

PONT DE BEN-AHIN

LIEGE BELGIQUE



BRUG VAN BEN-AHIN

1. ALGEMEEN

Algemene ligging

Dit bouwwerk over de Maas, op zowat twee kilometer boven de stad Hoei, ligt op het nieuwe traject 632 dat een vlotte verbinding tussen Hoei en de autosnelweg van Wallonië tot stand moet brengen. Deze verbindingsweg zal tevens een grote versoepeling betekenen voor het doorgaand verkeer van de rechter- naar de linker-Maasoever, en zo verder aansluiting geven op het Belgische autowegennet, waardoor Hoei met zijn meestal overvolle straten van een aanzienlijke verkeersstroom ontlast wordt.

Het nieuwe bouwwerk en zijn toegangswegen zullen een belangrijk knooppunt vormen tussen de N617 (17) HOEI-ANDENNE, op de rechteroever van de Maas, en rijksweg N643 (43) HOEI-EGHEZÉE die in Couthuin aansluit op de autosnelweg van Wallonië.

Er bestaan plannen voor een directe oprit tot de brug, op de linkeroever, voor een maximale ontlasting van het verkeer dat op dit ogenblik de zeer nauwe straatjes in de noordelijke stadsgedeelten verstikt.

De brug die schuin over de Maas zal gaan, overspant op de linkeroever ook de NMBS-lijn LUIK-NAMEN en een gemeenteweg.

Op de rechteroever gaat de brug over rijksweg N617 (17).

Algemene beschrijving

Het bouwwerk werd in november 1984 aanbesteed als een asymmetrische hangbrug met spankabels. De Tijdelijke Vereniging DUCHENE-RICHARD, die de opdracht toegewezen kreeg, heeft een originele uitvoeringswijze voorgesteld, volgens een project van Studiebureau GREISCH: het ROTATIE-procédé.

Het nieuwe bouwwerk heeft volgende kenmerken:

Het is een brug met spankabels en één enkele mast: een centraal vlak van 40 spankabels (20 aan elke zijde van de mast) draagt een brugdek in gedeeltelijk voorgespannen beton. De totale lengte van het bouwwerk bedraagt 341 m.

De overspanning boven de Maas is 168 m lang, het bruggedeelte boven de rechteroever is een juk van 42 m lengte, over rijksweg N617 (17). Op de linkeroever bestaat het tegenjuk van 126 m uit drie vakken van 42 m.

In langsdoorsnede is de brug een parabolische boog met het hoogste punt precies in het midden boven de Maas, gevormd door twee rechte gedeelten met een hellingshoek van 3%.

De totale breedte van 22,10 m wordt bepaald door de noodzaak aan 4 rijstroken van 3,75 m, een middenberm van 3 m en randvoorzieningen (straatgoten, veiligheidsboorden, trottoirs, relingen).

Wat dit project zo uniek maakt is zijn BOUWWIJZE. Het juk boven de Maas en het tegenjuk, in totaal 294 m brugdek, worden op de oever klaar gemaakt, evenwijdig met de stroom. Na het monteren en spannen van de kabels zal het geheel van mast/spankabels/brugdek een ROTATIE van 70 graden om de as van de mast ondergaan om het bouwwerk op zijn definitieve plaats te brengen en de brug aan te sluiten op het reeds ter plaatse gestorte betonvak op de rechteroever.

Dit bouwprocédé, o.a. in Frankrijk reeds toegepast in projecten van kleinere omvang, belooft te Ben-Ahin EEN PRACHTSTAALTJE VAN ARCHITECTONISCH KUNNEN te worden, vermits hier LASTEN VAN MEER DAN 16.000 TON verplaatst zullen worden!

BEN-AHIN BRIDGE

1. GENERAL

Site description

This bridge structure over the river Meuse, about two kilometres above the city of Huy, is located on route 632 and directly connects the city of Huy to the Wallonia motorway. This new road link will also allow through traffic from the right bank of the river Meuse to cross over to the left bank and have direct access to the Belgian motorway network, thus avoiding the extremely busy streets of the city of Huy.

This new bridge structure and corresponding road system will connect the N617 (17) HUY-ANDENNE main road along the right bank of the river Meuse to the N643 (43) HUY-EGHEZÉE main road which meets the Wallonia motorway at the Couthuin interchange.

The project also includes a direct ramp leading to the bridge on the left river bank in order to channel maximum traffic using at present the extremely narrow streets north of the city.

The bridge, constructed biasly over the river Meuse, also projects over the LIÈGE-NAMUR SNCB railway line and a secondary road, on the left bank. On the right bank, the bridge spans over the N617 (17) main road.

General presentation

Bridge construction project was put out to tender in November 1984 on the basis of an asymmetrical suspension bridge. The temporary association DUCHENE-RICHARD which was awarded the contract proposed a unique means of executing the project based on the expertise of engineering bureau GREISCH: the BRIDGE SWING METHOD.

Main characteristics of this new bridge structure are:

Cable-stayed bridge with one single pier: a 40 cable centre nappe (20 each side) carries a partially prestressed concrete roadway. Total length of bridge structure is 341 metre.

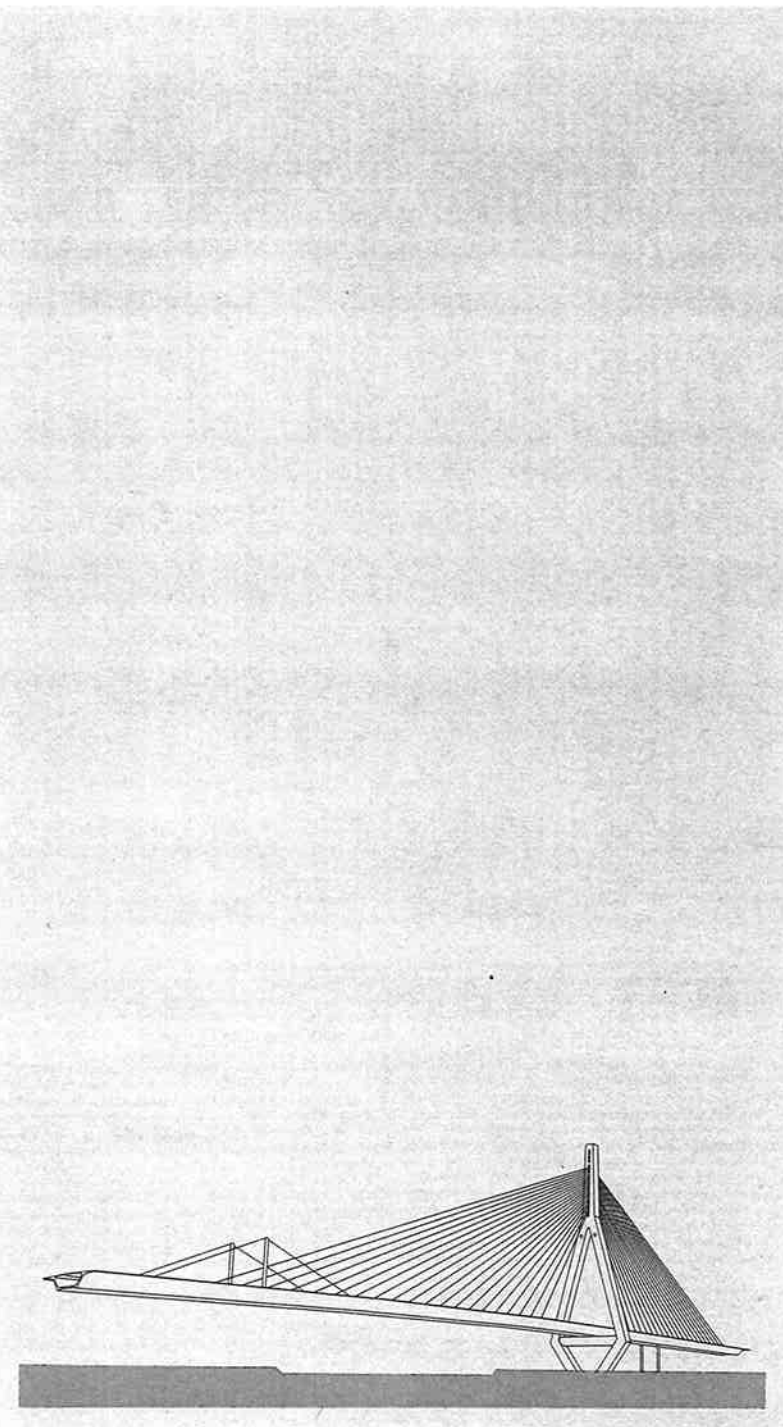
Bridge span over the river Meuse is 168 metre and bridge section extending over the right bank and N617 (17) main road is 42 metre. On the left river bank, the 126 metre bridge counterstructure is divided into three 42 metre sections.

