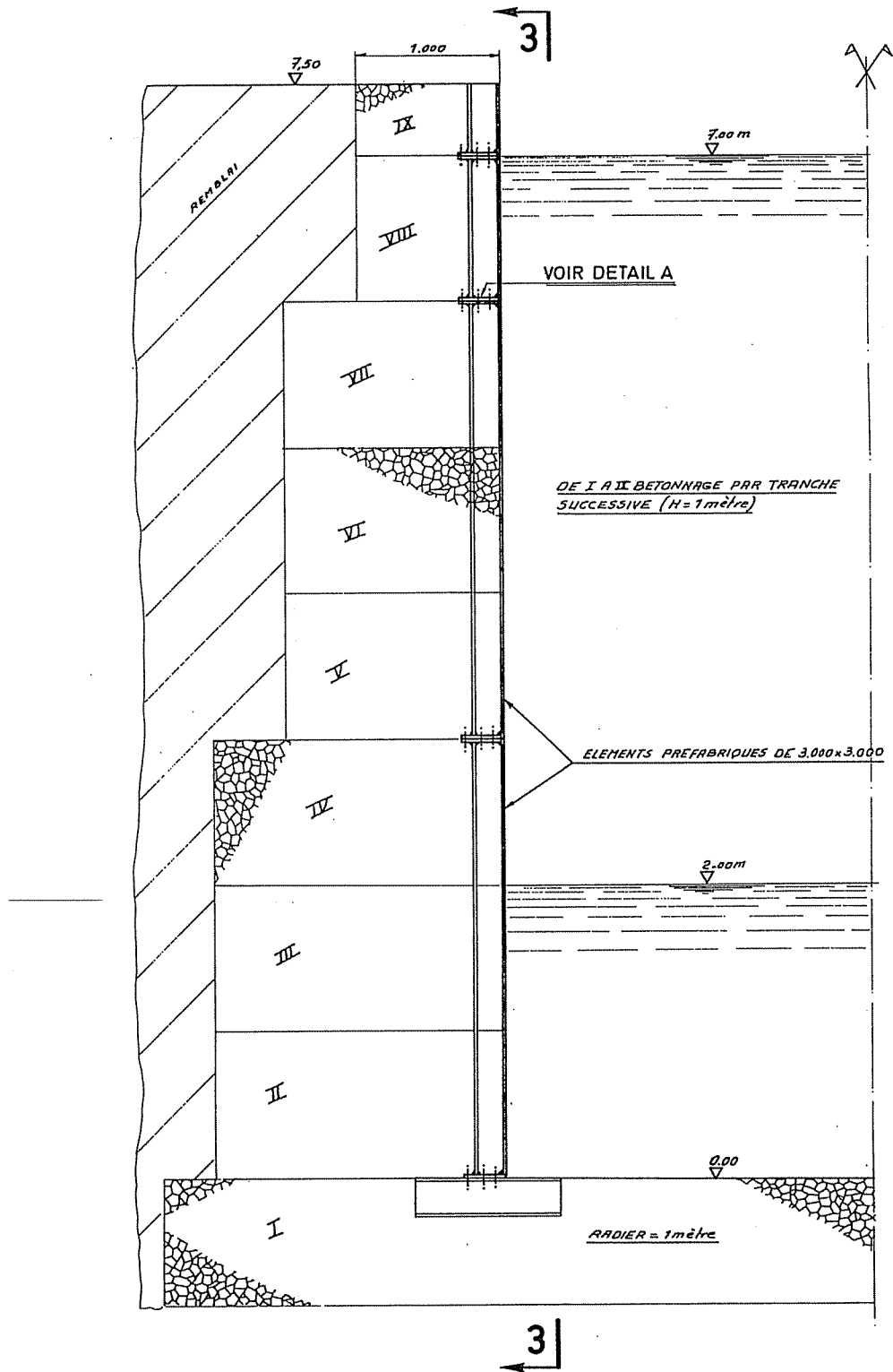


Fig. 24. — Plans et coupes dans la tête et la porte amont.

