

# BELGIQUE

## La réalisation de barrages mobiles préfabriqués en aluminium

par

N.M. DEHOUSSE, Professeur,

H. HADID, Dr. Ing. Assistant

et

Ph. RIGO, Dr. Ing. Chercheur Qualifié du FNRS

Université de Liège, LHCN,

Laboratoires d'Hydraulique Appliquée, de Constructions Hydrauliques et Navales

6, Quai Banning 4000 Liège,

T. VAN FRACHEN, Directeur,

et

A. FRANQUINET, Ingénieur

Chantier Naval de Meuse et Sambre

16, rue de Namur

5128 Beez-sur-Meuse,

(Belgique)

### 1. Introduction

des écluses de basse chute équipées de portes busquées à commande manuelle et permettant le passage de bateaux de 300 tonnes (40,5 x 5,20 m) (Fig. 1).

Grâce à une subvention du Ministère des Technologies Nouvelles de la Région Wallonne de Belgique, le chantier naval Meuse et Sambre et les L.H.C.N. - Université de Liège ont mis au point une technique nouvelle de construction de barrages mobiles susceptibles d'équiper des rivières de moyenne importance par des ouvrages de faible chute.

Dans le souci d'être concrets, les auteurs ont tenu à en faire l'application à une rivière wallonne : la Haute-Sambre.

De la frontière française jusqu'à la confluence de la Sambre, la Haute-Sambre est actuellement équipée de neuf barrages à poutrelles datant du XIX<sup>e</sup> siècle. Ces ouvrages sont aujourd'hui dans un état vétuste et précaire.

Après la frontière française, la Sambre serpente sur une longueur de 34 km environ, avec une largeur moyenne de 40 m et une pente moyenne de 70 cm/km ; la dénivellation totale reprise par les neuf barrages est de 22 m. Ces barrages sont accolés à

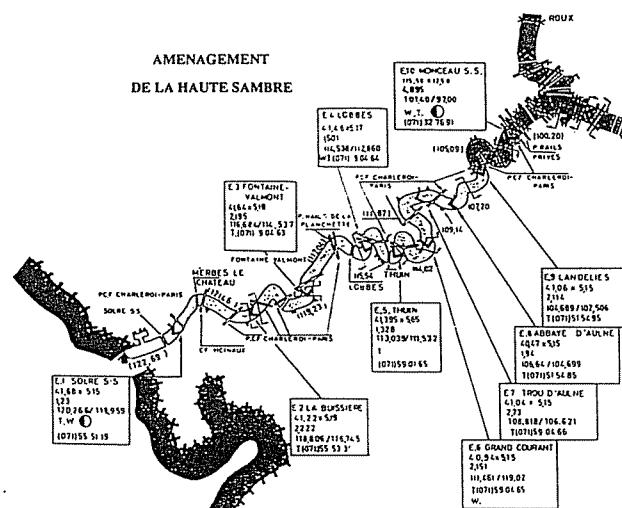


Figure 1:  
Situation générale de l'aménagement  
de la Haute-Sambre.  
General development of the Haute-Sambre

Une augmentation importante du trafic n'est pas envisagée dans un avenir proche, dépendant qu'il est des décisions d'aménagement à prendre par le gouvernement français. Il n'entre donc pas dans les intentions immédiates des autorités belges (Ministère de l'Equipment et des Transports - M.E.T.) de remplacer les écluses par d'autres de plus grande capacité.

Par contre, les barrages nécessitent un total reconditionnement. La vallée ayant un caractère rural et présentant un attrait touristique important, les ouvrages à concevoir doivent être aussi discrets que possible.

Enfin, puisqu'il importe d'en construire neuf quasi identiques, les idées de normalisation et de préfabrication prennent tout leur sens.

## 2. Spécificité de l'aménagement

Le remplacement de ces neuf barrages est nécessaire à plus d'un titre:

- les manœuvres de ces ouvrages à poutrelles sont pénibles, dangereuses, lentes et sont parfois la cause d'accidents;
- le personnel requis est de plus en plus difficile à trouver;
- leur entretien et leur réparation sont malaisés, donc les coûts y afférent sont importants;
- les conditions de stabilité ne sont plus conformes aux règles d'aujourd'hui.