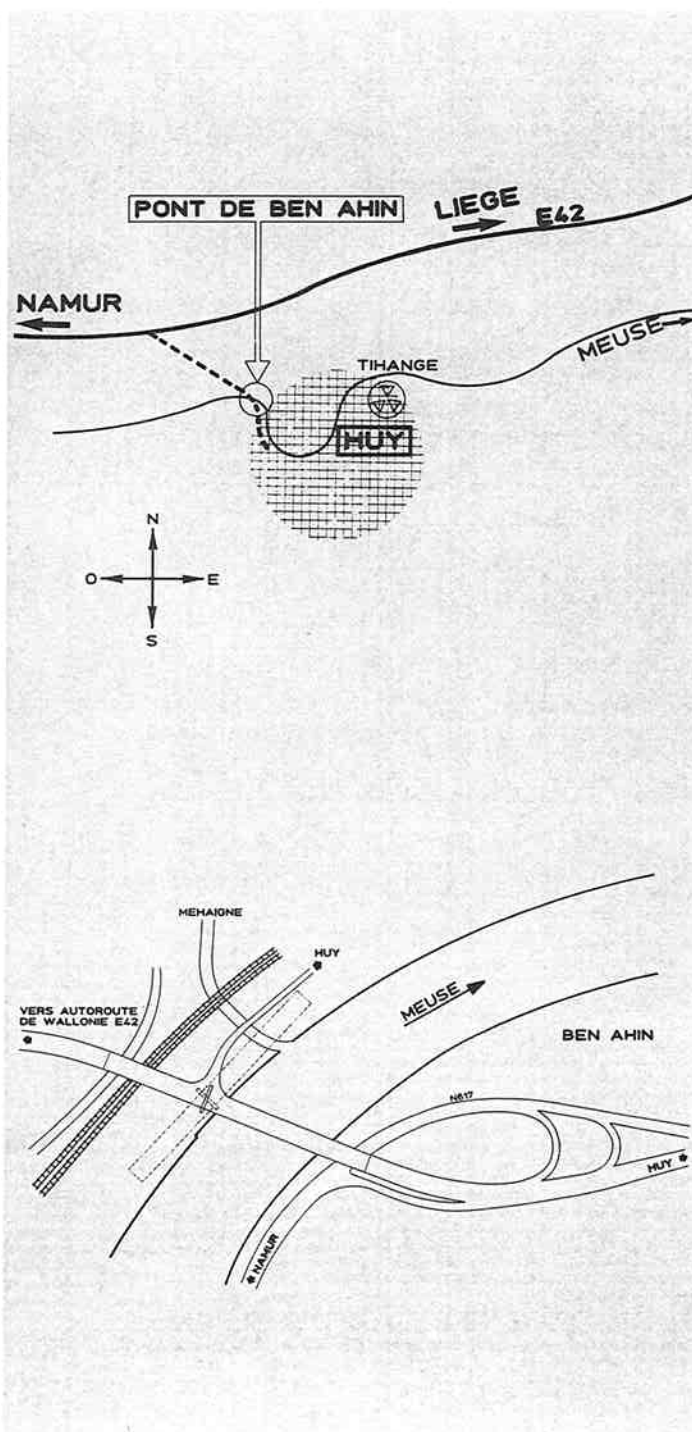
Bridge longitudinal section is a parabolic arc having its summit right in the middle of the river Meuse and with two straight sections featuring a 3% gradient.

Overall bridge width is 22,10 metre and results from the necessity to provide for four 3,75 metre traffic lanes, a 3 metre central reservation and side facilities (gutters, safety curbs, pavements, railings).

What renders this bridge project so unique is its CONSTRUCTION METHOD. The suspended bridge section over the river Meuse and its countersection, i.e. roadway equals 294 metre, are built on the left bank, parallel to the river. After cable-stay mounting and adjustment, the complete bridge structure will be swung 70° round the pier axis in order to bring it into final position and achieve connection with the bridge section on the right river bank.

This CONSTRUCTION METHOD, successfully implemented in France for instance in minor projects, represents in BEN-AHIN A UNIQUE EXAMPLE OF MODERN ARCHITECTONIC KNOW-HOW, SINCE LOADS DISPLACED EXCEED 16.000 TONS.





PONT DE BEN-AHIN

1. GÉNÉRALITÉS

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-EGHEZÉE 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 LIÈGE-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. L'Association Momentanée DUCHENE-RICHARD désignée adjudicataire a proposé un moyen d'exécution original suivant le projet du Bureau d'Études GREISCH : la ROTATION.

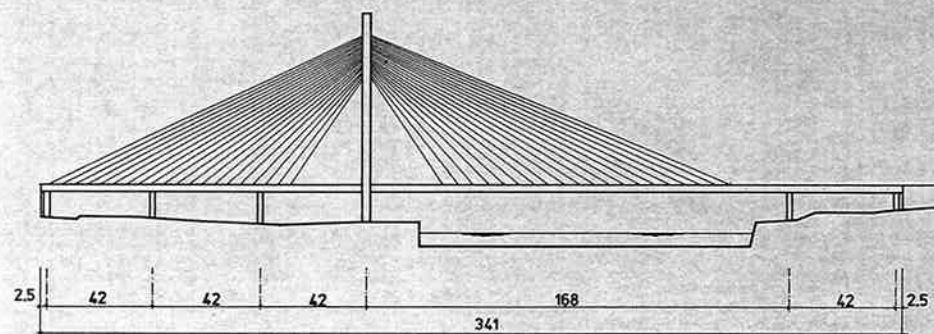
Le nouvel ouvrage a les caractéristiques suivantes :

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.

