

24 et 25 juin 2010 à Brest

Les ponts de Térénez, d'Iroise et Albert Louppe

L'AFGC a organisé le 24 juin 2010, en partenariat avec l'Association Eugène Freyssinet, une nouvelle journée consacrée au pont de Térénez. Elle fait suite à une première visite en 2008 centrée sur la conception de l'ouvrage et la visite des fondations en cours de réalisation. Environ 70 personnes se sont retrouvées dans les salons de l'aéroport de Brest pour une matinée de conférences.

Rappel du programme du 24 juin

9h00 : Présentation des journées

Jean-Marc TANIS, Président de l'AFGC

Christian TESSIER, Président de la délégation AFGC Grand Ouest

Frank GUYON, Président de l'Association Eugène Freyssinet

9h30 : L'ancien pont de Térénez - bilan des pathologies

Benoit THAUVIN - LRPC Saint-Brieuc

10h15 : Le nouveau pont de Térénez

10h30 : Conception du pont à haubans

11h00 : pause

11h30 : Présentation des méthodes de construction

Antoine de CAMBOURG - groupe VINCI

12h00 : Avancement du chantier

- Les pylônes
- Le tablier
- Les haubans (Erik MELLIER - Freyssinet)

13h15 : Buffet déjeunatoire

14h15 : Visite du chantier

18h00 : Fin de la visite et retour vers Brest

Synthèse des présentations

L'ancien pont de Térénez

- **Les origines**

L'accès à la presqu'île de Crozon a toujours été difficile par la route, les liaisons se faisant préférentiellement par bateau depuis Brest. L'Aulne est une rivière profonde et soumise à marée ; dès le 18ème siècle, les moines de Landévennec, située sur la presqu'île, assuraient le passage par bac. Dès 1909 s'est posée la question de mettre un bac à vapeur ou de réaliser un pont suspendu. Cette solution fût retenue et l'ouverture n'eut lieu qu'en 1925 pour cause de guerre. Il s'agissait alors d'un des plus grands ponts d'Europe avec 350 m de longueur. En 1944 les Allemands firent sauter l'ouvrage qui fût reconstruit entre 1949 et 1952 en conservant quelques éléments de l'ouvrage d'origine. Le nouvel ouvrage comporte alors une travée suspendue de 272 m de portée, avec un tablier en treillis Warren double supportant une chaussée à deux voies de 6 m de large.



Premier pont de Térénez (1)



Pont de Térénez reconstruit (1)

- **Les désordres**

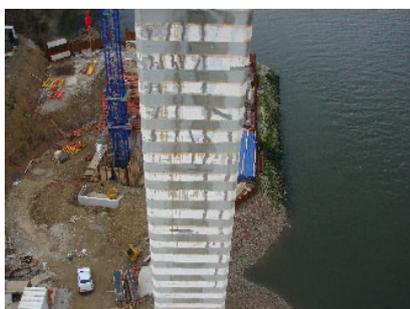
Compte tenu des difficultés au lendemain de la deuxième guerre, l'ouvrage nécessita des travaux de réparation dès la fin de sa construction : voiles des massifs d'ancrage en 1959 puis 1969, changement des suspentes en 1975 et 1989, etc. sans oublier un renforcement, en 95, de la tête de pile-culée en maçonnerie datant de 1925, par un massif précontraint.

Mais le pire, si l'on ose dire, est que des fissures apparurent dès 1963 sur les pylônes et se développèrent de manière inquiétante. En 1974, le Sétra et le LCPC réalisèrent les premières investigations, alors que le pylône RD était atteint à son tour. Ce n'est qu'en 1988 que le diagnostic d'alcali-réaction pût être établi. En 1994, un essai d'expansion résiduelle sur carotte a démarré et a montré l'importance du phénomène sur cet ouvrage. Des traitements divers ont été mis en œuvre en 1982, 1993 et

1999 pour tenter de remédier à ces désordres. Finalement, en 1999, les deux entretoises ont été cerclées par du TFC pour "soulager l'ouvrage au moins quelques années", réduisant la contrainte dans les aciers de 15% et assurant un confinement de 0,05 MPa. Et en 2006, une nouvelle campagne de TFC a cerclé le pylône RG.