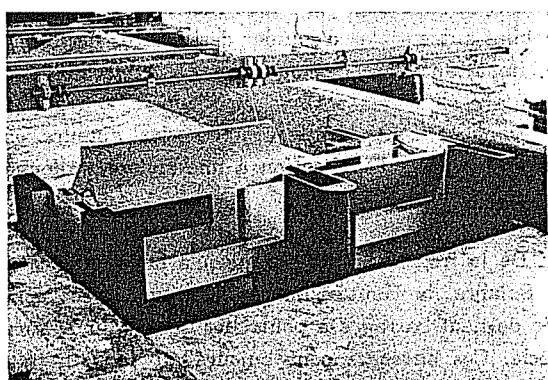
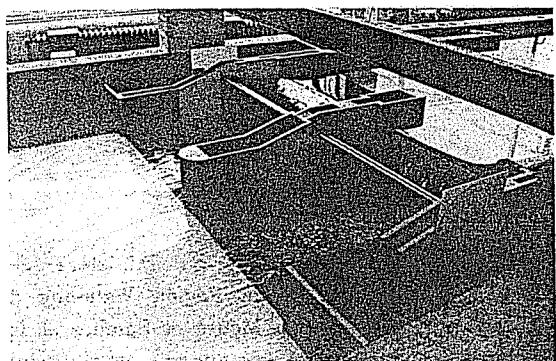
Si la nécessité de remplacer ces barrages est impérative, elle n'en exige pas moins certaines contraintes à respecter qui nécessitent une technique de rénovation particulière:

- conserver les écluses actuelles;
- maintenir les rives et l'aspect de la vallée;
- concevoir des ouvrages aussi discrets que possible en raison du caractère rural et touristique de la région;
- maintenir, au moins approximativement, les flottaisons actuelles;
- maîtriser les inondations, y compris pendant les travaux de remplacement;
- réduire, autant que faire se peut, la gêne des riverains pendant les travaux;
- assurer une meilleure souplesse dans la maîtrise des flottaisons, des évacuations de crues, de corps flottants afin d'améliorer la navigation et la sécurité des riverains;
- minimaliser les coûts.

## 3. Dispositions suggérées

A ce jour, les barrages mobiles ont tous été construits dans le site même d'implantation à l'aide d'un batardeau assurant une mise à sec du fond de la rivière. Pour la Haute-Sambre, les impératifs à respecter nous incitent à rompre avec la tradition:

- en préfabriquant lesdits barrages, car il y en a 9 à construire et ils sont quasi tous identiques (Photos 1 et 2);
- en les acheminant par voie fluviale (Photo 4);
- en utilisant des vannes de régulation simples d'un type nouveau, en une pièce (Photo 3);
- en employant un alliage d'aluminium comme coffrage perdu et comme matériau de base pour les vannes afin de réduire le tirant d'eau en phase de flottaison des éléments à acheminer;
- en utilisant le béton armé de fibres métalliques comme agent de liaison avec la fondation et comme élément structurel porteur.



Photos 1 et 2:  
Vues du modèle réduit d'un barrage mobile préfabriqué. Chaque élément est caractérisé par une couleur.  
Views of the scale model of the prefabricated weirs. Each element is characterized by a different colour.



Photo 3:

*Vue d'une vanne et de l'écoulement de surface (par-dessus la vanne).*

*Overflow over a radial gate*

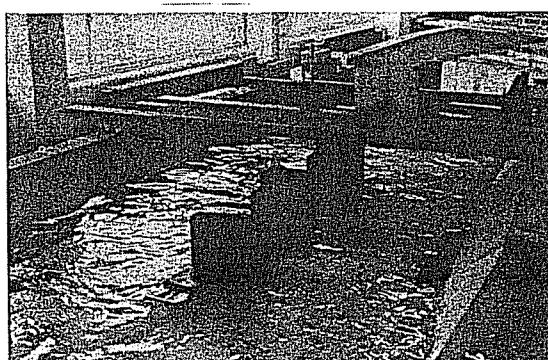


Photo 4:

*Un élément préfabriqué amené en flottaison sur le site de construction par poussage.*

*A prefabricated floating element pushed on the river to the work site.*

L'aboutissement de la recherche est l'établissement de plans-guides.