# COUPE 2

## COUPE TRANSVERSALE AU NIVEAU DE LA PORTE AMONT

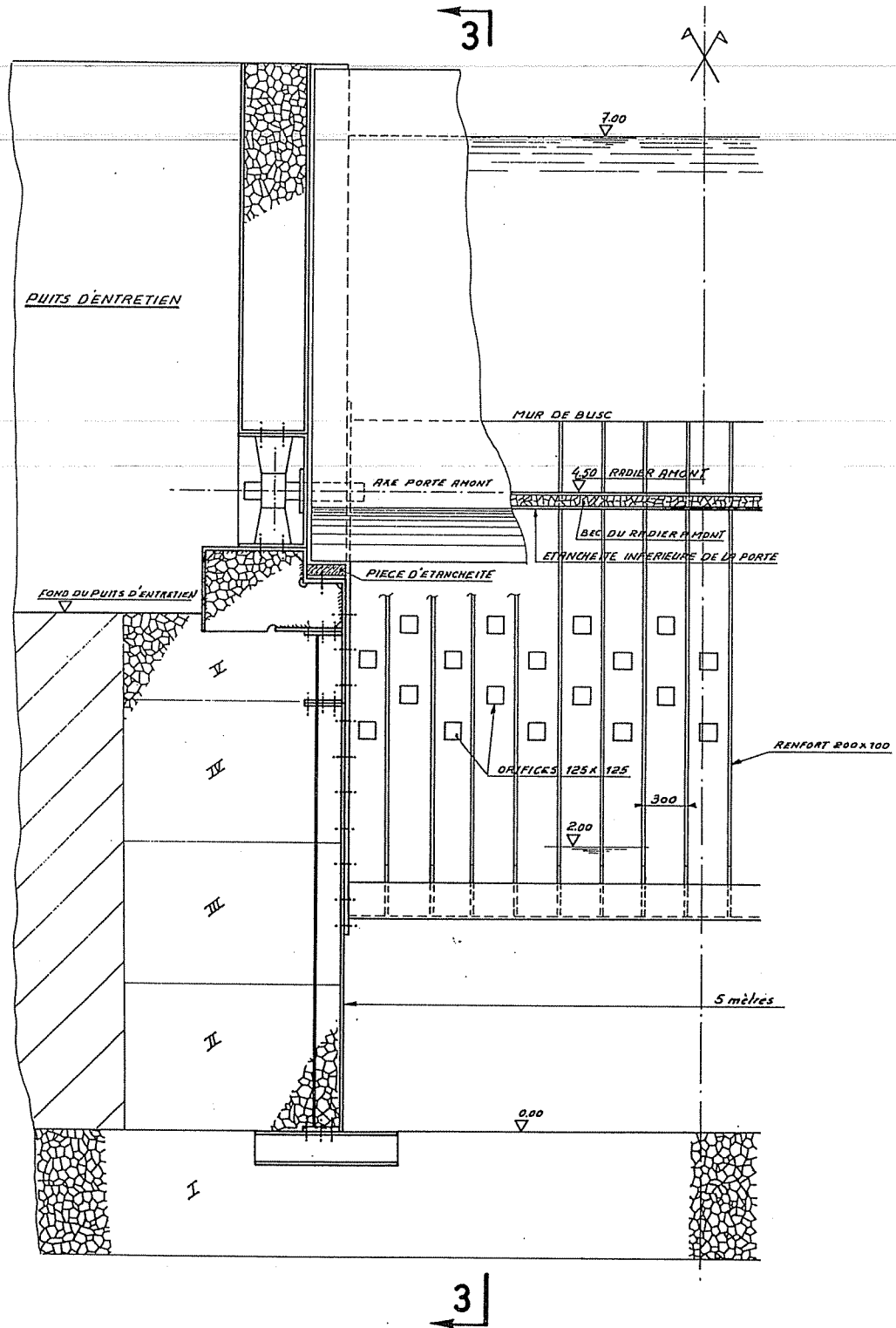


Fig. 25. — Plans et coupes dans la tête et la porte amont.