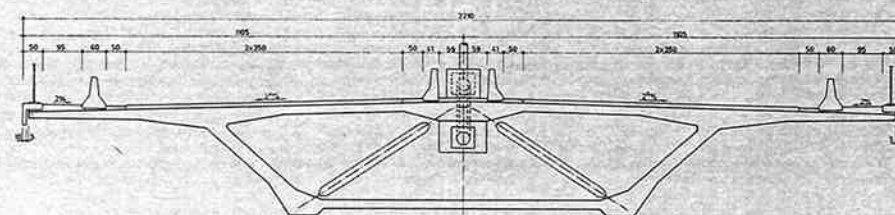
La portée est de 168 m au-dessus de la Meuse pour la travée suspendue, prolongée en rive droite par une travée de 42 m au-dessus de la nationale N617 (17). En rive gauche, le fléau d'équilibrage de 126 m est divisé en trois travées de 42 m.

Le profil en long est constitué d'un arc parabolique dont le sommet se situe au milieu de la Meuse et auquel se raccordent 2 tronçons de droite de pente = 3 %.

La dimension transversale de 22,10 m hors tout est dictée par la nécessité de recevoir 4 bandes de circulation de 3,75 m, une berme centrale de 3 m et les équipements latéraux (filets d'eau, bordures de sécurité, trottoirs, garde-corps).



COUPE ÉQUIPEMENTS



ÉLÉVATION DU PYLÔNE

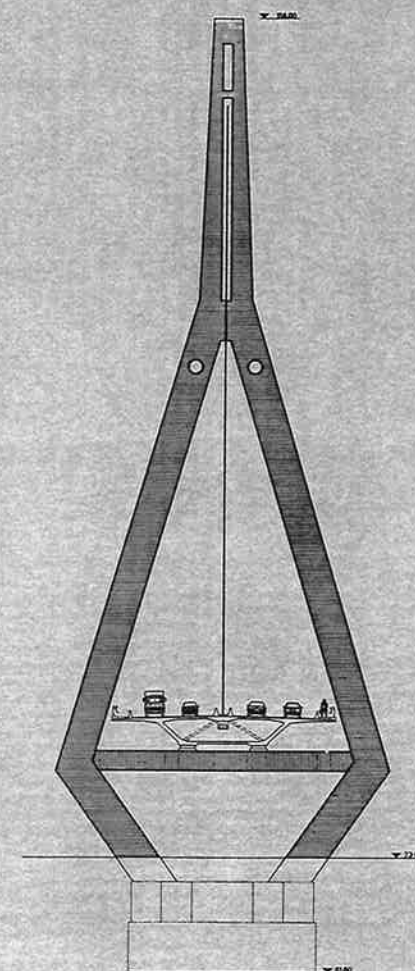
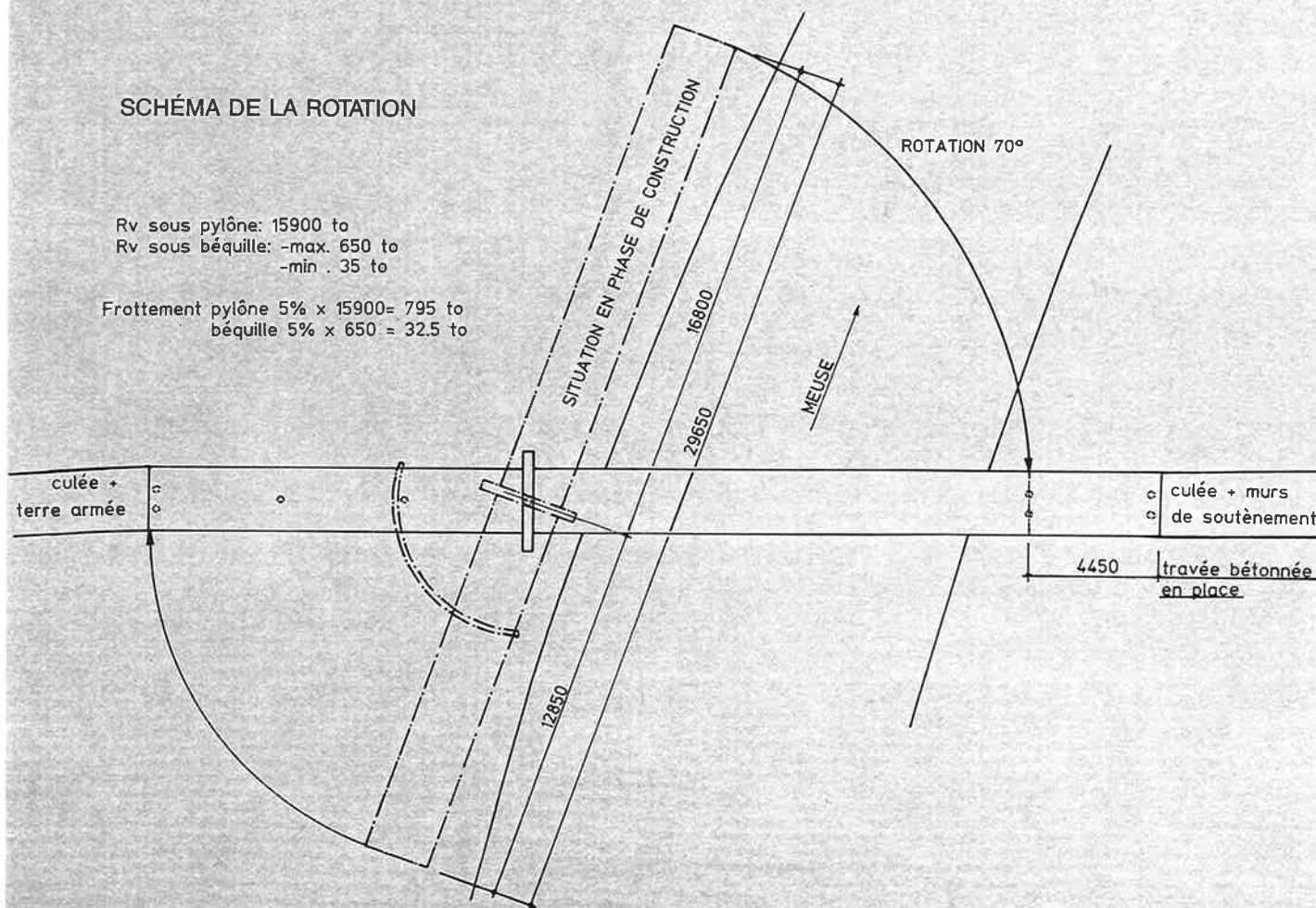


SCHÉMA DE LA ROTATION

Rv sous pylône: 15900 to
 Rv sous béquille: -max. 650 to
 -min . 35 to

Frottement pylône $5\% \times 15900 = 795$ to
 béquille $5\% \times 650 = 32.5$ to



1.4. La rotation

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.

CE PROCÉDÉ DE CONSTRUCTION déjà utilisé notamment en France pour de plus petits ouvrages VOIT A BEN-AHIN UN BEL EXEMPLE DE RÉALISATION, PUISQUE LES CHARGES DÉPLACÉES SONT SUPÉRIEURES A 16.000 t.