En résumé, les études et recherches ont été axées sur :

- les régimes hydrologique et hydraulique de la rivière ;
- les opérations d'acheminement, d'assemblage et d'immersion des éléments préfabriqués constitutifs de la structure ;
- le choix de fibres métalliques à inclure dans le béton ;
- le comportement de l'aluminium au contact du béton armé de fibres ;
- le dimensionnement des éléments en aluminium, vannes et caissons ;
- la modélisation physique des divers dispositifs.

## 4.

### Le principe de construction

L'idée de base est de préfabriquer les vannes ainsi que tous les éléments de coffrage du radier (assise de fondation) (Fig. 2). Le radier a une portée de 20 m (y compris les avant- et arrière-radiers et fosse d'amortissement) et une largeur de 29,5 m (deux passes de 12 m, une pile centrale de 2,5 m et 2 culées de 1,5 m).

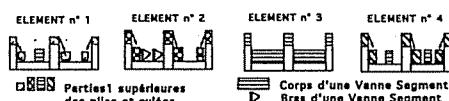


Figure 2:

*Les 4 caissons préfabriqués sont amenés en flottaison, avec les éléments qu'ils transportent durant leur acheminement sur le site.*

*The 4 prefabricated floating elements and the elements they carry convoyed to the site.*

Le radier est conçu en quatre éléments de 5 m sur 29,5 m, chaque élément étant constitué d'un tronçon de radier surmonté des éléments de pile et culées afférents. Les éléments sont conçus comme des pontons flottants pouvant transporter les vannes, bras et éléments de piles et culées qui s'y rapportent. La taille des éléments, remorqués depuis le chantier de préfabrication jusqu'au site de construction, leur permet de passer au travers des écluses de la Sambre. L'enfoncement des éléments étant de 50 cm et le tirant d'air de 4 m, les piles et culées ont été conçues en 2 pièces superposables.

Une fois les éléments acheminés sur le site, ils sont solidarisés (en flottaison) et les vannes, bras et parties supérieures des piles et culées positionnés à leur place définitive. Enfin, les caissons des éléments pontons sont ballastés afin de couler l'ensemble (radier - piles - culées) dans une souille préalablement excavée. En position basse, cet ensemble vient reposer sur des blocs en béton immergés (tins). Finalement, le radier sera noyé dans un béton de masse liant le tout à la fondation et les éléments de piles et culées remplis de béton de fibres. Les éléments en aluminium constituent donc des coffrages perdus qui, après durcissement du béton, abandonnent leur rôle d'éléments porteurs au profit du béton.

On comprendra que l'application de ce principe postule de lever des incertitudes relatives à diverses questions qui seront abordées ci-après :

- le régime d'écoulement de la rivière et les profils hydrauliques (lignes d'eau) en vue de calibrer les vannes;
- le comportement de l'aluminium au contact du béton;
- les fibres métalliques à employer dans le béton de masse;
- le choix de la vanne en vue de la régulation des débits;
- le comportement des pontons en cours de transport, d'immersion et en service.

Ces divers points seront abordés ci-après.

## 5. Régime d'écoulement de la Sambre

Les données de base ont été fournies par le Service de la Sambre du M.E.T.: ce sont les relevés journaliers des débits à Salzinnes (Namur) pendant 27 années d'observations.

Ces débits sont très variables avec un étiage de  $\pm 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  et un débit de crue de  $420 \text{ m}^3/\text{s}$ .

On en a déduit la courbe des débits classés (nombre de jours par an pendant lesquels un débit déterminé est atteint ou dépassé).

Le Tableau 1 fournit les valeurs caractéristiques correspondant à plusieurs probabilités de dépassement.

Débits dépassés (m <sup>3</sup> /s) Exceeded Discharges	Salzinnes (Namur)	Biefs 1 et 2 (Sambre-Sambre)	Biefs 3 à 5 (Thuin)	Biefs 6 à 9 (Landelies)
Débit dépassé 10 jours par an	140,0	100,0	105,0	107,0
Débit dépassé 1 mois par an	80,0	57,0	60,0	61,0
Débit dépassé 3 mois par an	34,0	24,0	25,0	26,0
Débit dépassé 6 mois par an	13,0	9,0	10,0	10,0
Débit dépassé 9 mois par an	7,5	5,0	5,6	5,7
Débit dépassé 355 jours par an	1,4	1,0	1,0	1,0

Tableau I:

Les débits correspondant à diverses probabilités de dépassement.