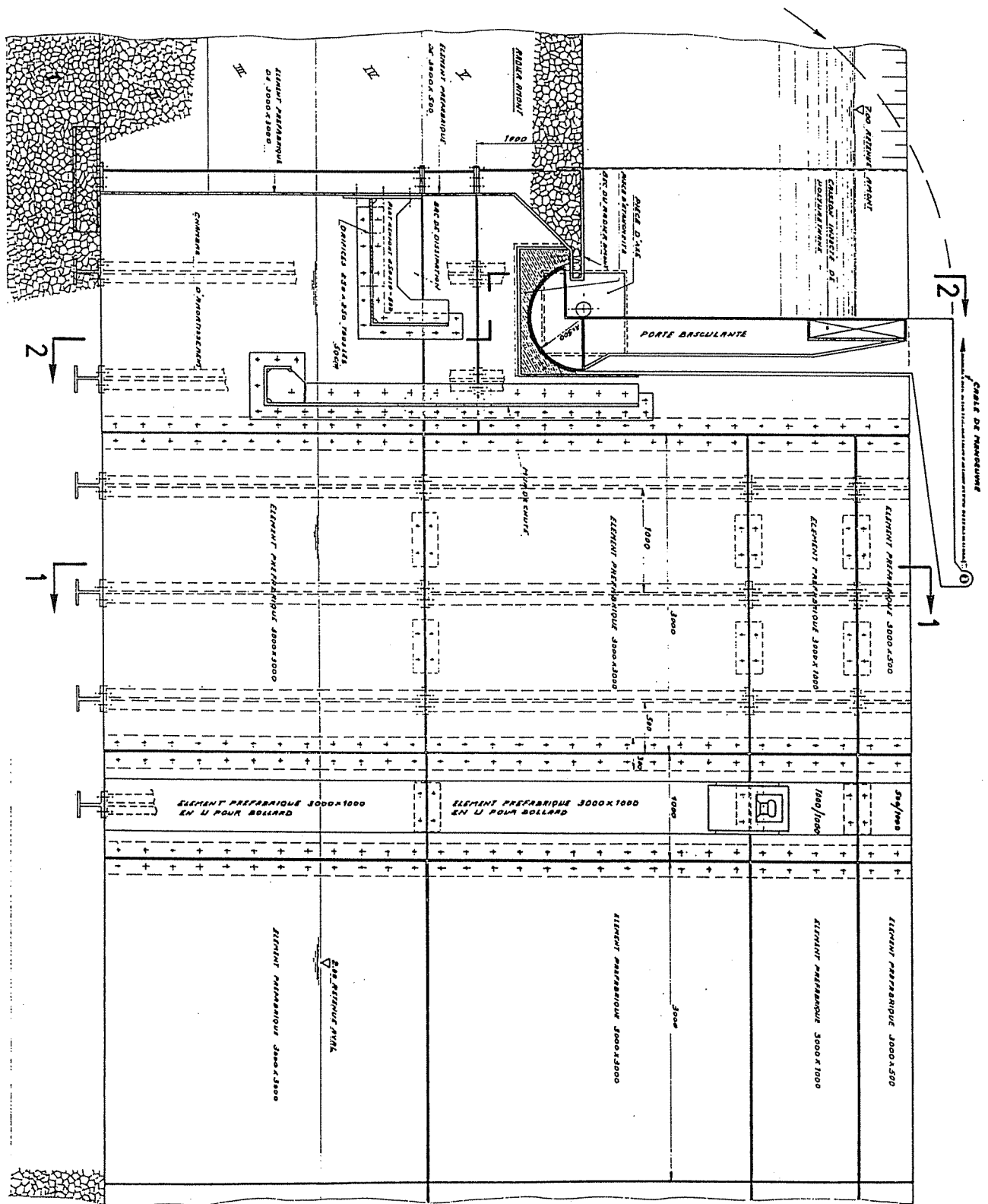


Fig. 26. — Plans et coupes dans la tête et la porte amont.

ments raidis à l'image de ceux utilisés pour les bajoyers. Ces éléments devront cependant avoir une forme précise qu'il est possible de réaliser par pliage (voir figs. 27 et 28). Une fois la tôle pliée, les nervures y seront soudées.

Ces éléments de la tête amont auront une hauteur de 3 m, 1 m ou 0,5 m comme les panneaux des bajoyers (fig. 4).

La porte busquée est composée de deux vantaux, chacun ayant environ 3 mètres de large, 0,5 m d'épaisseur et une hauteur variant avec la chute; 7,5 m ou 9,5 m pour respectivement des chutes de 3 m, 5 m et 7 m.

La grande dimension de ces vantaux nous a conduit également à prévoir une préfabrication en usine par petits éléments et un assemblage sur chantier. Le principe est basé sur des profils en *U* qui, assemblés dos à dos, forment un profil en double *T* (fig. 28). L'épaisseur des semelles des *U* conditionne l'épaisseur du bordage. En assemblant dos à dos des *U* dont les semelles ont des épaisseurs différentes, on fait varier l'épaisseur du bordage et on réalise de ce fait un dimensionnement économique dit d'égalité résistance. Pour une chute de 5 m, quatre éléments seront prévus (3 m × 2,5 m × 0,5 m) dont le poids n'exèdera pas les 500 kg.

Des aiguilles verticales espacées de 0,90 m soutiennent les traverses horizontales et des plats horizontaux subdivisent les panneaux formés entre 2 aiguilles et 2 traverses de façon à réduire la dimension du plus petit panneau et donc de réduire les contraintes dites d'effet plaque (fig. 27).

A la partie inférieure, l'étanchéité se fera sur le seuil sans que la porte ne prenne réellement appui par son intermédiaire.

Deux vannes de 1,30 m de large et de 0,30 m de hauteur utile sont prévues à la partie inférieure de la porte de manière à assurer le sasement. La commande se fait par l'intermédiaire de barres de rappel verticales, les moteurs étant placés sur la porte à la partie supérieure. Les vantaux sont manœuvrés à l'aide de verins hydrauliques dont la course est courte (1,70 m); les efforts à développer sont également réduits puisque la manœuvre s'effectue lorsque le niveau est le même dans le sas et dans le bief aval. Les seuls efforts à vaincre sont les forces de frottement, d'inertie et une légère force de rencontre qui varie avec la vitesse d'ouverture.

## V.5. Estimation du coût de l'écluse

En vue d'estimer les coûts, nous nous sommes référés à une écluse de 5 mètres de chute et dont le sas fait 18 m sur 5 m.

### V.5.1. Tableau III: Les éléments en aluminium à préfabriquer

En ce qui concerne les éléments formant les bajoyers qui sont d'ailleurs les plus nombreux, le poids des plus grands (3 × 3 m) sera de 304 kg. Au mètre carré, leur poids est donc très faible: 34 kg/m<sup>2</sup>.

### V.5.2. Tableau IV: Estimation du coût de l'ensemble des éléments en aluminium.

Subdivisons le coût de l'ensemble des éléments en aluminium en trois, celui dû aux bajoyers (2 × 18 m sur 7,5 m de haut), celui de la tête amont avec la porte basculante et enfin de la tête aval avec la porte busquée.

Afin d'être plus précis, nous nous sommes basés sur un coût de 300 F/kg pour tout ce qui est panneau de type bajoyer et 450 F/kg pour les portes et les éléments plus spéciaux (mur de chute, parois de têtes des portes, ...). Au total, pour les 23 tonnes d'aluminium nécessaire, le coût moyen est bien de 350 F/kg.

