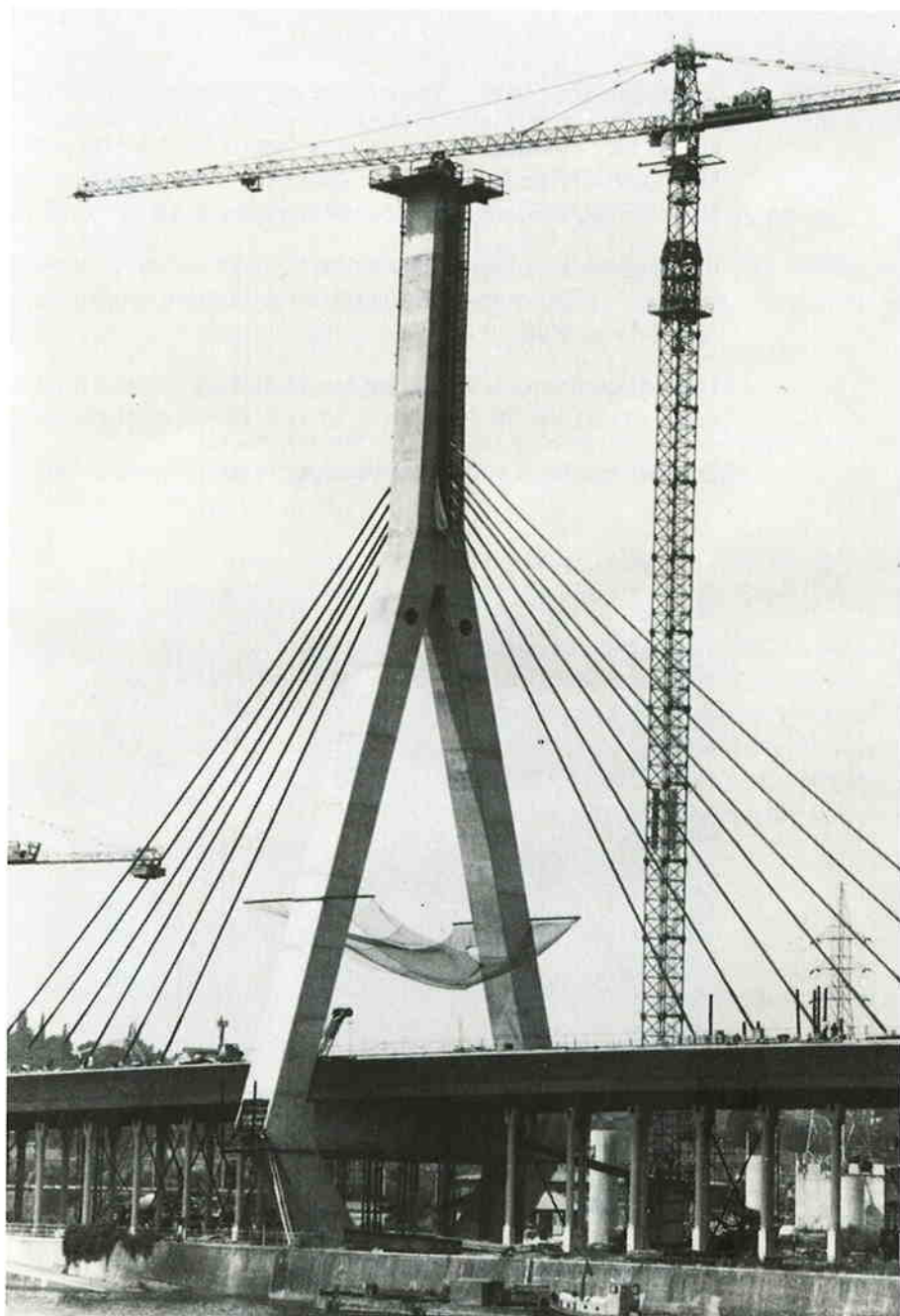

PONT DE BEN - AHIN



1. GENERALITES

1.1. Situation générale

L'ouvrage franchissant la Meuse, à environ deux kilomètres en amont de la ville de Huy, se situe sur l'itinéraire 632 qui est une nouvelle liaison destinée à relier dans des conditions favorables la ville de Huy à l'autoroute de Wallonie. Cette liaison permettra également au trafic de transit venant de la rive droite de la Meuse de gagner la rive gauche et, ensuite, le réseau d'autoroutes belges et ce, sans traverser la ville de Huy dont les voiries sont généralement fort encombrées.

Lors de la construction de la centrale nucléaire de Tihange, 3 km à l'aval de Huy, il a été prévu d'aménager tant à l'amont qu'à l'aval des voies d'évacuation.

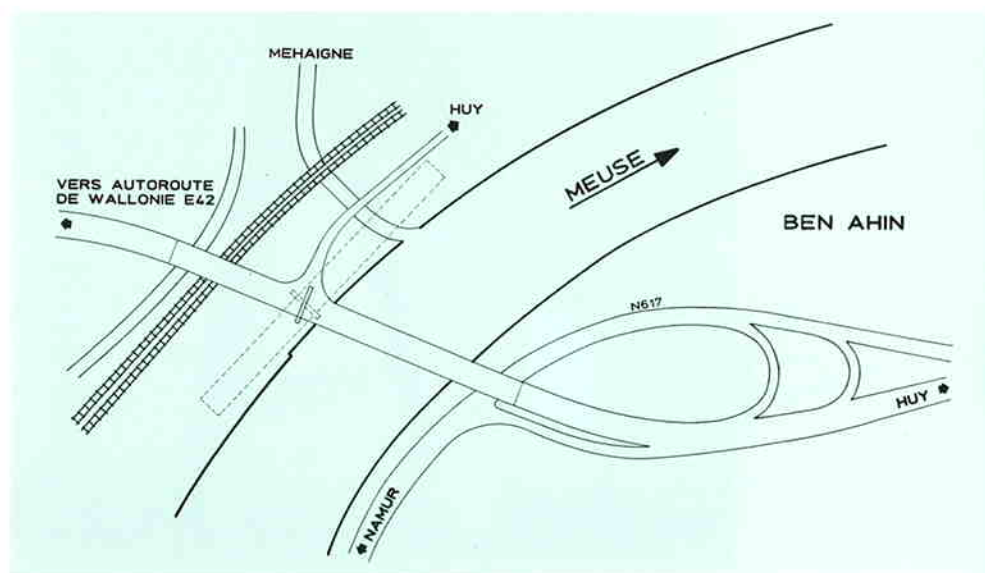
1.2. Obstacles à franchir et raccordement