2. GÉOLOGIE ET GÉOTECHNIQUE

Le maître d'œuvre a procédé à une campagne de reconnaissance complète qui a permis d'avoir dès le début une bonne connaissance de la géologie du site.

Sous une épaisseur variable d'alluvions (sables argileux et graviers), on reconnaît :

- Calcaires et dolomies.
- Grès carbonatés, calcaires gréseux.
- Schistes et grès.

En rive gauche, la culée C1, les piles P1 et P2 sont fondées sur des pieux battus dans le gravier. Le pylône, par une fondation directe s'appuie directement sur un massif de calcaire sain.

En rive droite, la pile P3 et la culée C2 sont fondées directement sur les alluvions.

3. INFRASTRUCTURE

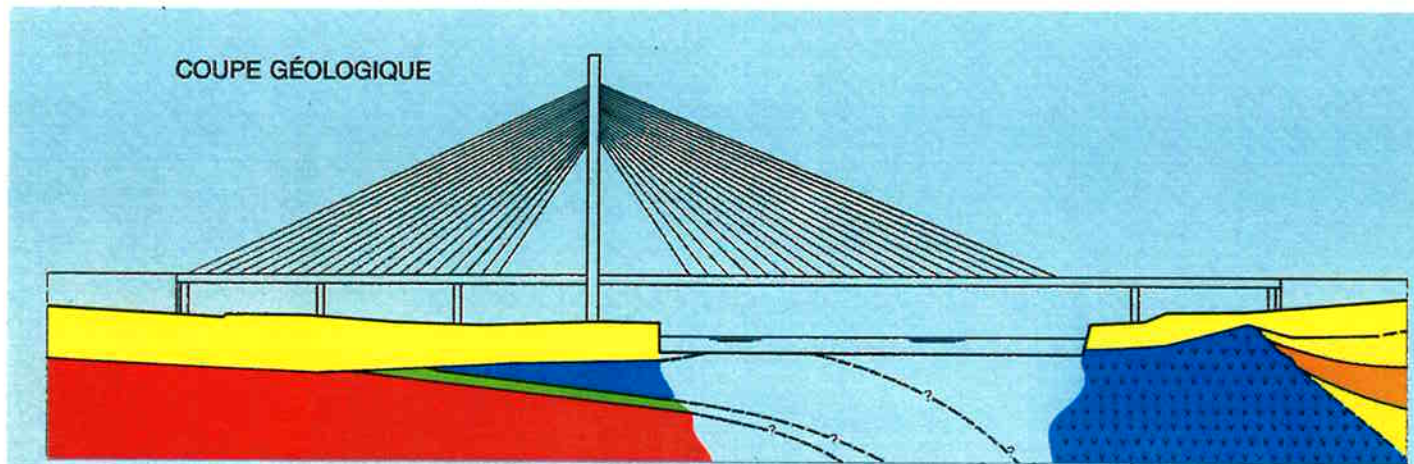
Culée C1 : deux colonnes Ø 2,50 m entredistantes de 7 m. Derrière ces deux colonnes de culée, un remblai en terre armée (firme BENELTA).

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

Pile P3 : deux colonnes Ø 2,50 m entredistantes de 7 m.

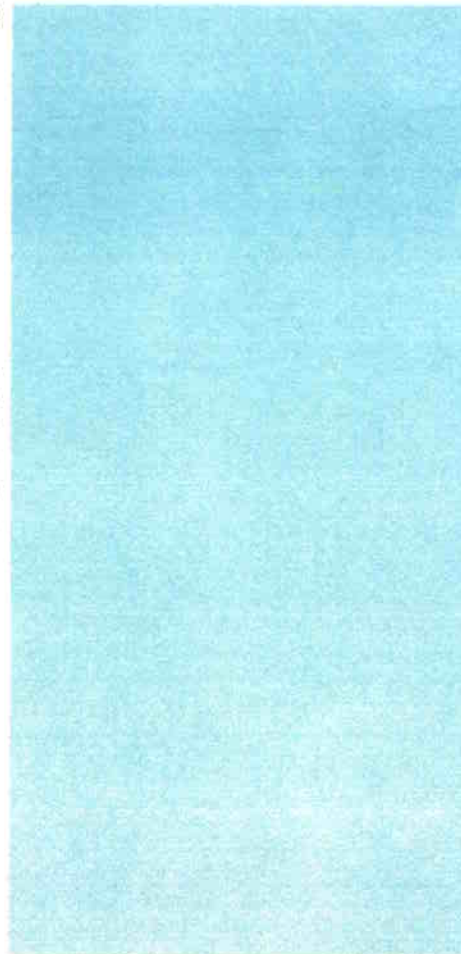
Culée C2 : deux colonnes Ø 2,50 m sur une semelle unique qui reprend également un mur garde-grève et des murs en retour classiques pour le soutènement des terres.

Les appareils d'appuis sont de type « à pot », de marque ALGA et distribués par CIPEC. Le point fixe longitudinal se situe sur la traverse du pylône.



QUATERNAIRE

	ALLUVIONS	] POCHES DE DISSOLUTION
	SABLES	
	ARGILE ET SABLES NOIRS	
HOUILLER		
	SCHISTES ET GRES	
	ENCRINITE DE TRAMAKA (VISEEN)	
	CALCAIRES (VISEEN)	
	CALCAIRES ET DOLOMIES (TOURNAISIEN)	



4. SUPERSTRUCTURE

4.1. Pylône

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

4.2. Semelle du pylône

La fondation du pylône est l'élément essentiel de la rotation. Sa forme et sa conception particulière 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. Le pylône étant encastré dans la fondation, cette charge verticale est accompagnée de moments de flexion longitudinaux et transversaux dont les valeurs maximales sont 3.500 tom longitudinalement et 12.000 tom transversalement. 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 Ø 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 Ø 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. L'autre branche sert essentiellement à reprendre le moment longitudinal de déséquilibre pendant la rotation.

Après rotation, le vide existant entre la semelle fixe et la semelle mobile sera rempli de béton pour réaliser l'encastrement des jambes du pylône en service.

4.3. 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^3) 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^3) 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.