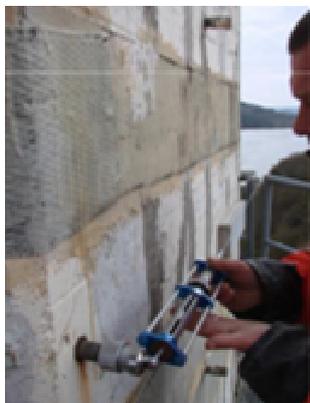
Fissuration des pylônes (1)



Pylône renforcé par TFC (1)

Pendant ce temps, la réflexion sur le devenir du franchissement fût intense et, en 1998, a été décidée la construction d'un nouveau pont.

Dès 1994 l'ouvrage fût mis sous surveillance renforcée, et depuis 2001 une télésurveillance a été mise en place (ouverture des fissures en base de pylône, rotation longitudinale des têtes et des pieds de pylône, etc. Par ailleurs, depuis 91, le gonflement de ces pylônes est suivi à l'aide de fil invar. Ces mesures ont montré que le phénomène ne se ralentit pas, restant quasi linéaire (jusqu'à 830 $\mu\text{m}/\text{m}$ par an !



Mesure par fil invar (1)

En 2009, sont apparues des ruptures de fils d'un des câbles porteurs, ce qui justifie d'autant plus la construction du nouvel ouvrage.



Rupture de fils (1)

Le nouveau pont de Térénez

La précédente visite avait fait l'objet de conférences sur la maîtrise d'ouvrage et la conception du nouveau pont. Cette deuxième partie s'est essentiellement intéressée aux méthodes de construction et au déroulement des travaux et à la technologie des haubans.

Cependant, il est nécessaire de rappeler les principales caractéristiques de ce nouvel ouvrage :

- Portée centrale 285 m - deux travées adjacentes de 115 m
- Pylônes de 100 m de hauteur, inclinés à 15°
- Courbure variable en plan ($r = 200$ à 800 m)
- Tablier en béton, de type "assiette renversée", supportant une chaussée à deux voies de 6,50 m de largeur totale et deux trottoirs piétons en contrebas
- 144 haubans en deux nappes latérales, ancrés entre la chaussée et les trottoirs
- Groupement piloté par Vinci Construction
- Montant du marché ~ 30 M€ HT

Les méthodes de construction et l'avancement des travaux

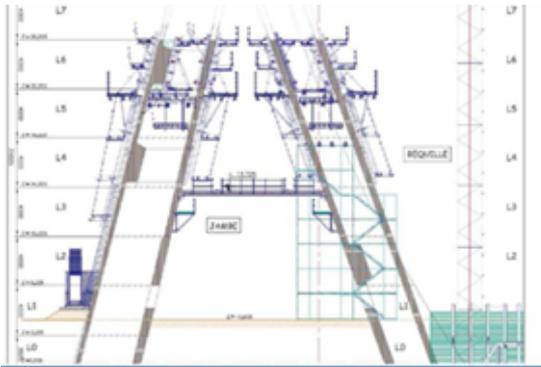
• Fondations et appuis

En 2007, les travaux ont commencé par les fondations des pylônes, réalisées à l'intérieur de batardeaux en bordure de l'Aulne. Les semelles de 11 x 11 m sont réunies par un tirant précontraint de 2,5 x 1,5 m.



Semelles de P2 (2)

La construction des pylônes ainsi que celle des extrémités s'en est alors suivie. Les jambes sont réalisées par levées de 4 m.



Méthode de construction des jambes du pylône P2 (2)



Jambe de P2 (2)

L'année 2008 a vu la construction des deux pylônes, P1 étant décalé d'un peu plus de 6 mois pur permettre la réutilisation des coffrages, en particulier pour le nœud au niveau du tablier.

Puis, c'est à l'automne 2007 qu'a débuté la réalisation du nœud des jambes du pylône P2 au niveau du tablier, premier des éléments extrêmement complexes, premier "morceau de bravoure".

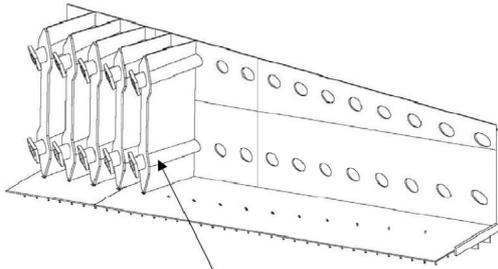


Nœud jambe-tablier de P2 (2)

Pendant ce temps, les parties des travées latérales situées à proximité du terrain ont été réalisées sur cintre.