Le nouvel ouvrage et les voiries feront la jonction entre la route N617 (17) HUY-ANDENNE qui longe la Meuse en rive droite et la nationale N643 (43) HUY-EGHEZEE qui se raccorde à l'autoroute de Wallonie à Couthuin.

Il est prévu de réaliser une rampe d'accès direct à l'ouvrage en rive gauche pour drainer le maximum de trafic qui actuellement emprunte les rues très étroites du Nord de la ville.

Le pont qui traverse la Meuse en oblique surplombe également en rive gauche la ligne SNCB LIEGE - NAMUR et une voirie communale.

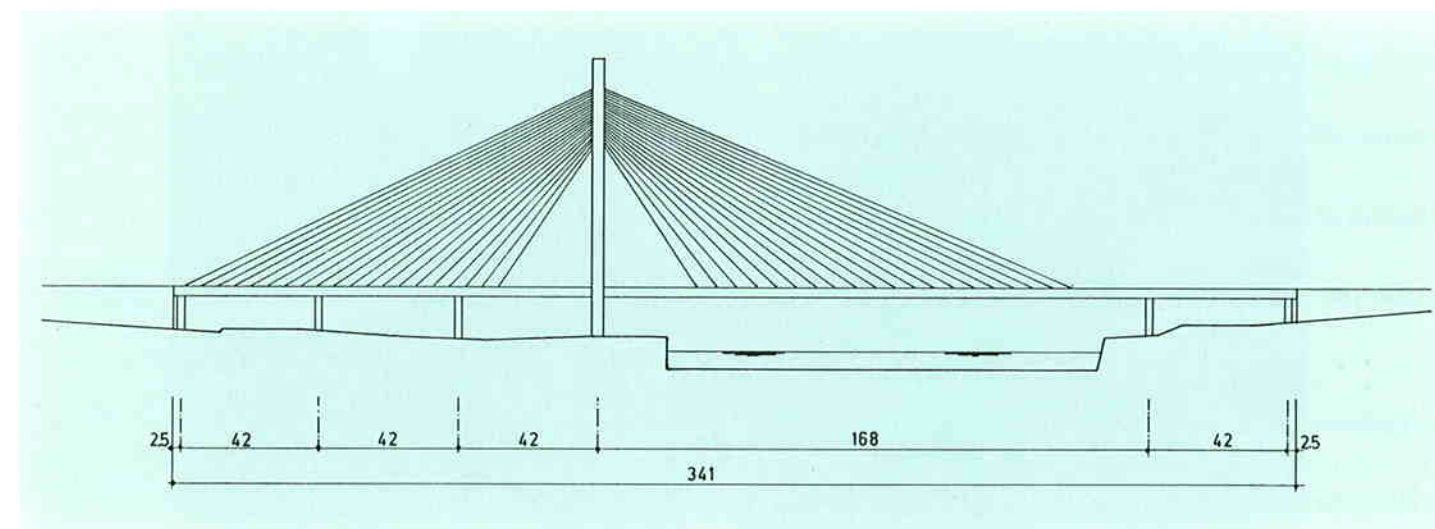
En rive droite, il passe au-dessus de la nationale N617 (17).



1.3. Présentation générale

L'ouvrage a été mis en adjudication en novembre 1984 sur la base d'un pont haubané dissymétrique avec culée contrepoids et travées d'approches en poutres précontraintes.

L'Association Momentanée DUCHENE-RICHARD désignée adjudicataire a proposé un autre pont haubané suivant le projet du Bureau d'Etudes GREISCH. Le système constructif permettant de gagner 1 an de délai, l'Etat a passé commande de ce nouvel ouvrage en transformant le contrat en forfait global.



Le nouvel ouvrage a les caractéristiques suivantes :

C'est un pont haubané à un seul pylône : une nappe centrale de 40 haubans (20 de chaque côté du pylône) supporte un tablier en béton partiellement précontraint.

La longueur totale de l'ouvrage est de 341 m.

La portée est de 168 m au-dessus de la Meuse pour la traversée suspendue, prolongée en rive droite par une travée de 42 m au-dessus de la nationale N617 (17).

En rive gauche le fléau d'équilibrage de 126 m est divisé en trois travées de 42 m.

La caractéristique principale de l'ouvrage est son MODE DE CONSTRUCTION. La travée suspendue au-dessus de la Meuse et le fléau d'équilibrage, c'est-à-dire 294 m de tablier, sont construits sur la rive parallèlement au fleuve. Après montage et réglage des haubans, l'ensemble pylône - haubans - tablier subira une ROTATION de 70° autour de l'axe du pylône pour amener l'ouvrage en position définitive et réaliser la continuité avec la travée de rive droite coulée en place.