L'ensemble des pièces préfabriquées, portes y compris, pourra être acheminé sur chantier à l'aide d'uniquement trois camions de 10 tonnes chacun. Les dimensions de l'aire de chargement de ces camions sont des plus normales, 2,5 m sur 10 m. De plus, une grue de moins d'une tonne est également amplement suffisante (chargement, déchargement et opérations de montage); les portes étant également acheminées en sous-éléments.

### V.5.3. Tableau V: Estimation du coût total d'une écluse de plaisance

Pour le béton de fibres, le prix au m<sup>3</sup> a été basé sur un coût de 55 F/kg pour les fibres et de 3500 F/m<sup>3</sup> pour le béton.

Le prix total des éléments en aluminium est de 8 millions de FB en comprenant également le coût des portes pour 2 millions; cela représente environ le tiers de la note totale, soit 25 millions.



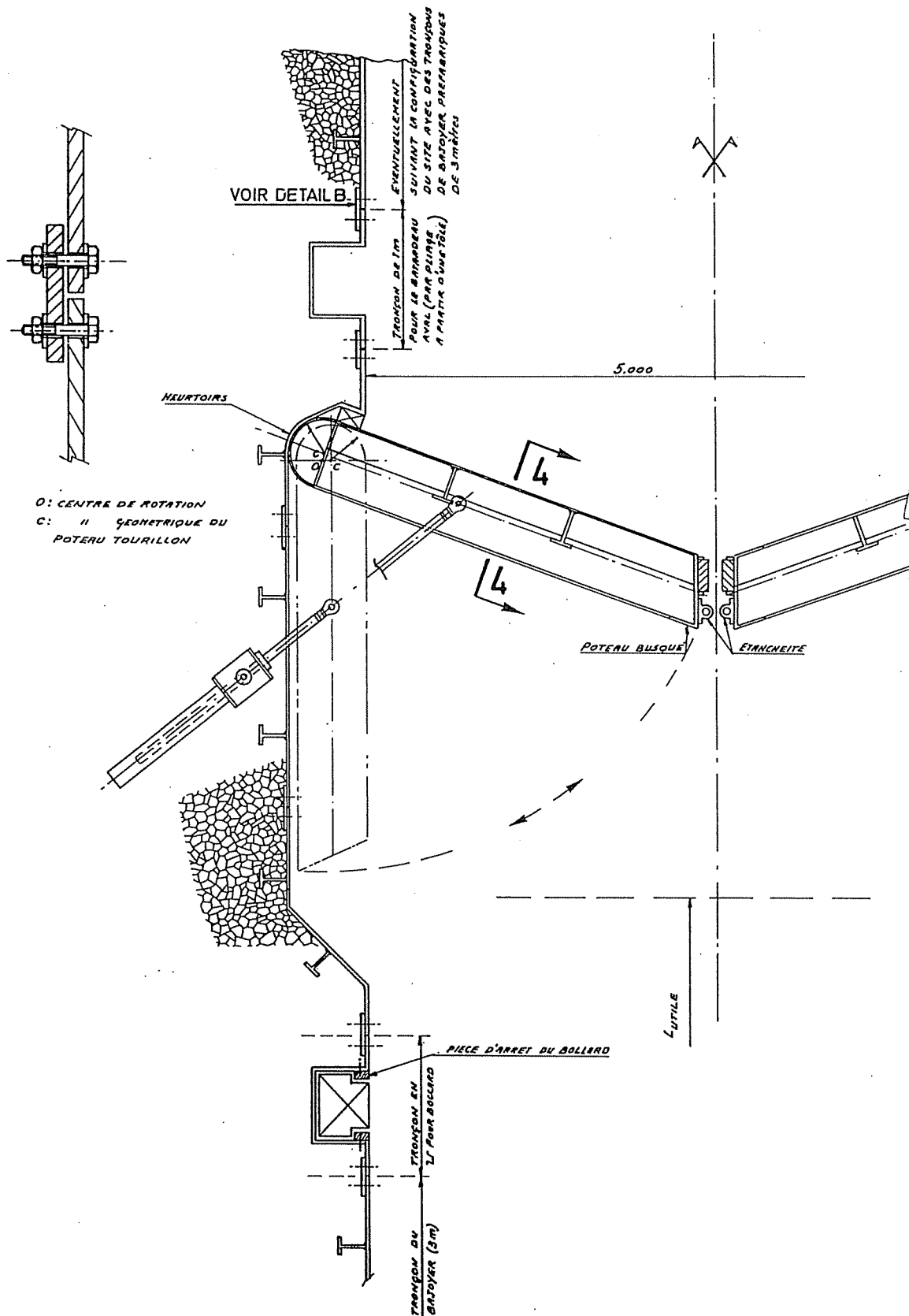


Fig. 27. — Vue d'un vantaillon de la porte busquée en aval de l'écluse.