River discharges and occurrence probability.

A partir de ces données et compte tenu des surfaces des bassins versants partiels, on a pu définir les débits à considérer pour chaque bief de la rivière.

## 6. Profils hydrauliques.

Grâce aux relevés effectués par l'*Office de la Navigation* (M.E.T.), les auteurs ont disposé de 167 profils en travers entre la frontière française et Monceau-sur-Sambre.

Par une modélisation numérique, les axes hydrauliques (lignes d'eau) ont été calculés pour différents débits.

On dispose ainsi actuellement:

- du profil en long de la rivière et du niveau des rives gauche et droite;
- de la ligne d'eau (profil de la surface de l'eau) pour plusieurs débits;
- des hauteurs uniformes et critiques dans chaque bief.

En traçant les lignes d'eau pour différents débits, on obtient pour chaque barrage le débit maximum pour lequel le barrage est noyé, c'est-à-dire lorsque le niveau aval de ce barrage atteint le niveau amont. Au-delà de cette situation, la navigation ne saurait être maintenue, car la vitesse du courant devient excessive. Les débits-limites ainsi obtenus sont les suivants, par bief et de l'amont vers l'aval:

Bief 1 : $Q_1 = 102 \text{ m}^3/\text{s}$	Bief 5 : $Q_5 = 149 \text{ m}^3/\text{s}$
Bief 2 : $Q_2 = 169 \text{ m}^3/\text{s}$	Bief 6 : $Q_6 = 180 \text{ m}^3/\text{s}$
Bief 3 : $Q_3 = 147 \text{ m}^3/\text{s}$	Bief 7 : $Q_7 = 310 \text{ m}^3/\text{s}$
Bief 4 : $Q_4 = 146 \text{ m}^3/\text{s}$	Bief 8 : $Q_8 = 224 \text{ m}^3/\text{s}$

## 7. Aperçu expérimental de la corrosion de l'aluminium

L'emploi de l'aluminium sous forme d'alliage est de plus en plus fréquent dans la construction: la consommation de l'aluminium dans le bâtiment et les équipements terrestres et navals a pratiquement doublé en l'espace de quelques années. Cependant, dans le génie civil, beaucoup d'opérateurs restent sceptiques, opposés par conservatisme ou par méfiance envers la tenue des alliages d'aluminium. Notre objet est d'analyser le comportement de ce métal au contact des matériaux de construction incontournables que sont le ciment, le béton et le béton armé.

Un programme expérimental a visé à établir les réactions de l'aluminium en contact avec le béton et avec le béton armé de fibres métalliques.

Pour ce faire, les matériaux suivants ont été employés:

l'influence de la présence des fibres d'acier a conduit aux trois variantes suivantes:

- sans élément métallique;
- avec éléments métalliques (arrangement naturel des fibres dans la masse du béton);
- avec éléments métalliques mis en contact direct avec les plaques d'aluminium.

L'influence du facteur oxydant de l'air et de l'eau a été mis en évidence par l'immersion dans l'un et l'autre élément. Au total, 300 échantillons ont été testés, les échantillons étant doublés, l'un décapé, l'autre non.

Après quatre mois d'expérimentation et en s'appuyant sur les résultats des diverses méthodes d'analyse (examen visuel, examen au microscope, indice pondéral, graphes et tableaux), il est permis de tirer les conclusions suivantes.