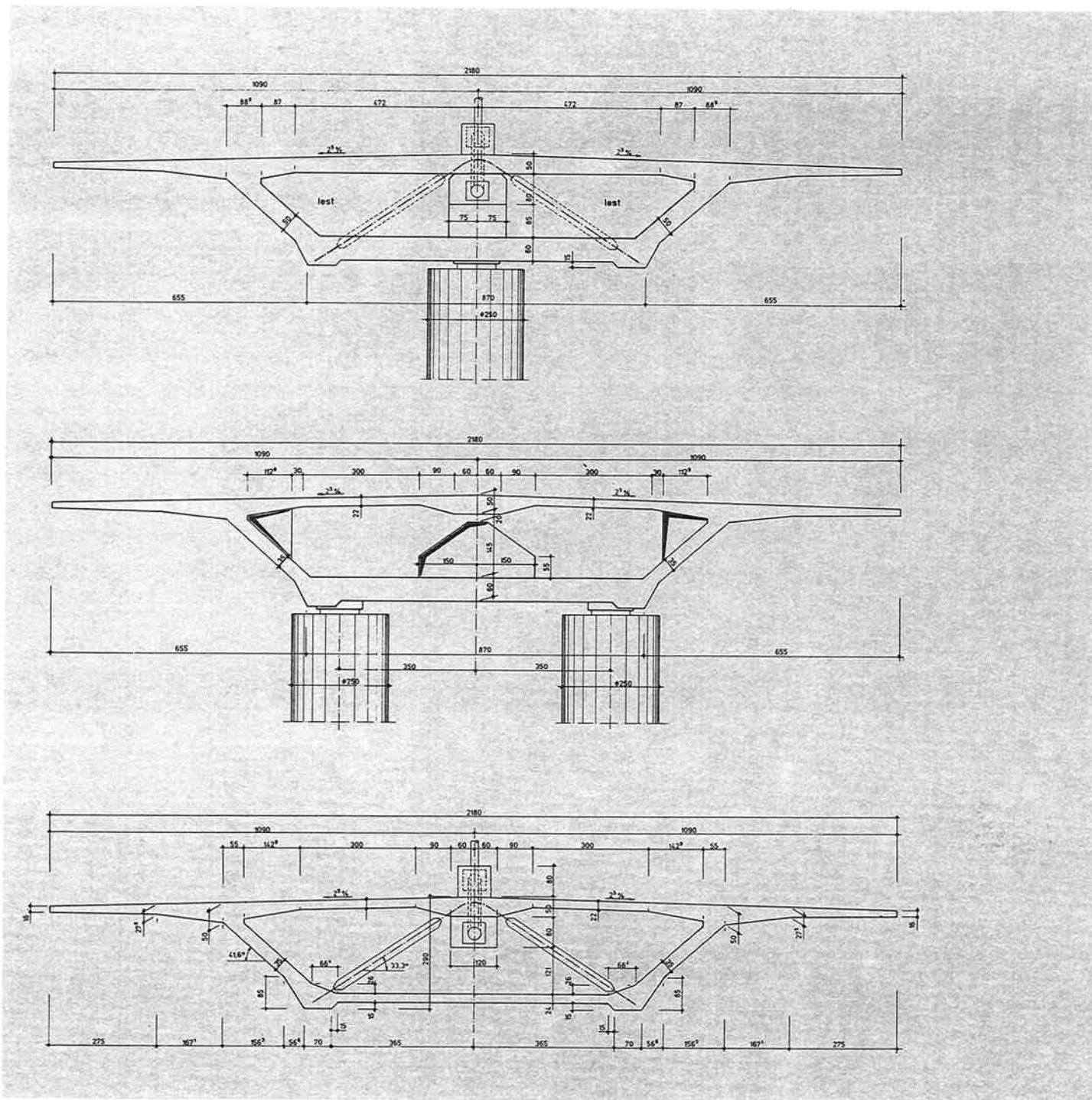
Dans la zone non suspendue, la partie centrale de la dalle de platelage est renforcée et joue le rôle de poutre longrine appuyée tous les 6,0 m sur un cadre transversal constitué de bracons en béton armé comprimé. Dans toute la zone suspendue (travée en Meuse et fléau d'équilibre), les cadres transversaux sont fortement tendus car ils transmettent au bas des âmes la composante verticale de l'effort dans les haubans.

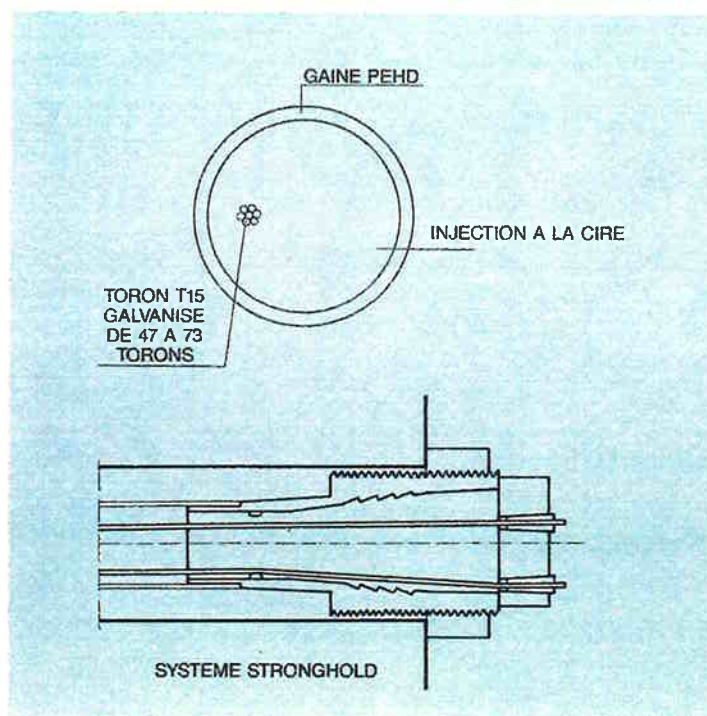
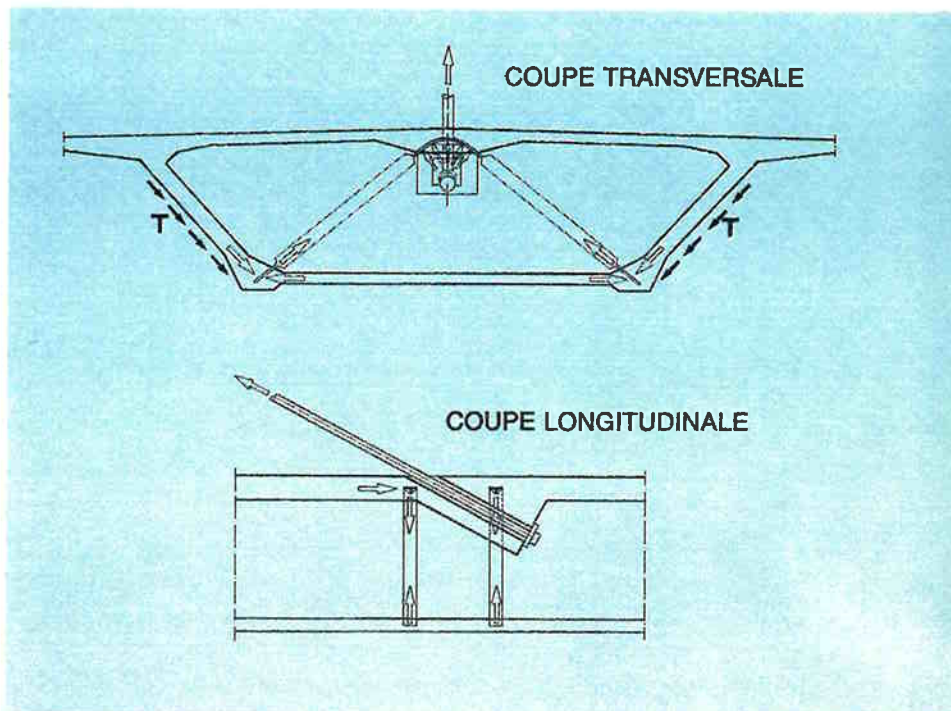
Ces tirants sont réalisés en profilés métalliques ancrés au pied par l'intermédiaire de goujons connecteurs, et en tête par la continuité d'un plat plié à l'intérieur du bossage des haubans. Ces bossages de haubans sont des renforts en béton armé de la dalle de platelage autour d'un tube métallique.