**COUPE 4**  
**COUPE VERTICALE DANS UN VANTAIL DE LA**  
**PORTE BUSQUEE**

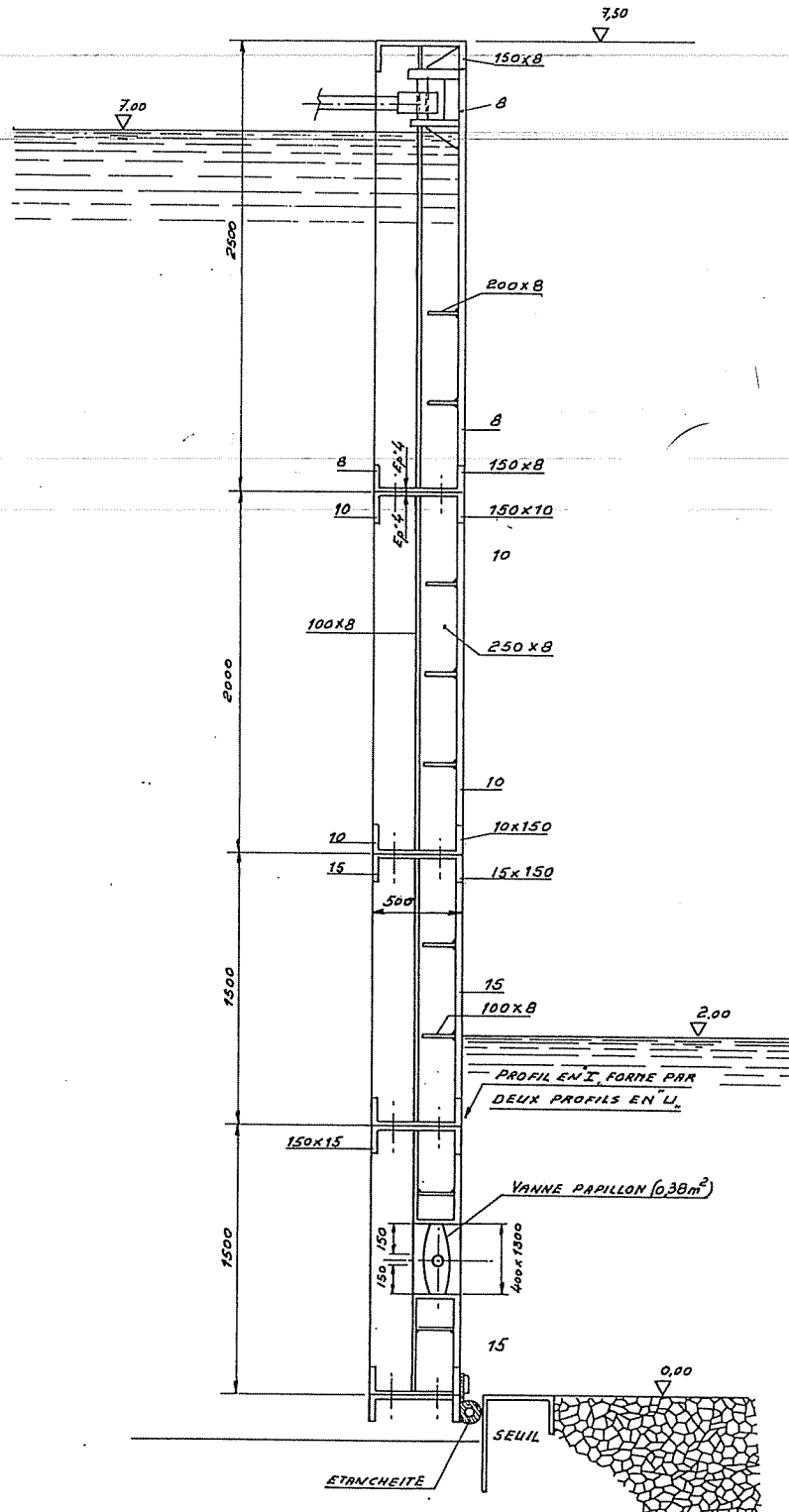


Fig. 28. — Coupe transversale dans un vantail de la porte busquée.

## VI. PRINCIPE DE L'AUTOMATISATION DU FRANCHISSEMENT DE L'ÉCLUSE « PRESSE-BOUTON »

Pour répondre aux objectifs de fonctionnement, l'écluse sera complètement automatisée (fig. 29).

Le principe de cette écluse « presse-bouton » est le suivant [3]:

- un bateau arrivant du côté *A* enclenche par l'intermédiaire d'un dispositif d'appel une série d'opérations complètement automatiques 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'éclusiers et permet l'éclusage 7 jours sur 7, 24 h sur 24.

En Finlande [11], deux écluses ont été automatisées par un système similaire au nôtre, quoique moins performant et moins sécurisant. Le système finlandais est très bien accepté et donne entière satisfaction bien qu'inspirant une certaine inquiétude à certains plaisanciers isolés et non expérimentés.

## VII. CONCLUSIONS

Depuis une dizaine d'année, aux Pays-Bas, la navigation de plaisance connaît un développement considérable. *La Navigation de Sport et de Plaisance* est le secteur économique créant le plus de retombées économiques dans le domaine de la culture et des loisirs (27 milliards de FB/an et 9000 emplois).