Partie sur cintre (2)



Demi-boîte d'ancrage (2)

Mais il faut alors des moyens de levage extrêmement puissants et l'exiguïté des aires de chantier coincées au bord de l'Aulne a rendu cette solution particulièrement difficile à mettre au point. De plus, cette inclinaison nécessite un levage avec basculement de cette pièce, ce qui complique encore l'opération.



Rotation de la boîte d'ancrage (2)

Et pourtant, cela fût fait et... réussi !



Levage de la boîte d'ancrage (2)

• Le tablier

Le tablier est une structure très peu épaisse, de type "assiette renversée" comme indiquée plus haut, elle ne fait que 1,30 m d'épaisseur. Il est construit par encorbellements successifs à partir du pylône, à raison de 8 voussoirs de 7,50 m de part et d'autre.

Côté rive, on réalise alors un clavage avec la partie coulée sur cintre de 52 m de longueur. Puis le tablier est complété en surencorbellement par 10 voussoirs. Enfin, le clavage central est réalisé.

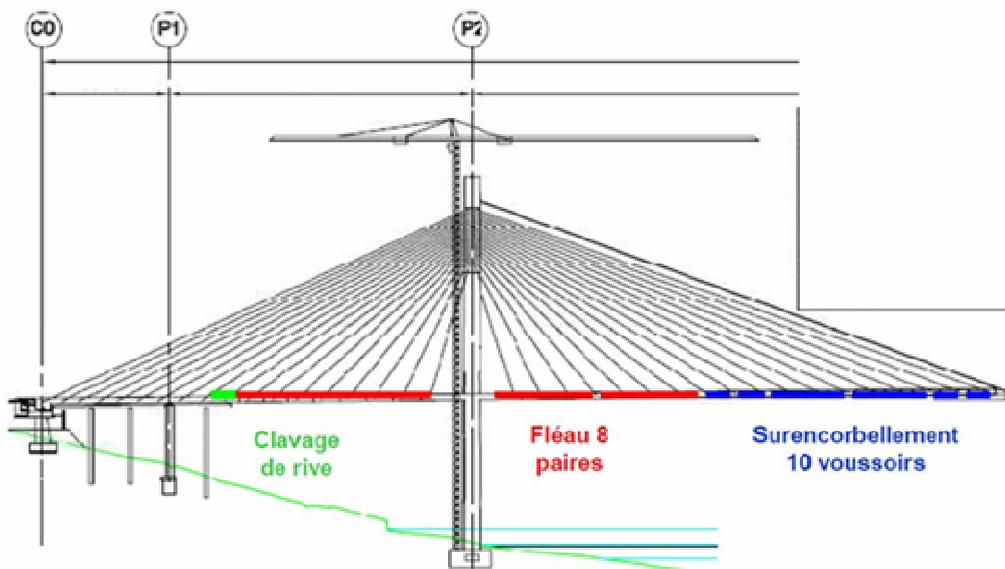
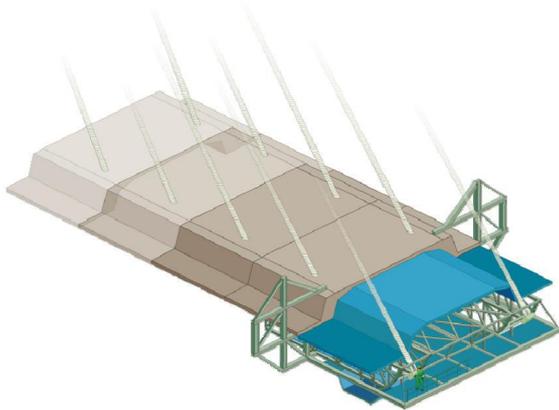


Schéma de construction (2)

Le rythme de construction est d'une paire de voussoirs en 4 j selon l'avancement suivant :

- J bétonnage du voussoir N
- J+1 décoffrage et avancement équipage
- J+2 ferrailage du voussoir N+1
- J+3 mise en place des haubans N+1
- J+4 coffrage du voussoir N+1
- J+5 bétonnage du voussoir N+1

L'équipage mobile est du type "par en dessous", ancré sur l'arrière à une poutre servant à son avancement. Le tablier étant très mince, il est très souple, ce qui nécessite la tenue de l'équipage mobile par une paire de haubans, ancrés à l'avant de l'équipage sur une poutre circulaire pour suivre l'inclinaison variable des haubans en fonction de la position du voussoir considéré.