2. INFRASTRUCTURE

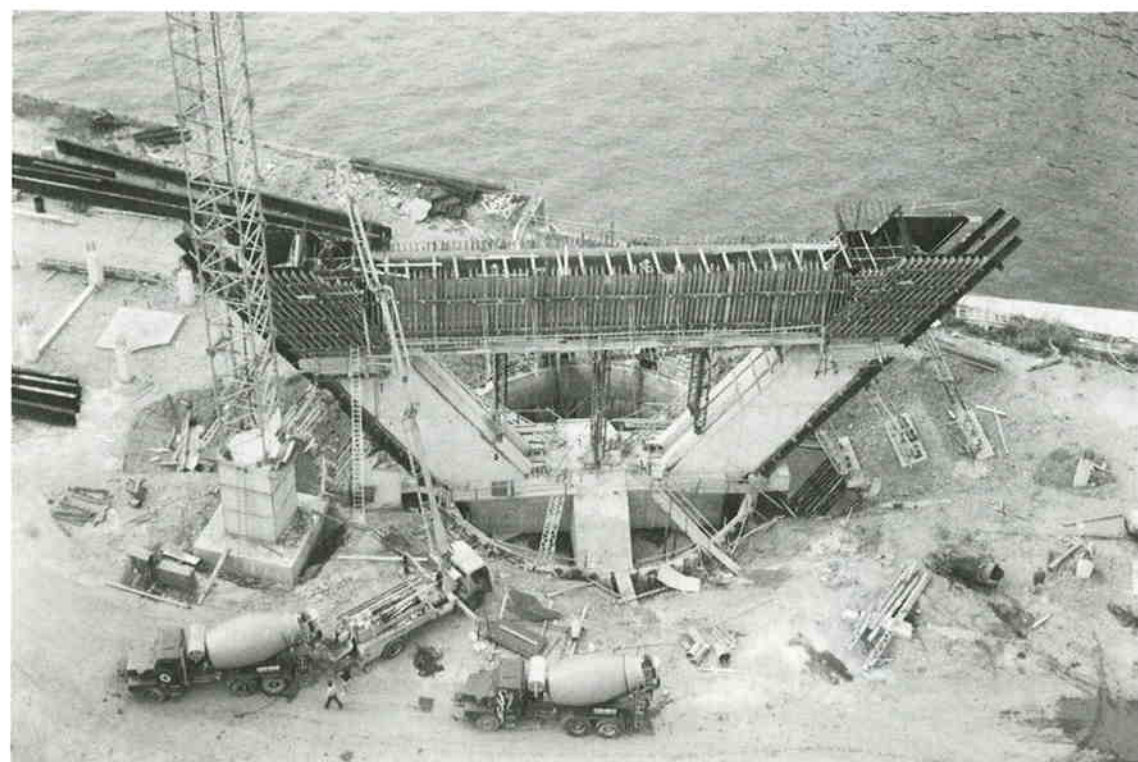
– Culée C1 : deux colonnes d'un diamètre de 2,50 m entredistantes de 7 m.

Derrière ces deux colonnes de culée, un remblai en terre armée.

– Piles P1 et P2 : ces deux piles sont constituées d'une seule colonne d'un diamètre de 2,50 m.

– Pile P3 : deux colonnes d'un diamètre de 2,50 m entredistantes de 7 m.

– Culée C2 : deux colonnes d'un diamètre 2,50 m sur une semelle unique qui reprend également un mur garde-grève et des murs en retour classiques pour le soutènement des terres.



3. SUPERSTRUCTURE

3.1. Pylône

Le pylône a une hauteur totale de 93,50 m par rapport au niveau de fondation. Il dépasse de 83,50 m le niveau du terrain naturel.

Il a une forme d'Y renversé mais les jambes sont retroussées sous le tablier et encastrées dans une semelle unique.

Au niveau de la cassure, une traverse horizontale reprend les efforts de poussée au vide. Elle sert également de point d'appui pour le tablier.

Les caractéristiques du pylône sont :

- presque entièrement en béton armé, les jambes et la tête sont creuses pour permettre l'accès jusqu'au sommet.
- en tête une cage en charpente métallique permet l'accrochage individuel de chaque hauban.

L'inspection des culots d'ancrage des haubans est aisée et la possibilité du remplacement d'un hauban est prévue.

– l'éclairage de la chaussée se fera grâce à des projecteurs logés dans la tête du pylône ;

– la traverse horizontale destinée à servir de point d'appui au tablier mais surtout à équilibrer les poussées au vide créées par la cassure des jambes du pylône reçoit une précontrainte très importante : 42 câbles 19T15 soit environ 12.000 t.

3.2. Semelle du pylône

La fondation du pylône est l'élément essentiel de la rotation. C'est sa forme et sa conception particulière qui permettent cette méthode d'exécution. Elle a bien sûr un premier rôle, qui est de transmettre au rocher la plus grande partie de la charge de l'ouvrage en service, à savoir 19.500 t.

La semelle de fondation d'un diamètre de 18,0 m et de 250 m² de surface portante exerce sur le rocher une pression maximale centrée de 7,8 kg/cm², une pression avec décentrement de 10 kg/cm².

Pour permettre la rotation, la semelle a été décomposée en une partie fixe et une partie mobile.

La "semelle fixe" de diamètre 18,0 m, fondée sur le rocher au niveau 62,50 m a une épaisseur moyenne de 4,5 m.

Elle est surmontée d'une couronne qui servira de chemin de glissement et dont la largeur est de 1,50 m et le diamètre moyen de 11,20 m.