Dans une moindre mesure, cet engouement pour la plaisance a fait également son entrée dans de nombreux pays européens de notamment la Belgique.

Il n'est cependant pas concevable d'espérer voir se développer la plaisance dans des voies navigables qui seraient, soit non entretenues car non rentables ou trop étroites, soit uniquement conçues pour le trafic commercial d'unités de gros tonnages (1350 t à 9000 t). Des aménagements spécifiques à la plaisance sont donc souhaitables et recommandables.

C'est à ce titre que nous proposons le concept d'*écluse presse-bouton* qui permet aux plaisanciers le franchissement des chutes 24 h sur 24. Ces écluses dont le gabarit (18 m sur 5 m) est adapté aux bateaux de plaisance, nous proposons de les construire à partir de *panneaux raidis en aluminium*, préfabriqués en usine et assemblés sur chantier. Ils serviront de coffrage perdu pour des bajoyers ainsi que pour les têtes amont et aval. Les portes, basculante et busquée seront également construites en aluminium.

Cette technique de fabrication d'une écluse de petite dimension à partir de panneau en aluminium possède de nombreux avantages parmi lesquels on peut citer:

- une technique de construction rapide (1 à 2 mois),
- une construction dans des sites qui seraient, soit difficile d'accès, soit en zones urbaines où la zone des travaux doit être réduite, ...
- l'ensembles des éléments préfabriqués (bajoyers, têtes amont et aval, porte basculante, porte busquée) peuvent être transportés en pièces détachées grâce à uniquement 3 camions de 10 tonnes,
- tous les éléments peuvent être chargés, déchargés et déplacés en vue de leur montage avec une grue dont la force de levage n'est que d'une tonne,
- l'utilisation de l'aluminium 5086 garantit la pérennité de l'ouvrage vis-à-vis notamment de la corrosion,
- ...

Ce sont ces avantages qui, plus que le coût de construction, justifient l'utilisation de l'aluminium face à l'acier ainsi que la préfabrication face aux opérations manuelles, longues, pénibles et coûteuses du coffrage et du ferrailage sur chantier.

Le coût d'une telle écluse sera d'environ 25 millions de FB, dont 8 millions pour les pièces en aluminium (bajoyers, portes).

Nous espérons que cette technique nouvelle de construction, à partir d'élément en aluminium, permettra d'aider le développement de la plaisance et des sports nautiques en Belgique et contribuera ainsi à accroître les retombées économiques qui peuvent être très importantes. De plus, notre proposition doit permettre d'élargir le champ d'application de la construction métallique en aluminium.

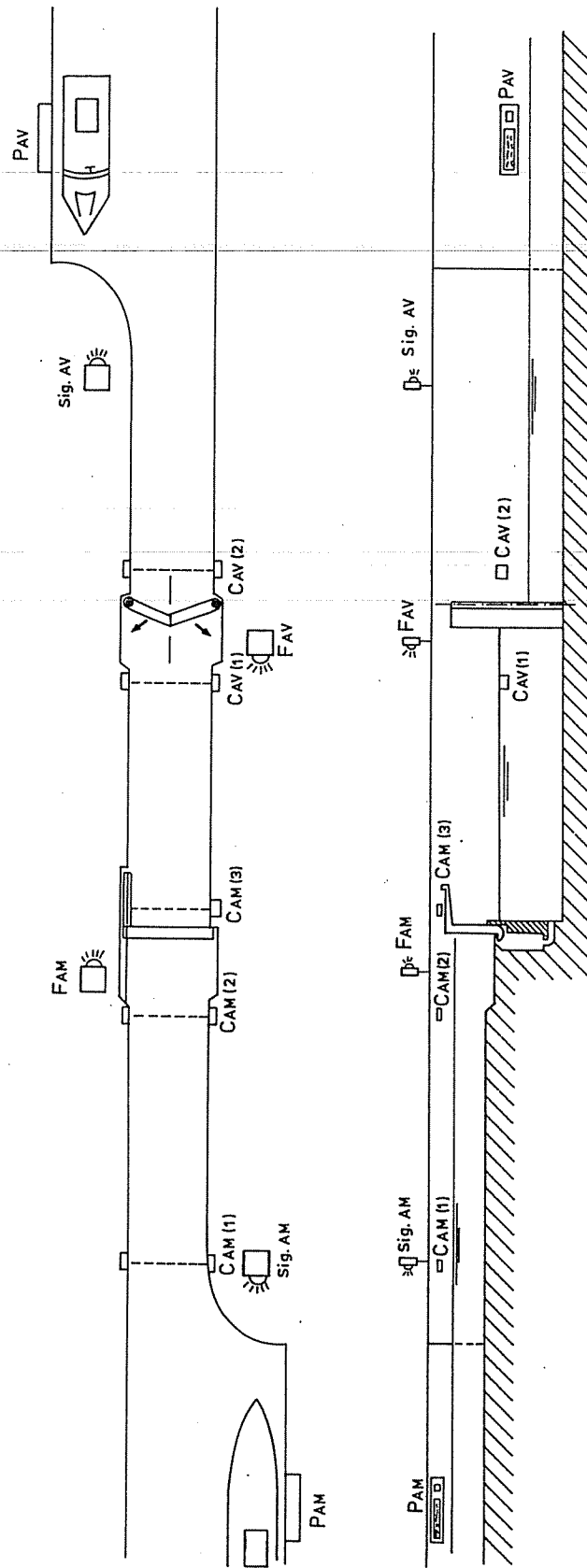


Fig. 29. — Principe du dispositif d'automatisation d'une écluse de plaisance « presse-bouton ».