Ces cadres transversaux, bracons comprimés en béton ou tirants métalliques tendus servent également à transmettre au caisson les variations locales de torsion dues aux chargements dissymétriques.

Au droit des points d'appuis, des diaphragmes en béton de forte épaisseur (2,50 et 3,0 m) servent à transmettre aux appareils d'appuis les sollicitations verticales et les moments de torsion.

Sur environ la moitié de la longueur de l'ouvrage, une précontrainte longitudinale permet de limiter les tensions de traction dans le béton.





4.4. 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 semi-nappes sont ancrés d'un même côté de la tête de pylône par l'intermédiaire du culot d'extrémité qui, grâce à une grosse plaque, s'appuie sur 2 plats transversaux reliant les parois de la cage en charpente métallique. Les axes de 2 haubans vis-à-vis se croisent à l'axe du pylône, les composantes horizontales passent de l'un à l'autre par les parois métalliques, les composantes verticales étant transmises au béton par des goujons connecteurs.

L'ancrage dans le tablier se fait par l'intermédiaire des culots réglables qui s'appuient sur des bossages dont l'entredeux 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 distribués en Belgique par la firme PRS sont du type « à torons parallèles ». Ce sont des torons classiques 6", section 140 mm² dont la limite de rupture garantie est de 170 kg/mm². Le taux de travail maximum admissible en service = $0,95 \times 0,45 \times 170 = 72,7$ kg/mm² (le coefficient 0,95 tenant compte d'une perte de rendement à la clavette). Ces haubans résistent pendant 2 millions de cycles à une variation de tension de 15 kg/mm².

L'ancrage des torons dans les culots d'extrémité se fait par l'intermédiaire de 2 systèmes de fixation : des clavettes spéciales haubans qui reprennent jusqu'à $\frac{2}{3}$ 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 à leurs variations.

Les culots inférieurs sont munis d'écrous filetés permettant le réglage, tandis que la plupart des culots supérieurs sont des culots simples, 10 seulement étant munis d'écrous pour cause d'encombrement.

En section courante, les torons galvanisés (180 gr/m²) sont protégés par une gaine en PEHD injectée de cire INJECT ELF.

Les haubans sont répartis en 3 sections différentes. Les plus gros comportent 73 torons, d'où une section de 102,2 cm², un effort maximum en service de 743 t, les moyens 59 torons, une section de 82,6 cm², un effort maximum de 600 t, les petits 47 torons, une section de 65,8 cm², un effort maximum de 478 t. En cours de rotation, les 8 haubans extérieurs (1 à 4 et 37 à 40) sont surtendus jusqu'à des efforts dépassant 1 000 t.

4.5. Précontrainte

La précontrainte du tablier de marque Stronghold se situe principalement côté 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 essentiellement de flexion, en fond de caisson de la grande travée et dans la dalle supérieure sur l'appui P3 est une précontrainte intérieure classique en câbles 15T15 injectée au coulis de ciment.

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

Cette précontrainte est constituée de câbles 15T15 et 19T15 ancrés à l'extrémité droite dans l'entretoise C2 et à l'autre extrémité dans des bossages en relief sur la dalle de fond de caisson.

5. EXÉCUTION

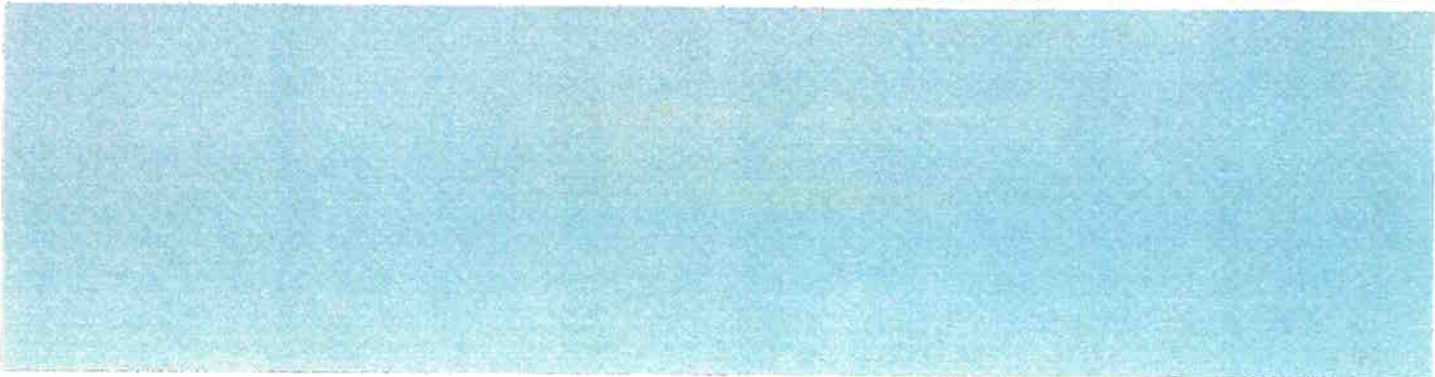
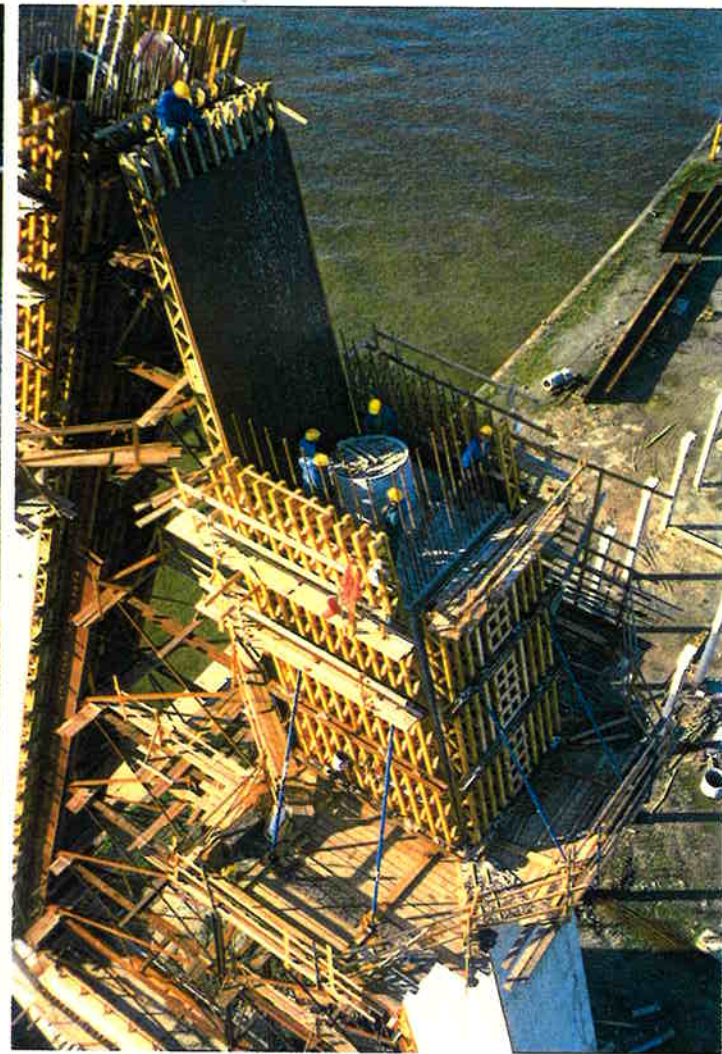
5.1. Pylône

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. Pour des raisons d'encombrement des soutiens de coffrages (proximité de la Meuse), le pylône était à ce moment en position définitive. Avant de poursuivre le bétonnage, la partie de pylône réalisée a subi une prérotation pour l'amener en position de construction du tablier, c'est-à-dire la rotation inverse de celle qui servira à mettre en place la totalité de la structure.