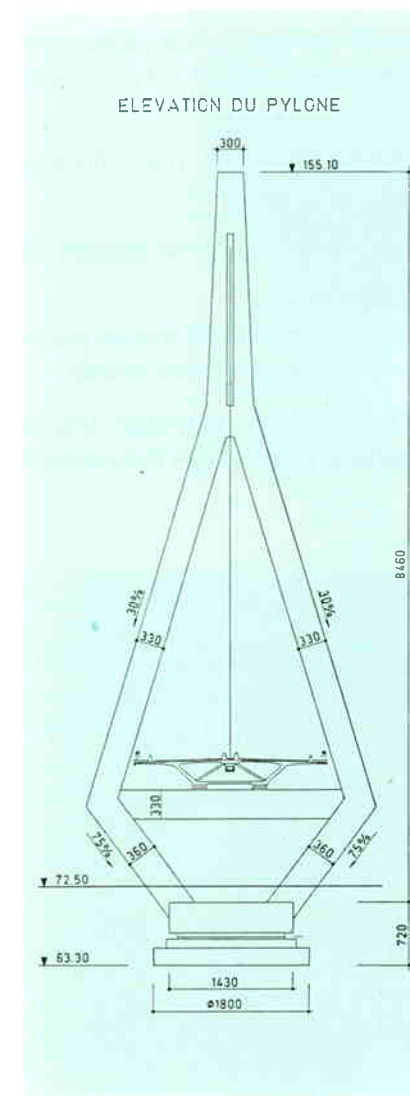
Un pivot central composé d'un tube métallique d'un diamètre de 700 mm rempli de béton est encastré dans la semelle fixe.

La "semelle mobile" qui en plan présente une forme en croix, fait partie intégrante de la structure en portique du pylône. Sur la branche principale de cette croix viennent s'encastrer les deux jambes du pylône en service.

3.3. Tablier

Le tablier a une longueur totale de 341,0 m et la forme extérieure de la section transversale est unique sur toute la longueur.

C'est un caisson en béton de 21,80 m de largeur et de 2,90 m de hauteur, avec deux âmes inclinées, des encorbellements de 4,50 m et un fond de caisson de 8,70 m de large.



A l'intérieur, des bracons en béton ou des tirants métalliques liaisonnent le centre de la dalle de platelage au bas des 2 âmes.

La forme intérieure de la coupe transversale permet de définir deux sections différentes :

- la section légère (11 m^2) qui existe sur la plus grande partie de l'ouvrage, environ 250 m.