## TABLE DES MATIÈRES

- I. Introduction
- II. Etude des retombées économiques de la plaisance
  - II.1. Evaluation des dépenses dues à la navigation de plaisance et aux sports nautiques
  - II.2. Les emplois créés et le retombées économiques
  - II.3. Conclusions
- III. La navigation de plaisance et l'Europe
  - III.1. L'exemple européen
  - III.2. La situation belge
- IV. Propositions d'écluses préfabriquées en aluminium
  - IV.1. Les raisons du choix de l'aluminium
  - IV.2. Evolution de la navigation commerciale
  - IV.3. Estimation du gabarit à donner aux écluses de plaisance
  - IV.4. Evolution de la navigation de plaisance
  - IV.5. Disposition générale de l'aménagement d'une voie navigable
  - IV.6. Etude du sassement et du type de porte
- V. Présentation des éléments constitutifs du système de préfabrications des écluses de plaisance
  - V.1. Mode et techniques d'assemblage
  - V.2. Etude des panneaux préfabriqués en aluminium pour la réalisation des bajoyers
  - V.3. Préfabrication de l'ensemble de la tête amont
  - V.4. Préfabrication de l'ensemble de la tête aval et de la porte busquée
  - V.5. Estimation du coût de l'écluse
- VI. Principe de l'automatisation du franchissement de l'écluse « Presse-Bouton »