Equipage mobile (2)

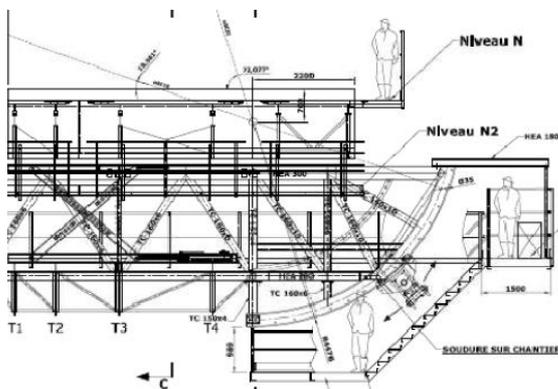
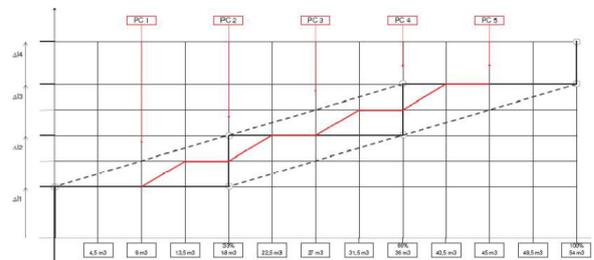


Schéma de l'équipage mobile (2)



Equipage mobile poutre circulaire (2)

Cette très grande sensibilité du tablier aux efforts de flexion nécessite même une mise en tension des haubans tenant l'équipage en 4 étapes au fur et à mesure du bétonnage, pour éviter de développer une flexion inadmissible par le tablier.



Mises en tension des haubans de l'équipage mobile (2)

Par ailleurs, le pylône lui-même, de par sa forme élancée, ne peut également supporter d'importantes flexions longitudinales. Pour remédier à cela, il est maintenu en tête par des haubans de retenue provisoires ancrés au niveau de la culée. Mais on peut voir que, dans certaines phases, ces haubans sont complètement détendus.



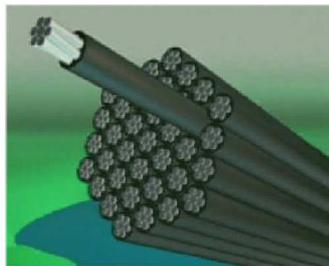
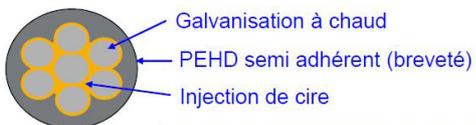
Haubans de retenue (en rouge) (3)



Haubans de retenue détendus (3)

• Les haubans

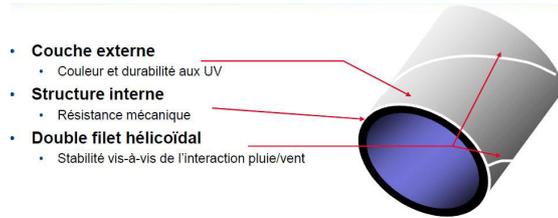
Le haubanage est constitué de torons parallèles, protégés individuellement par une gaine en PEHD et une cire injectée lors de l'extrusion, selon la technologie désormais habituelle de Freyssinet. Les fils sont évidemment galvanisés. La puissance des ancrages va de 19 à 27 T15S.



Torons Freyssinet (4)

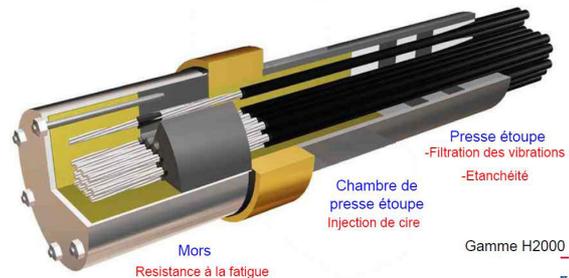
La longueur des haubans varie entre 35 et 149 m pour les haubans les plus longs en travée centrale. La quantité totale d'acier pour haubans est de 300 t.

L'ensemble des torons d'un hauban est protégé par une gaine générale blanche comportant un double filet hélicoïdal réduisant l'instabilité due au phénomène de pluie et vent, et d'une grande résistance aux UV.



Gaine générale (4)

Un tube anti-vandalisme en acier protège les haubans en partie basse sur une hauteur de 3 m. Les ancrages sont prévus pour assurer une parfaite protection contre la corrosion d'une part (presse-étoupe, injection de cire dans la chambre), et contre les vibrations et la fatigue d'autre part (presse-étoupe toujours et conception particulière de la tête d'ancrage). Chaque toron est guidé individuellement. Ces ancrages sont testés à 2 millions de cycles pour la fatigue, et vis-à-vis de l'étanchéité pendant 6 semaines.