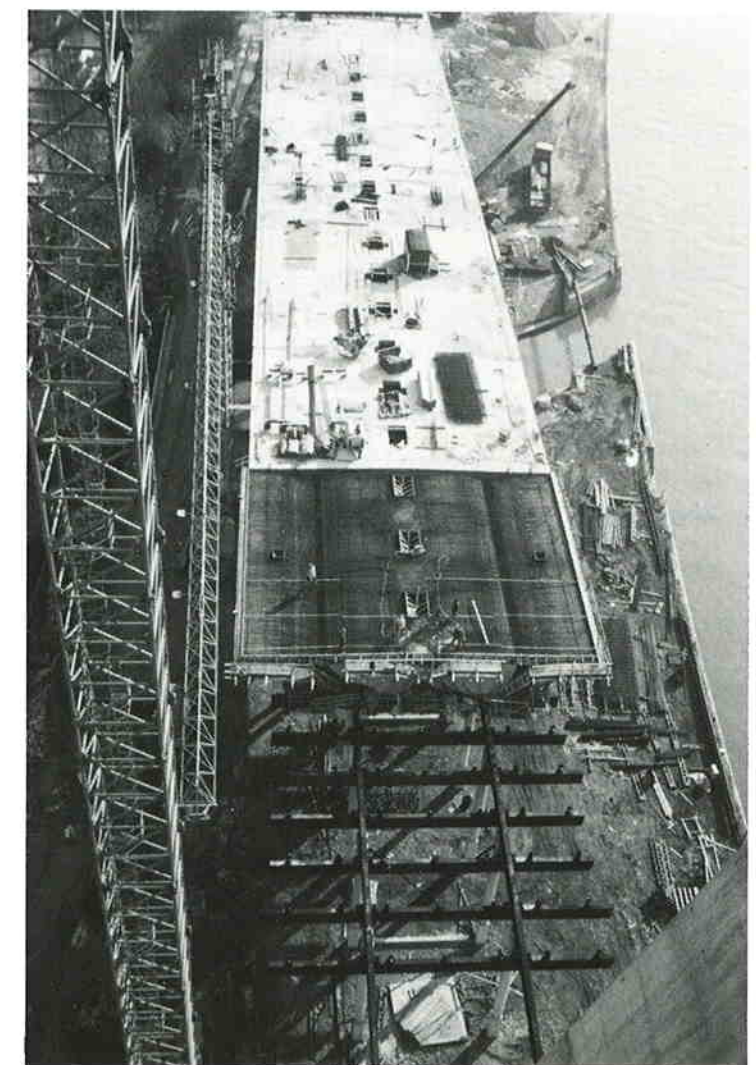
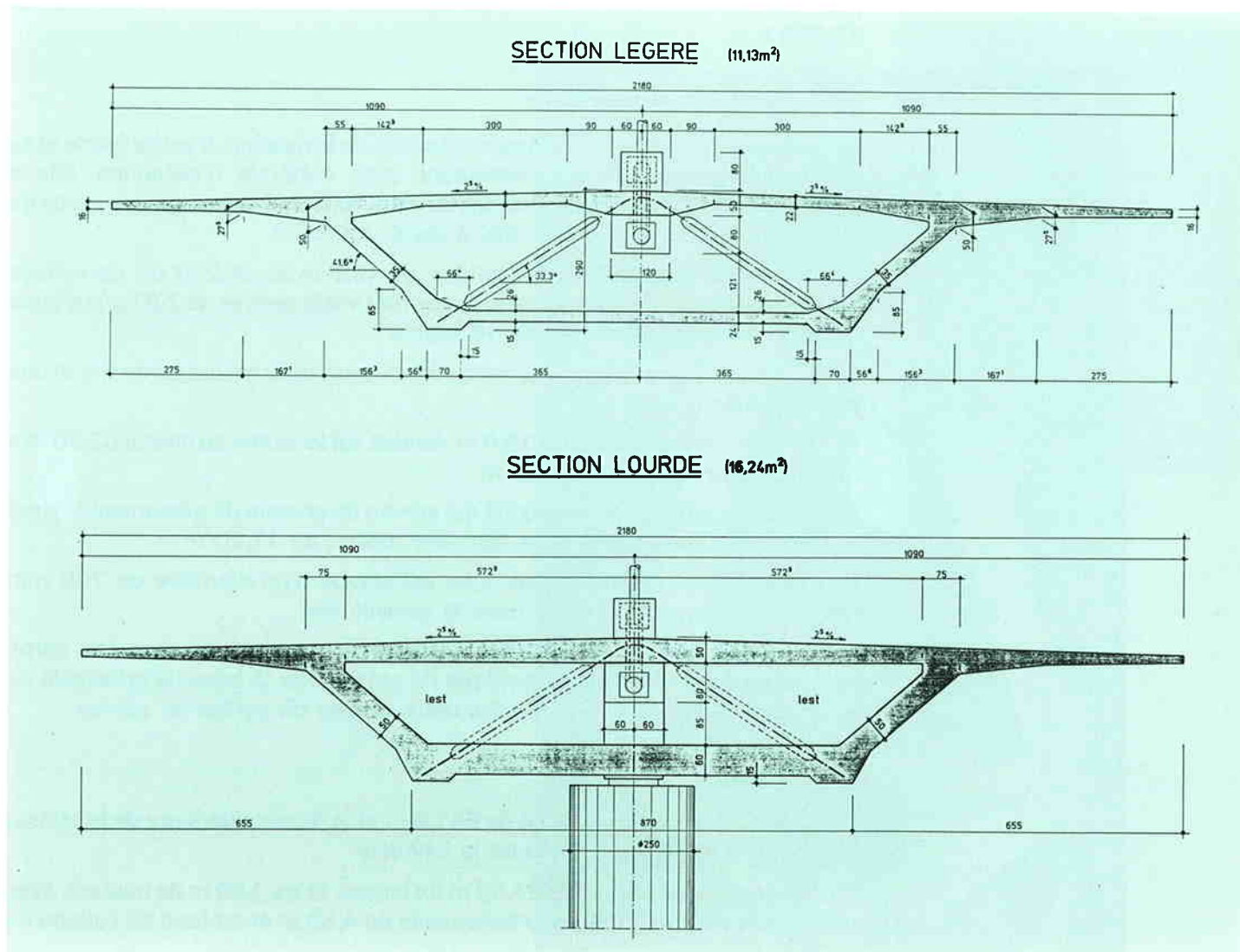
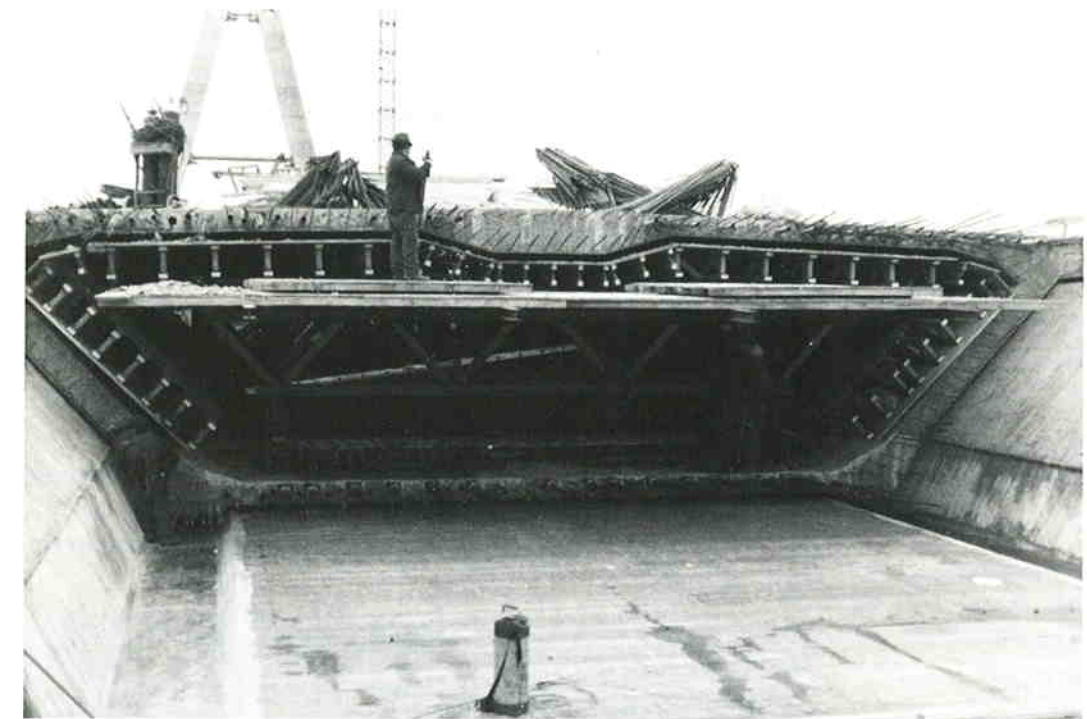
Dalle de platelage d'épaisseur variable, âmes de 35 cm et fond de caisson de 24 cm. Le fond de caisson s'épaissit jusqu'à 60 cm localement sur les appuis de pylône et sur P3.