## VII. Conclusions

### Références

### RÉFÉRENCES

1. VAN OOSTKOM, L.: "The economic significance of water sports and recreation in the Netherlands", A.I.P.C.N., Bulletin n° 63, 1988.
2. DEHOUSSE, N.M., RIGO, Ph.: «Li voyèdje di Tchôfontin.ne — Une liaison Liège - Chaudfontaine pour bateaux de plaisance», A.I.P.C.N., Bulletin n° 67, 1990.
3. DEHOUSSE, N.M., RIGO, Ph., RODRIGUEZ, S.: «Le franchissement des chutes pour la navigation de plaisance dans les voies d'eau équipées pour la grande navigation intérieure», A.I.P.C.N., Bulletin n° 52, 1986.
4. DEHOUSSE, N.M.: «Les écluses de navigation», Laboratoires d'Hydrody-namique, d'Hydraulique Appliquée et de Constructions Hydrauliques, LHCH, Liège, 1985.
5. KORF, J.K.: "Pleasure cruising in the Netherlands", A.I.P.C.N., Bulletin n° 52, 1986.
6. BAEHREL, R., INVERNIZZI, G.: «Metz: La permanence des aménagements liés à l'eau», A.I.P.C.N., Bulletin n° 65, 1989.
7. TOUSSAINT, E.: «Les voies navigables et l'urbanisme, Nancy redécouvre l'eau», A.I.P.C.N., Bulletin n° 65, 1989.
8. NEUGEBAUER, P.: "Waterways in Berlin and Tegel harbour", A.I.P.C.N., Bulletin n° 65, 1989.
9. DE MOS, H.: "From commercial shipping to pleasure craft in five years, the rehabilitation of Linge harbour", A.I.P.C.N., Bulletin n° 65, 1989.
10. JAPES, M.D. and al.: "The Redevelopment of the urban canal scene", A.I.P.C.N., Bulletin n° 65, 1989.
11. JUHANI VAINIO: "Problems of pleasure craft near locks", A.I.P.C.N., Bulletin n° 52, 1986.
12. CHANDRION, F., CHEVRIER, C.: «La canalisation de la Moselle», Extrait de la revue technique Luxembourgeoise, 53<sup>e</sup> année, n° 1, Imp. de la Cour V. Buck, S.e.c.s., Luxembourg, 1961.
13. HAMOIR, C.: «Projet d'une jonction Liège-Chaudfontaine pour bateaux de plaisance», Rapport interne, LHCH, Université de Liège, 1988-1989.
14. ENGELKE, G.: "How to avoid queues of pleasure craft near locks", A.I.P.C.N., Bulletin n° 52, 1986.
15. AISM/AIPCN: «Les aides à la navigation destinées aux bateaux de plaisance», Rapport du groupe de travail mixte AISM/AIPCN, AIPCN, supplément au Bulletin n° 62, 1988.
16. OFFICE DE LA NAVIGATION: «Rapport statistique annuel 1988, Meuse, Canal Albert, Sambre, ...», Office de la Navigation, Liège, 1989.
17. TRINE, J.-L.: «Avant-projet d'écluses pour la navigation de plaisance», Rapport interne, LHCN, Université de Liège, 1985-1986.
18. MARCHAL, J.: «Caractéristiques des bateaux et des canaux adaptés à l'évolution de la navigation intérieure», Association Technique Maritime et d'Aéronautique Française, Paris, 1977.
19. O'NEIL, Th.: "Channels of live", Revue de Sabena Airlines, Bruxelles, Septembre 1989.
20. RIGO, Ph.: «Utilisation des développements harmoniques aux calculs des ouvrages hydrauliques métalliques», Thèse de doctorat, Université de Liège, Collection des publications de la Faculté des Sciences Appliquées, n° 120, 1989.
21. RIGO, Ph.: «Le réglage des flottaisons dans les biefs par barrages mobiles — Calcul et Conception», Proceedings of the International Conference on Computer Methods and Water Resources, Morocco, vol. 4, Springer-Verlag, March 1988.
22. RIGO, Ph.: «Calcul des constructions hydrauliques métalliques par la méthode des développements harmoniques» Annales de l'Institut Technique du bâtiment et des Travaux Publics, Théories et Méthodes de Calcul 305, SEBTIP, n° 474, Paris, Mai 1989.
23. DEHOUSSE, N.M., RIGO, Ph.: "The Design of Cylindrical Orthotropic Plates and Shells", Congrès de l'IASS, Madrid, Septembre 1989.
24. RIGO, Ph.: «L.B.R.-3, le logiciel de calcul et de conception des structures hydrauliques fortement raidies (écluses, barrages mobiles, ...)», Bulletin de l'A.I.P.C.N., n° 65, Juin 1989.
25. RIGO, Ph.: «Le calcul des structures cylindriques flottantes», Association Technique Maritime et d'Aéronautique Française, 89<sup>e</sup> Session, Paris, Avril 1989.
26. DEHOUSSE, N.M., RIGO, Ph., RODRIGUEZ, S.: «Au sujet de la porte marée-tempête prévue pour l'accès au port de Rotterdam: la plus grande construction hydraulique mobile actuelle en une seule portée», Publication interne du LHCN, Mai 1988.
27. GHYOOT, P.: «Les constructions à charpente métallique — L'aluminium» et «L'aluminium: Un métal particulièrement résistant», rev. Batiment, n° 212, Septembre 1989.
28. VARGEL, C.: «Le comportement de l'aluminium et de ses alliages», Dunod Technique, Paris, 1979.
29. VOOS, J.: «Calcul d'une porte d'écluse plane et busquée», Rapport interne, LHCN, Université de Liège, 1982-1983.
30. PECHINET: «Catalogue», Pechiney aluminium, France, 1985.
31. ALUSUISSE: «Caractéristiques des alliages Alusuisse, recommandations générales d'emploi», Alusuisse S.A., Bruxelles, 1986.
32. SIDAL: «Liste de stock», Sidal N.V., Duffel, 1982.
33. BACAER, J.P., LYONNET, C.: «Comportement de l'aluminium et de ses alliages au contact des bétons», Revue de l'aluminium, n° 450, Avril 1976.
34. DEHOUSSE, N.M., SALHOUL, M.: «Considérations relatives au comportement à la fissuration et à la rupture du béton renforcé de fibres», Matériaux et Constructions, vol. 18, n° 104, 1985.
35. DANIELS, B., CRISINEL, M.: «Essais de dalles mixtes avec tôle profilée Hibond 55», Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Département du Génie Civil, Lausanne, Août 1987.
36. BLAZE, G.C.: "The 5000-Series Alloys Suitable for Welded Structural Applications", Aluminium Company of America, New Kensington, Pennsylvania, revised 3, 1974.

## GEPREFABRICEERDE SLUIZEN IN ALUMINIUM, EEN „MUST“ VOOR DE ONTWIKKELING VAN DE PLEZIERSCHEEPVAART

*Na een inleidende vergelijking met de ontwikkeling van de plezierscheepvaart in Nederland worden in zes hoofdstukken volgende aspecten van het onderwerp behandeld:*

- 1) *studie van de economische weerslag van de plezierscheepvaart met een raming van de uitgaven en van de economische weerslag;*
- 2) *de plezierscheepvaart geplaatst in zijn Europees kader;*
- 3) *een voorstel van geprefabriceerde sluisen in aluminium:*
  - *beschrijving van de oplossing*
  - *waarom aluminium als materiaal*
  - *evolutie van de handelscheepvaart*
  - *gabariet te voorzien voor de sluisen*
  - *evolutie van plezierscheepvaart*
  - *aanpassing van bestaande scheepvaartwegen aan de plezierscheepvaart*
  - *studie van het schutten en van de sluisdeur*
- 4) *samenstellende elementen van de sluis voor plezierscheepvaart:*
  - *techniek van de verbinding van de prefab-elementen*
  - *studie van de aluminiumpanelen voor de schut-kolkmuur*
  - *prefabrikatie van het geheel van het opwaarts sluishoofd, van het afwaarts sluishoofd en van de sluisdeur*
- 5) *raming van de kostprijs van de sluis;*
- 6) *principe van de automatisatie van het gebruik van de sluis „Druk op de knop“.*

*Als besluit wordt de hoop uitgedrukt dat deze nieuwe techniek zal bijdragen tot de ontwikkeling van de plezierscheepvaart en tot een verruiming van het toepassingsgebied van het materiaal aluminium.*