1. Une faible dégradation d'aspect est visible dès le premier jour pour les plaquettes décapées, alors qu'elle ne se fait sentir qu'au bout d'une semaine, voire parfois 3 semaines, dans le cas de plaquettes à l'état brut (écrouissage d'usine). Des plaquettes recouvertes au préalable de résine n'ont subi aucun dommage.
2. La dégradation a une tendance à se stabiliser au bout de la troisième semaine.
3. Les légères divergences de résultats entre différents ciments employés proviennent essentiellement de la vitesse d'atteinte d'un pH final (14) des laitiers. Une plus grande agressivité est observée pour le ciment PPz 30. En conséquence, le ciment à utiliser dépendra surtout des conditions technologiques choisies: bétonnage sous eau, pompage, pression d'injection.
4. Le béton armé de fibres a la même influence sur la dégradation des échantillons que le béton non armé ou le ciment pur.
5. Les alliages d'aluminium utilisés présentent un très bon comportement au contact avec les ciments et bétons, que ce soit en milieu humide ou à l'air libre.
6. Sans aucun doute possible, en milieu humide, la dégradation de l'aluminium est plus sensible tout en restant peu importante.
7. On constate une très bonne adhérence aluminium-ciment surtout sous eau.
8. Au contact de l'aluminium, les fibres d'acier ont un très bon comportement; cependant, pour apporter une réponse à une question posée, ce sont les fibres qui se corrodent alors que *l'aluminium est passif*. Ceci justifie donc l'emploi du béton armé de fibres, dont le bon comportement a été prouvé tout le long des expériences.
9. A l'air libre, les indices pondéraux confirment la plus haute résistance de *l'alliage 5083*, mais sous eau, c'est l'inverse.

## A. ALLIAGES D'ALUMINIUM

Compte tenu du projet et de l'utilisation de l'aluminium, l'alliage de la famille 5000 (alliage de corroyage sans durcissement structural) a été choisi. Les alliages de cette série présentent un ensemble remarquable de propriétés 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, le choix s'est porté sur les alliages d'aluminium "Al. Mg.4.Mn" (5086) et "Al. Mg.4,5.Mn" (5083) dont la résistance à la corrosion est encore renforcée par la présence de manganèse (le magnésium et le chrome sont les autres éléments ayant une influence positive sur la résistance 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.

## B. FIBRES METALLIQUES

Les fibres ondulées Eurosteel 1/60 (diamètre 1 mm et longueur 60 mm).

## C. CIMENTS (BETONS, AGREGATS)

Trois types de ciment à haute résistance aux sulfates ont été testés (le ciment Portland à la pouzzolane PPz 30 et les ciments de haut fourneau HK 40 et HL 30).

Les essais ont été effectués dans des moules pour cubes de béton de 20 cm de côté dans le fond desquels sont placées les plaques d'aluminium (6 x 9 cm). Deux séries d'éprouvettes ont été réalisées correspondant aux deux types d'aluminium. La détermination de

La cohérence de ces résultats avec les recherches, expérimentations et observations antérieures est très bonne.

Les conclusions formulées ci-dessus ne concernent, rappelons-le, que le cas des alliages d'aluminium servant à la construction de coffrages perdus et de vannes de barrages mobiles. En conséquence, sur la base de toute l'expérience en la matière, *l'utilisation de l'alliage Al 5083* est préconisée.

## 8. Le béton armé de fibres métalliques

La technique d'incorporation de fibres métalliques dans du béton classique est étudiée aux L.H.C.N. depuis 1969.

Un de ses grands avantages est d'éviter les opérations de ferraillage et, comme de surcroît il s'agit ici de mises en œuvre sous eau, on comprend que le béton armé de fibres métalliques soit particulièrement indiqué.

L'adhérence des fibres au béton est réalisée au mieux en assurant à la fibre une forme ondulée ou crochetée aux deux extrémités. De divers programmes réalisés au cours des années précédentes, les auteurs ont été conduits à recommander la fibre Wirex Arbed 1/60 (rapport du diamètre à la longueur) dont la fabrication est bien maîtrisée, la firme Eurosteel s'étant spécialisée dans cette voie.

Employée à raison de 1 % en volume dans un béton dont la composition est la suivante (par m<sup>3</sup>):

Ciment	309 kg
Granulats (10 mm)	800 kg
Sables	935 kg
E/c	0,54

on obtient des résistances en flexion de l'ordre de 9 N/mm<sup>2</sup> en flexion et 50 N/mm<sup>2</sup> en compression sur cylindres.

Ce béton est parfaitement apte à être mis en œuvre sous eau.