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





5.2. Le 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 encorbellements.
- 1 élément de coffrage de fond de caisson.
- 1 élément coffrage tunnel.
- Le matériel de coffrage STEIDLE a été fourni par la SPRL Ch. AHN à HERBESTHAL.

Les principales phases d'exécution sont les suivantes :

- Mise en place par déplacement sur des galets des 3 éléments de coffrage extérieur.
- Ferrailage du fond de caisson et des voiles, placement des ancrages inférieurs de bracons.
- Bétonnage de la dalle de fond et des 2 goussets inférieurs.
- Mise en place du coffrage tunnel qui était une phase en arrière.
- Ferrailage de la dalle supérieure.
- Bétonnage des voiles et de la dalle supérieure.
- Décoffrage et départ du nouveau cycle.

Les bracons comprimés, tirants d'ancrage et haubans, bosage de haubans, déviateurs et bossages de précontrainte, entretoises sur appuis sont mis en place ou bétonnés par après en dehors du cycle.

Le lest de la zone d'équilibrage est placé en partie avant la rotation, en partie après.

Après rotation, le clavage avec la travée exécutée en place se fait par le bétonnage d'un petit tronçon avec entretoise au droit de la pile P3. Pour réaliser cette continuité, un réglage de haubans est nécessaire.

5.3. Haubans

Les haubans sont fabriqués sur place.

Les opérations sont les suivantes :

- Placement des culots d'ancrage 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 monovérin.
- Clavetage.
- Injection des culots d'ancrage.

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 1.000 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.

6. 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.

6.1. Description du système

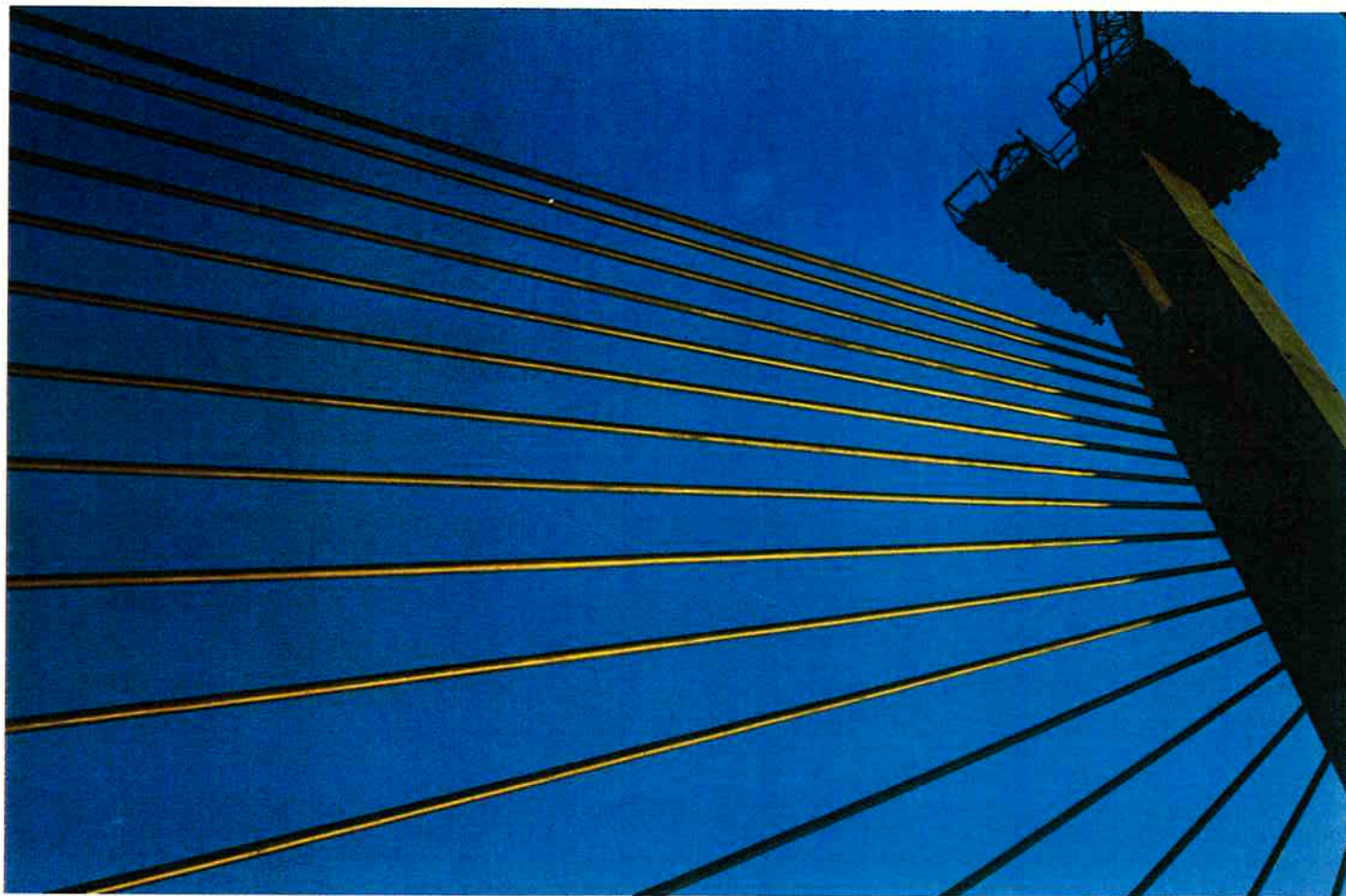
Comme déjà dit plus haut, la travée suspendue au-dessus de la Meuse et le fléau d'équilibrage, en tout 296 m de tablier, seront suspendus au pylône par les haubans. Seule une béquille placée à 45 m du pylône et suivant la rotation permet de s'assurer contre des déséquilibres accidentels.

La charge totale de la structure repose donc sur le pylône. Un réglage supplémentaire des haubans 1 à 4 et 37 à 40 permet d'assurer pendant la rotation une géométrie suffisamment relevée aux deux extrémités pour passer au-dessus des voies du chemin de fer d'un côté et au-dessus de la pile P3 de l'autre. Le réglage de la béquille d'équilibrage sert également à corriger la géométrie mais, et en même temps, à limiter les sollicitations au pied du pylône. L'extrémité du grand fléau doit être renforcé par un haubanage provisoire réalisé au moyen de 4 câbles de précontrainte 15T15.