- la section lourde (16 m^2) qui existe sur environ 100 m du fléau d'équilibrage en rive gauche.

Dalle de platelage épaissie jusqu'à 50 cm, âmes de 50 cm et fond de caisson de 60 cm.

Au droit des 3 premiers appuis C1, P1 et P2, un lest important est mis en place et occupe la presque totalité du vide intérieur de la section transversale.

Cet alourdissement du tablier est bien sûr destiné à équilibrer la grande travée suspendue de telle sorte qu'il n'y ait aucun soulèvement au droit des trois appuis précités.



3.4. Haubans

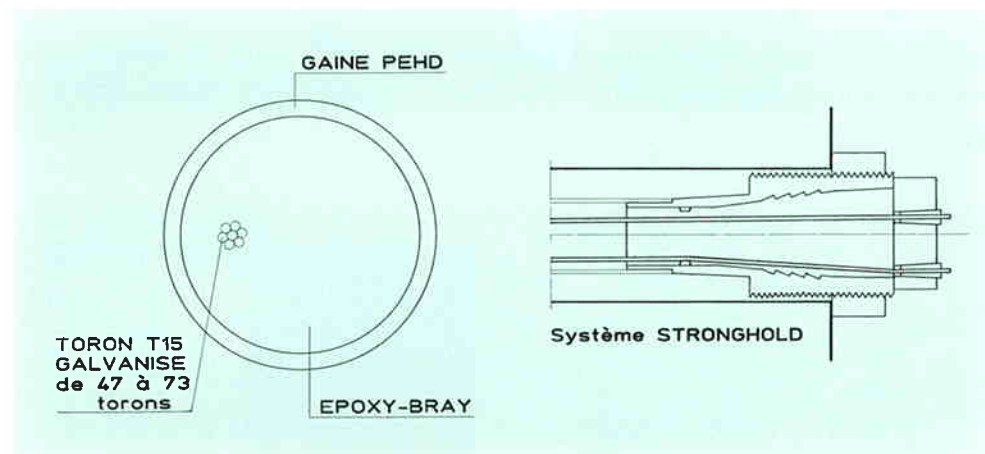
Les haubans au nombre de 40, constituent une nappe centrale de type semi-harpe. Chacun des haubans est ancré à ses deux extrémités, le culot fixe se trouvant dans la tête de pylône, le culot réglable dans le tablier.

Les 20 haubans de chacune des deux demi-nappes sont ancrés d'un même côté de la tête de pylône par l'intermédiaire du culot d'extrémité.

Les axes de 2 haubans vis-à-vis se croisent à l'axe du pylône.

L'ancrage dans le tablier se fait par l'intermédiaire des culots réglables qui s'appuient sur les bossages dont l'entredistance est de 6,0 m pour la travée en Meuse et de 5,0 m pour la travée d'équilibre. Ces bossages sont des renforts en béton armé où sont noyés une grosse plaque d'appui et un tube coffrant.

Les haubans de marque Stronghold sont du type "à torons parallèles". Ce sont des torons classiques 6", section 140 mm^2 dont la limite de rupture garantie est de 170 kg/mm^2 . Le taux de travail maximum admissible en service est de $72,7 \text{ kg/mm}^2$.



L'ancrage des torons dans les culots d'extrémité se fait par l'intermédiaire de 2 systèmes de fixation : des clavettes spéciales haubans qui peuvent reprendre jusqu'à 2/3 de la charge de service (essentiellement le poids mort) et une résine chargée de billes d'acier qui reprend les sollicitations dues aux surcharges et leurs variations.

En section courante, les torons galvanisés (180 gr/m^2) sont protégés par une gaine en PEHD injectée d'une matière souple et inerte.

Les haubans sont répartis en 3 sections différentes. Les plus gros comportent 73 torons, d'où une section de $102,2 \text{ cm}^2$, un effort maximum en service de 743 t.

En cours de rotation, les 8 haubans extérieurs (1 à 4 et 37 à 40) sont surtendus jusqu'à des efforts dépassant 1000 t.

3.5 Précontrainte

La précontrainte du tablier se situe principalement coté rive droite, évidemment dans la partie non suspendue de l'ouvrage mais également dans le fond de caisson de la grande travée.

Une petite précontrainte d'effort tranchant est prévue également à l'appui sur la traverse du pylône.

La précontrainte de continuité qui suit le diagramme des sollicitations est une précontrainte extérieure protégée par une gaine PEHD injectée à la cire.

4. EXECUTION

4.1. Pylône

La fondation sur le rocher se trouvant 10 m sous le niveau du terrain naturel et 9 m sous les plus hautes eaux, le terrassement s'est fait à l'abri d'un batardeau circulaire de 18 m de diamètre.

La semelle fixe a été bétonnée en fond de fouille, après avoir rempli de béton maigre les cavités karstiques dans le rocher calcaire.

Après avoir préfabriqué les pièces spéciales (patins de glissement et axe de rotation), la semelle mobile, les jambes inférieures et la traverse de pylône ont été bétonnées sur coffrages classiques.

Les jambes supérieures, inclinées à 30% sont bétonnées au moyen de coffrages grimpants appuyés sur une charpente métallique ce qui permet des levées de 5,75 m et donc en avancement rapide du bétonnage.

La tête est également réalisée par un coffrage grim pant en y incorporant la caisse attache-câbles en charpente métallique. Ce dernier élément qui pèse environ 45 t est coupé de 4 pièces de façon à permettre la mise en place au moyen de la grue-tour.

4.2. Tablier

Une petite partie du tablier, la travée P3 C2 en rive droite de 42 M de long, est coulée sur cintres à son emplacement définitif.