## 9. Type de vanne proposé.

Dans les rivières à faible retenue, l'emploi d'une vanne en deux parties peut conduire à une trop faible rigidité flexionnelle de la vanne principale. Pour pallier ce manque de rigidité et pour simplifier la commande du barrage, il est indiqué d'employer un système de barrage mobile en une seule pièce, couvrant en hauteur toute la retenue (Fig. 3). Il permettra l'évacuation des petits débits et des glaces par un écoulement de surface; les débits de crues et les débits solides éventuels étant évacués par un écoulement de fond.

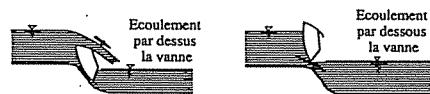


Figure 3:  
Les types d'écoulement (de surface et de fond)  
River flows (overflow and underflow)

Le choix d'une vanne-segment en caisson permet en outre d'envisager la manœuvre d'un seul côté.

D'autre part, l'existence de deux pertuis assure une maniabilité et une stabilité au niveau du maintien, à l'amont des barrages, d'un niveau de flottaison constant. Toutes les positions de vannes, correspondant à divers débits et tirants d'eau amont et aval, ont fait l'objet d'une étude détaillée effectuée sur modèle réduit.

Pour les faibles débits (0 à 50 m<sup>3</sup>/s), l'écoulement se fait par le dessus des vannes qui s'abaissent au fur et à mesure de la croissance du débit pour maintenir une flottaison amont constante. Lorsque le débit croissant, atteint 50 m<sup>3</sup>/s (25 m<sup>3</sup>/s par pertuis), il faut passer d'un écoulement de surface à un écoulement de fond (l'écoulement se fera alors sous les vannes). Inversement, lorsque le débit, diminuant, atteint 40 m<sup>3</sup>/s (20 m<sup>3</sup>/s par pertuis), il faut passer d'un écoulement de fond à un écoulement de surface. La transition entre les deux types d'écoulement est une opération de vannage qui s'effectue comme suit.

L'abaissement des vannes est sciennement arrêté lorsque le débit superficiel atteint 50 m<sup>3</sup>/s bien qu'il soit possible d'aller plus bas. Afin de maintenir un niveau constant et ne pas perturber les conditions

de navigabilité, une vanne continue son mouvement descendant pendant que l'autre amorce son ascension. La réduction du débit provoquée par la remontée d'une vanne est ainsi compensée par un accroissement du débit par-dessus l'autre vanne. Ces opérations sont simulées minutieusement lors des essais sur modèle réduit.

En période de crues, les deux vannes peuvent évacuer ensemble environ  $215 \text{ m}^3/\text{s}$ . En d'autres termes, si la vitesse du courant dans le bief le permet, la navigation peut être maintenue jusqu'à ce débit. Au-dessus de ce débit, les vannes seront complètement levées pour faire place à un écoulement non régularisé; la navigation est alors arrêtée.

Le dimensionnement de la structure a été conduit en faisant usage du logiciel LBR3 (Logiciel des Bordages Raidis - version 3) des L.H.C.N. Les caractéristiques mécaniques de l'aluminium Al-Mg.4,5.Mn ou 5083 sont les suivantes:

Module de Young	$71.10^3$	N/mm <sup>2</sup>
Coefficient de Poisson	0,33	
Poids spécifique	26,6	kN/mm <sup>3</sup>
Limite élastique	125 à 190	N/mm <sup>2</sup>
Limite de rupture	275 à 350	N/mm <sup>2</sup>

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 varier en pratique de 125 à 190 N/mm<sup>2</sup>. Pour le calcul des vannes et autres éléments porteurs, nous nous sommes basés sur une contrainte admissible de 85 N/mm<sup>2</sup>.

## 10. Etude sur modèles réduits

Les méthodes théoriques ne permettent pas une détermination rigoureuse du débit s'écoulant sur ou sous les vannes. Seule la réalisation d'essais sur modèle réduit permet d'obtenir avec certitude la valeur de ces débits.

En fonction de la position des vannes, trois formes d'écoulement peuvent apparaître: écoulement de surface (par-dessus les vannes); écoulement de fond (par-dessous les vannes); écoulement mixte (écoulement de surface pour une vanne et de fond pour l'autre).

A cela s'ajoutent les conditions spécifiques liées aux conditions topographiques au droit de chaque

site: contraction latérale au niveau des piles et culées (pertes de charge); élargissement et rétrécissement de la rivière; courbure de la rivière.