6.2. Chemin de glissement et système moteur

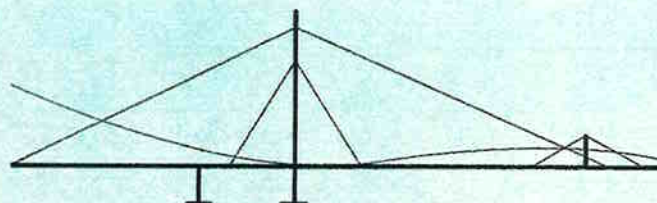
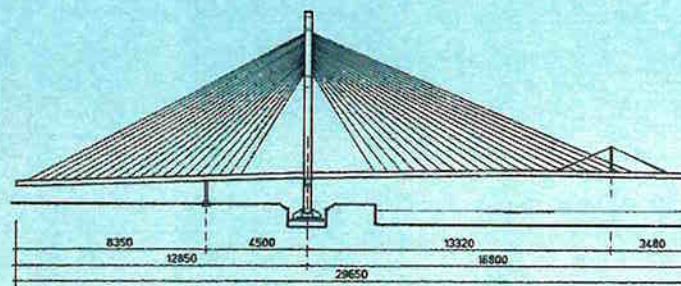
Entre la couronne de chemin de glissement faisant partie de la semelle fixe de fondation et la semelle mobile du pylône, on interpose le dispositif de glissement. Il est composé d'une tôle d'inox fixée à la semelle mobile glissant sur des patins en néoprène fretté recouvert de teflon et déposé sur la couronne de rotation.

L'effort moteur est fourni par deux groupes de vérins diamétralement opposés, placés à l'extérieur de la couronne de

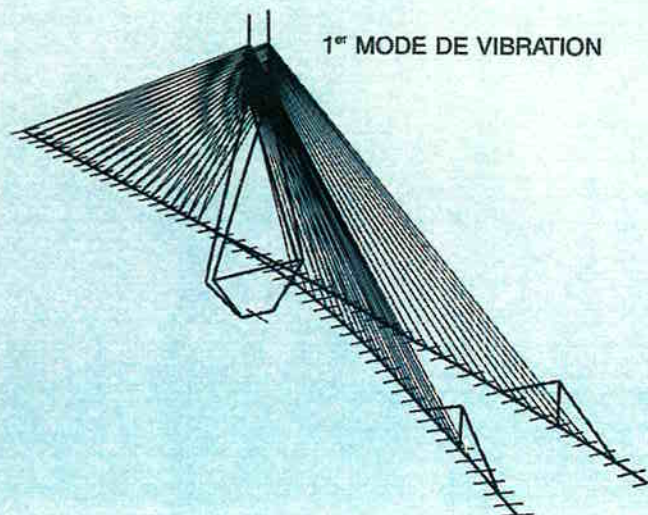




ÉLÉVATION EN PHASE DE ROTATION



1^{er} MODE DE VIBRATION



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 appui sur une excroissance de la semelle mobile et les vérins verticaux.

6.3. Vibrations

Étant donné la grande souplesse de la structure en cours de rotation, les fréquences propres sont très faibles. Le 1^{er} mode de vibration est un mode de flexion verticale dans le plan de la structure et la fréquence est 0,21 Hertz. Le 2^e mode est un mode de flexion horizontale du tablier avec flexion transversale et torsion du pylône : la fréquence est de 0,28 Hertz. 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.

7. ÉTUDES

Pour le dimensionnement longitudinal de l'ouvrage, le réglage des haubans est l'élément essentiel qui permet d'atteindre ces 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/cm² a été admise dans les zones précontraintes, ces zones étant comprimées à plus de 15 kg/cm² sous charges permanentes.

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

Étant 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.

8. ASSURANCE

La construction le long d'une berge d'un pont d'une longueur de 300 mètres et d'un poids de 16.000 tonnes, puis le lancer une fois terminé par dessus le fleuve dans une précautionneuse rotation, est une réalisation audacieuse tant au point de vue de la technique, que du point de vue de l'assurance.

Un contrat d'assurance « Tous Risques Chantier » (A.G. : 50 % ; Royale Belge : 30 % ; Assubel : 20 %) couvrant les vices de conception de l'ouvrage et les vices de construction, ainsi qu'un contrat d'assurance de responsabilité (A.G. : 50 % ; Winterthur : 50 %) couvrant aussi bien les dommages directs que les dommages indirects, ont été souscrits par l'entrepreneur.

La souscription de ces deux contrats s'est avérée délicate, du fait de la nature même de l'ouvrage, qui est tout à fait exceptionnel et pour lequel les conditions habituelles ne sont pas adaptées (exclusion de la « faulty part » ; garantie des erreurs de conception délicate, voire impossible lorsqu'il s'agit d'un prototype ; risques de responsabilité considérables). En outre, la phase délicate de rotation entraînait une concentration des risques en un court laps de temps.

Les assureurs ont été à même d'apprécier et de faire apprécier par les coassureurs et par les réassureurs l'information très complète que les entrepreneurs ont pu fournir lors de la longue négociation des contrats. Celle-ci a permis la conclusion d'une police d'assurance de dommage à l'ouvrage, qui en elle-même est une première en la matière. La Société Condrusienne de Courtage en Assurances (S.C.C.A.) a été le partenaire indispensable des entrepreneurs dans cette négociation.

9. BUREAU DE CONTRÔLE

Le contrôle technique exercé par le bureau SECO concerne la stabilité et la durabilité de l'ouvrage. Il a pour but de réduire les risques de désordres dans la construction et de permettre la couverture par l'assurance des responsabilités des édificateurs et du maître de l'ouvrage.

Dans cet esprit, les ingénieurs de SECO, disposant de moyens informatiques performants, ont collaboré étroitement avec le bureau d'études et les entrepreneurs pour maîtriser les problèmes de haute technicité que présentait ce chantier.





beg



AG

Groupe A.G.
Bd Émile Jacqmain 53
1000 BRUXELLES
(02) 214 81 11

**GER
CIPEC**

S.A. CIPEC
R. de la Clawenne 121
4400 HERSTAL
(041) 64 09 30

benelta

S.A. BENELTA
Bd L. Schmidt 56
1040 BRUXELLES
(02) 734 56 39



S.A. P.R.S.

Rue de Jemeppe 224
4431 ANS - LONCIN
(041) 63 89 34

steidle

Représenté par:
S.P.R.L.
Charles AHN
Rue de Tivoli 22
4710 HERBESTHAL
(087) 88 12 99



Travhydro

S.A. TRAVHYDRO
Quai Timmermans 65
4200 SCLESSIN
LIEGE
(041) 52 99 43

10. INTERVENANTS

Maître de l'ouvrage :

**MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS
DIRECTION DES ROUTES DE LIÈGE**

Entrepreneurs :

**ASSOCIATION MOMENTANÉE
DUCHENE - RICHARD**

Entreprises Générales
L. DUCHENE S.A.
rue du Centre, 78
5272 STRÉE - MODAVE
Tél. (085) 51 20 81

Entreprise
J. RICHARD S.A.
rue de Jemeppe, 224
4431 ANS - LONCIN
Tél. (041) 63 89 34

Étude de conception et d'exécution :

BUREAU D'ÉTUDES R. GREISCH

rue de Beyne, 66
4500 LIÈGE - JUPILLE
Tél. (041) 62 99 65

Contrôle :

**MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS
BUREAU DES PONTS 1^{re} et 2^e Divisions**

BUREAU SECO

rue d'Arlon, 53
1040 BRUXELLES
Tél. (02) 230 30 10