La plus grande partie, c'est-à-dire 296 m de tablier allant de C1 à P3, est construite parallèlement à la Meuse avant d'être mise en place par rotation.

Le caisson est coulé à son niveau définitif, sur un cintre complet, de 7 à 11 mètres au-dessus du terrain naturel.

Ce cintre est constitué de la façon suivante :

- Tous les 6 m une paire de colonnes en béton armé chacune appuyée sur un pieu préfabriqué.
- Au-dessus de ces colonnes, 2 poutres métalliques HE 1000 B.
- Des contreventements transversaux et longitudinaux.

Le bétonnage se fait par tronçons de 18 m :

- 2 éléments de coffrage extérieur des voiles et encorbellement
- 1 élément de coffrage de fond de caisson
- 1 élément coffrage tunnel.

4.3. Haubans

Les haubans sont fabriqués sur place.

Les opérations sont les suivantes :

- placement des culots d'ancrages en tête du pylône et dans le tablier;
- mise en place de la gaine polyéthylène au moyen du premier toron ;
- enfilage des torons l'un après l'autre dans la gaine et les culots d'ancrage comme pour la précontrainte.

Les bobines de torons et la machine d'enfilage se trouvent sur une plateforme au sommet du pylône ;

- mise en tension de chaque toron au moyen d'un mono-vérin ;
- clavetage ;
- injection des culots d'ancrages.

Le réglage des haubans est basé essentiellement sur un contrôle de géométrie avec mesure de l'effort correspondant.

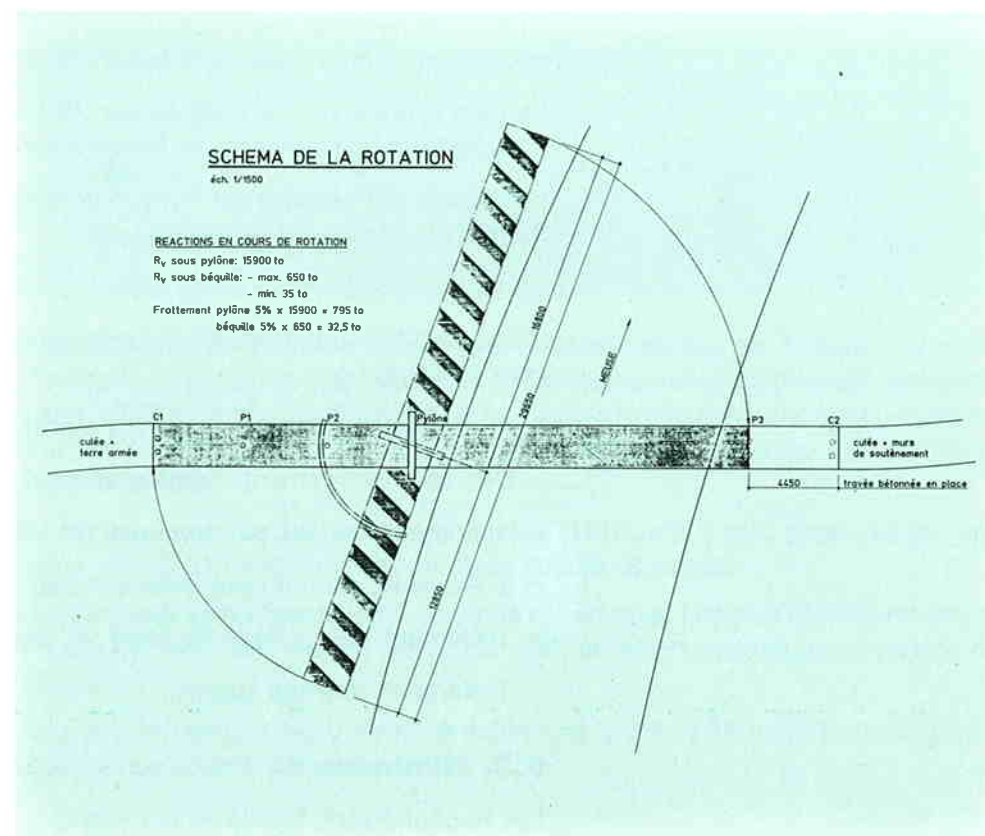
Ce réglage précis est réalisé au moyen de gros vérins (capacité maximale 1000 t).

Les haubans 5 à 36 sont directement placés avec leur réglage définitif, les haubans 1 à 4 et 37 à 40 sont surtendus pour l'opération de rotation et ensuite réglés de façon définitive.

5. ROTATION

Actuellement l'ouvrage d'art le plus lourd mis en place par rotation a un poids inférieur à 4.000 t.

A Ben-Ahin, cette charge est de 16.000 t.



5.1. Description du système

Comme déjà dit plus haut, la travée suspendue au-dessus de la Meuse et le fléau d'équilibrage, en tout 296 m de tablier, seront suspendus au pylône par les haubans.

Seule une béquille placée à 45 m du pylône et suivant la rotation permet de s'assurer contre des déséquilibres accidentels.

5.2. Chemin de glissement et système moteur

Entre la couronne de chemin de glissement faisant partie de la semelle fixe de fondation et la semelle mobile du pylône, on interpose le dispositif de glissement.

Il est composé d'une tôle d'inox fixée à la semelle mobile glissant sur des patins en néoprène fretté recouvert de téflon et déposé sur la couronne de rotation.