D'autre part, les conditions particulières de la structure composée d'éléments flottants préfabriqués en aluminium exigent une succession d'opérations délicates. Le scénario de mise en place est le suivant: mise à flot; ballastage éventuel; transport (remorquage); mise en place; solidarisation des éléments entre eux; montage des éléments supérieurs; montage des vannes et leurs appuis; échouage et, enfin, bétonnage.

La maîtrise de ce scénario passe par une simulation sur modèle aussi proche que possible de la réalité. L'échelle adoptée fut de 1/15.

Ces points importants ont conduit à opter pour la méthodologie suivante:

- reproduction sur modèle d'un site prenant en considération les principaux aspects morphologiques et topographiques de la rivière aménagée;
- modélisation de la structure sans distorsion d'échelle et respectant la similitude de poids pour les essais en flottaison.

## 11. Conclusion

### A. PROCÉDÉS DE FABRICATION ET DE MISE EN PLACE

La technique de préfabrication et de mise en place proposée est réalisable. Elle permet une économie certaine, une réduction de la durée des travaux et de leur ampleur; une continuité parfaite au niveau de la maîtrise et de la sécurité du contrôle des écoulements et un respect de l'environnement.

### B. ETUDE D'ÉCOULEMENT

En dépit de quelques imprécisions au niveau de la détermination du coefficient de rugosité de la rivière, l'abondance des données permet de conclure à la fiabilité des résultats obtenus. Le régime d'écoulement est bien maîtrisé tant que les barrages ne sont pas noyés.

### C. LE BETON ARME DE FIBRES

L'utilisation du béton de fibres répond parfaitement aux impératifs de rapidité d'exécution, de résistance, de préfabrication et de protection du site. La cohabitation des fibres et de l'aluminium est excellente puisque les altérations de surface de l'aluminium, avec ou sans fibres, sont identiques.

### E. DIMENSIONNEMENT

La connaissance de la technologie de fabrication des profilés d'aluminium permet de faire ressortir des méthodologies propres à la construction métallique en aluminium. Ainsi, les procédés d'extrusion permettent d'intégrer les profilés (cornières, raidisseurs) au sein même du bordage, évitant ainsi des assemblages coûteux. La réalisation d'un ouvrage hydraulique en aluminium est donc envisageable.

### D. CHOIX ET CARACTERISTIQUES DE L'ALUMINIUM

Des expériences sur une plus longue durée et mettant en présence un plus grand nombre d'alliages d'aluminium seraient certes souhaitables. Cependant, les deux alliages choisis pour l'expérimentation et qui sont sur le marché actuel se comportent excellamment. Nous avons démontré que l'action physicochimique de l'eau, du ciment, du mortier et d'autres bétons n'était significative que pendant les premières semaines, voire les premières heures.

### F. ETUDES SUR MODELES REDUITS

Ces études ont permis de lever les incertitudes sur les capacités d'évacuation des vannes (loi hauteur/débit). Les modèles mettent en exergue la sûreté, la manœuvrabilité et la grande souplesse des vannes en une pièce. Leur **automatisation** avec tous les avantages que cela implique, en termes de sécurité, de réduction de main-d'œuvre et de fiabilité, est grandement facilitée. D'autre part, si le niveau de flottaison était, par décision, relevé pour porter la navigation à **plus fort gabarit**, le système des deux vannes est en mesure de l'assurer. Par ailleurs, ce système s'intègre fort bien à l'environnement, les vannes étant immergées, en moyenne, plus de 300 jours par an.

### SUMMARY

#### Aluminum Prefabricated Mobile Dams

Nine old mobile dams located on the upper reaches of the Sambre river (Belgium) have to be renewed during the next decades. They were built 100 years ago in an environmental area that must be protected because of the quality of the sites. No or very few place is available for the renewal project around the present locks. The existing locks will remain as the traffic forecast doesn't show any large variations.

From the French border, the studied part of the Sambre has a length of 34 km and an average width of about 40 m (Fig. 1). The average slope is 70 cm/km and the water head totals 22 m. Therefore, the water head of the nine dams varies between 1.23 m and 2.73 m.

For economic and environmental reasons, a proposal using prefabricated dams is strongly recommended. The authors' solution is presented here.

The prefabricated dams (Photos 1 and 2) are composed of two radial gates of a width of 12 m, two abutments, one central pier, the upstream and downstream floors, and a damping basin. The main dimensions, including the two abutments and the central pile are 20 m long (4 x 5 m), 29.5 m wide and 7.6 m high. In order to convey the material to the sites, the structure is divided in four prefabricated elements. Each element of 5 m width and 29.5 m length is designed as a floating pontoon with two tanks (Fig. 2). In order to reduce the weight, an aluminum alloy (Al 5083) is used. After assembling in the construction shipyard, they are set afloat and towed or pushed (over 50 km) on waterways to the project sites. There, the four pieces are linked together and then ballasted and fully immersed. Finally, the four elements are cast in steel fiber reinforced concrete (30 kg/m<sup>3</sup>). The steel fiber concrete is pumped and injected under water all around and underneath the floor elements, to fix the structure to the banks and the foundation. Floor tanks, piers and abutments are also filled-in in the same manner.

In order to develop this new process of construction and to confirm the feasibility of the design, the following studies were conducted:

- study of the flows upstream, downstream and around the dams (Photo 3);
- river regulation for navigation purposes;
- interaction between concrete, steel fiber and aluminum. More than 200 experiments were realized to check, for instance, the corrosion resistance of aluminum (Al 5083 and 5086) in contact with concrete, water, steel fiber and with all these elements together;
- two scale models were constructed: the first to verify the transportation (Photo 4), assembling and casting operations and the second to prove the high capacity of the system for smooth river flow regulation. The interaction of the motions of the two single radial gates was carefully studied (Fig. 3).

It is concluded that this prefabrication proposal is both reliable and economic. The required work space is reduced and the control of the river is highly flexible and safe. Last but not least, disturbances to the environment and to riverine life are considerably reduced too.

**Reporter General - Rapporteur Général**

**Mr. José Antonio FERNANDEZ ORDONEZ**

Catedrático de Arte y Estética de la Ingeniería  
E.T.S. Ingenieros de Caminos, C. y P., Madrid (Spain)

**Assistant Reporter General - Rapporteur Général Adjoint**

**Mr. José Ramón NAVARRO VERA**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Estudio de Ingeniería J.R. Navarro, Alicante (Spain)

<b>Authors - Rapporteurs</b>	<b>Pages</b>
<b>BELGIUM - BELGIQUE .....</b>	5
Messrs N.M. DEHOUSSE, Professeur, H. HADID, Dr. Ing. Assistant et Ph. RIGO, Dr. Ing. Chercheur Qualifié du FNRS, Université de Liège, LHCN, Liège, et Messrs T. VAN FRACHEN, Directeur, et A. FRANQUINET, Ingénieur, Chantier Naval de Meuse et Sambre, Beez-sur-Meuse.	
<b>CZECH AND SLOVAK REPUBLICS - RÉPUBLIQUES TCHÈQUE ET SLOVAQUE ....</b>	15
Prof. Ing. P. GABRIEL, Dr.Sc., Technical University of Prague, and Ing. J. CÁBELKA, CSc., Transport Research Centre, Prague (Czech Republic), and Ing. J. KALIS, CSc., Water Research Institute, Bratislava (Slovak Republic).	
<b>FRANCE - FRANCE .....</b>	29
<i>1ère Partie :</i>	
MM. M. ADGE, Professeur à Agde, G. COUZY, ICPC, Chef du Service de la Navigation de Toulouse (SNT) et J. DONNAREL, ITPE, Chef du Bureau d'Etudes du SNT, Toulouse. ....	29
<i>2ème Partie :</i>	
MM. J.M. DROUX et D. ROQUES, EDF/GRPH RHIN, Mulhouse, et E. BEN SLAMA, EDF/LNH, Chatou. ....	37
<i>3ème Partie :</i>	
M. J. LECORNU, Directeur de l'Exploitation, Compagnie Nationale du Rhône, Lyon. ....	40
<i>4ème Partie :</i>	
MM. Y. BRYGO et F. DALY, Service Technique Central des Ports Maritimes et des Voies Navigables, Compiègne. ....	45