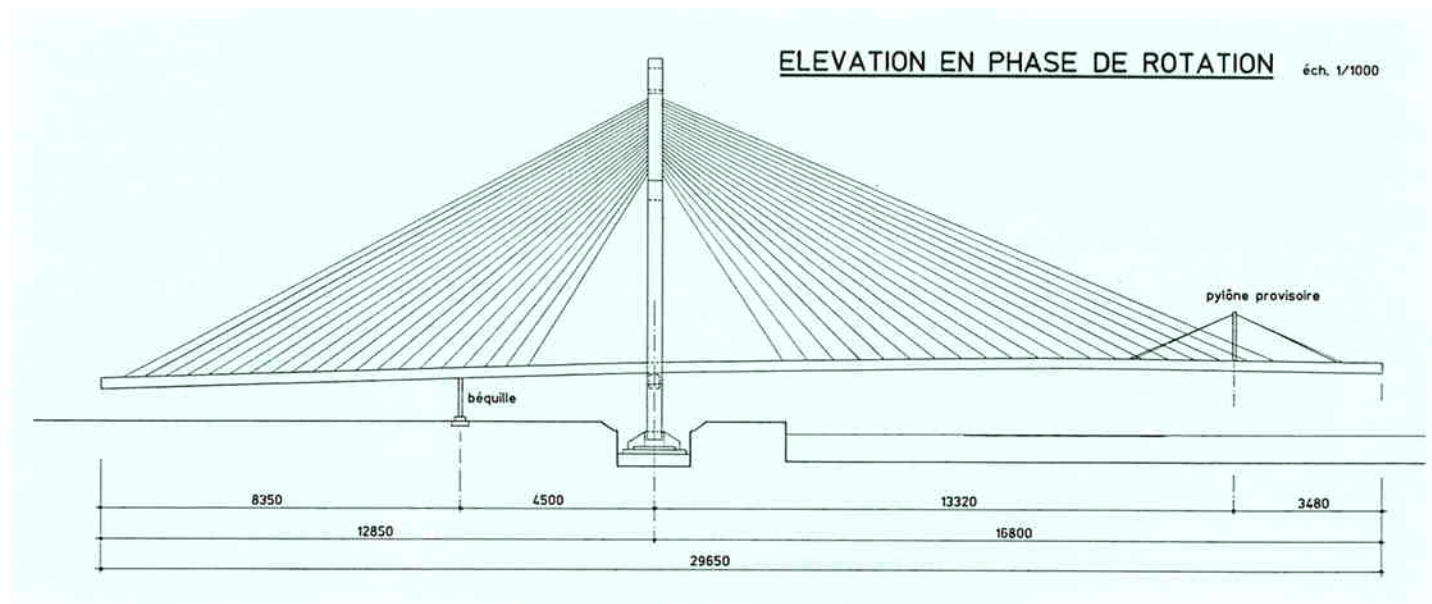
L'effort moteur est fourni par deux groupes de vérins diamétralement opposés, placés à l'extérieur de la couronne de glissement sous les extrémités de la semelle mobile.

Chaque groupe est composé de vérins verticaux qui se coincent entre la semelle fixe et la semelle mobile et de vérins horizontaux prenant appuis sur une excroissance de la semelle mobile et les vérins verticaux.

5.3. Vibrations

Etant donné la grande souplesse de la structure en cours de rotation, les fréquences propres sont très faibles.

L'étude de la stabilité aérodynamique montre que même avec ces fréquences très faibles, les risques d'instabilité sont inexistants. Cependant les mouvements de rotation avec départ et arrêt peuvent être dangereux. C'est pourquoi un système moteur par vérins pousseurs et non câbles tendus a été choisi de façon à éviter des mouvements brusques. La mise en pression et en dépression des vérins pousseurs est réglée de manière à obtenir des accélérations et décélérations très faibles.



6. ETUDES

Pour le dimensionnement longitudinal de l'ouvrage, le réglage des haubans est l'élément essentiel qui permet d'atteindre ses objectifs.

Nous avons cherché à définir un réglage tel que :

- le diagramme des moments de flexion donne des valeurs de sollicitations faibles sous charges permanentes tout en tenant compte des sollicitations maximales sous surcharges, tant pour le tablier que pour le pylône ;

– les haubans, dont on a limité à 3 Le nombre de sections différentes, travaillent tous au taux maximum;

– le réglage de rotation soit au maximum identique au réglage de service de manière à limiter les corrections après rotation.

Le dimensionnement a d'abord été réalisé suivant la méthode des tensions admissibles. Sous surcharges maximales, une traction maximale de 22 kg/cm^2 a été admise dans les zones précontraintes, ces zones étant comprimées à plus de 15 kg/cm^2 sous charges permanentes.

Il a été décidé de faire une vérification complète de la structure aux états limites ultimes.

Etant donné la grandeur des efforts ponctuels appliqués à la structure, une attention toute particulière a été apportée au calcul de la diffusion des efforts des haubans et de la précontrainte dans le tablier.

Des études spéciales par éléments finis ont été effectuées à l'Université de Liège :

– un calcul dynamique a permis de déterminer les fréquences propres de la structure tant en service qu'en rotation, ce qui a permis d'étudier la réponse dynamique sous les effets de vent ;

– un tronçon de tablier avec 3 haubans et les tirants intérieurs a permis de montrer le cheminement des efforts venant de l'action ponctuelle des haubans et la régularisation des tensions dans la section entière ;

– l'étude de l'effet local des bossages extérieurs de précontrainte a permis de choisir la forme la plus avantageuse et les armatures optimales pour ces bossages.

7. INTERVENANTS

Maître de l'ouvrage : Ministère des Travaux publics - Direction des Routes de Liège

Entrepreneurs : Association Momentanée des entreprises DUCHENE à Strée - RICHARD à Loncin.

Etudes de conception et d'exécution : Bureau d'Etudes R. GREISCH

Contrôle : Ministère des Travaux publics

Bureau des Ponts 1ère et 2ème Divisions

Bureau SECO