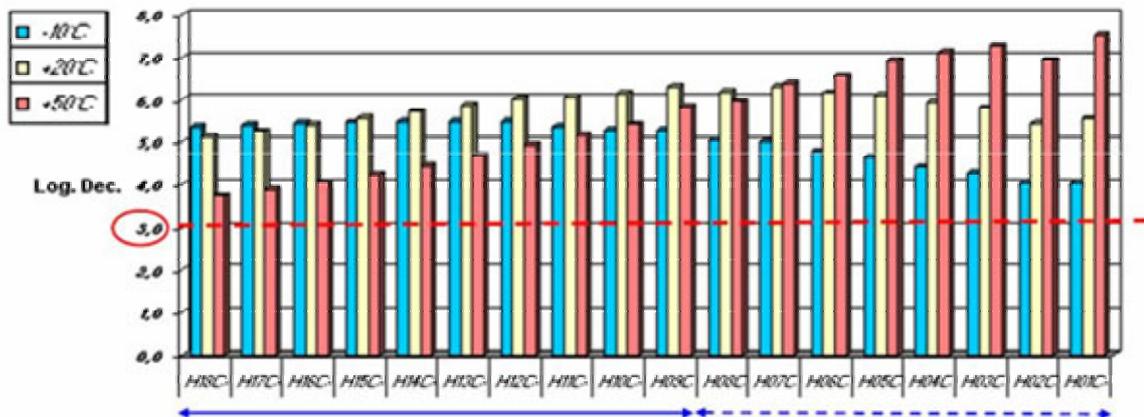
Ancrage Freyssinet (4)

Mais en raison de la souplesse du tablier, un certain nombre de haubans, les plus longs, doivent fait l'objet d'un amortissement complémentaire : les haubans 9 à 18 en travée centrale. Le système retenu est celui de l'IHD (Internal Hydraulic Damper) placé en partie basse. On a préservé la possibilité d'en rajouter pour les haubans les plus courts en prévoyant une réservation au niveau des tubes guides.



Amortisseur hydraulique (4)

Les calculs d'amortissement ont montré leur parfaite adéquation à l'ouvrage.



Décrément logarithmique en travée centrale (4)

Les mises en tension se font selon le principe de l'Isotension® de Freyssinet :

- mise en tension du toron étalon à la force F1
- mise en tension d'un toron courant avec égalisation automatique de la force ou de l'allongement par rapport au toron étalon

Comme déjà indiqué plus avant, en cours de bétonnage les torons sont tendus en 4 phases jusqu'à 80% de l'effort, complétées par une tension "d'affinage" le lendemain du bétonnage jusqu'à 100% de l'effort de fin d'installation. Après pose des superstructures, une retension complémentaire est réalisée.

6 - Planning général

Les principales dates de construction ont été les suivantes :

- Pose de la boîte d'ancrage P2 : juillet 2009
- Clavage de la travée sur cintre RG : janvier 2010
- Pose de la boîte dans P3 : janvier 2010
- Clavage de la travée RD : juin 2010
- Clavage central : août 2010



Clavage central (3)



Clavage RD (3)

Une autre des grandes difficultés de cet ouvrage fût la maîtrise de la géométrie : sa souplesse due à sa faible épaisseur, sa courbure en plan variable, son dévers variable, l'inclinaison des pylônes et leur propre souplesse ont nécessité des moyens de mesure et de calcul exceptionnels pour obtenir la géométrie de l'ouvrage telle qu'elle a été conçue. En dépit de toutes ces difficultés, le clavage central a été réalisé de manière tout à fait satisfaisante, les deux fléaux se présentant avec une parfaite précision en face l'un de l'autre, aussi bien en élévation qu'en plan. Or, si la grande souplesse en vertical permet un ajustement facile, sa raideur horizontalement est beaucoup plus grande, mais le travail effectué en amont a abouti à un excellent résultat.

Conclusion

Cet ouvrage, bien que de dimensions moyennes, est un ouvrage exceptionnel par ses caractéristiques, par sa cinématique complexe et par son architecture. Il est ainsi une parfaite réussite du génie civil français.

Les principales entreprises ayant réalisé cet ouvrage sont :

- Grand travaux Vinci Construction France et sa Délégation régionale Ouest
- Freyssinet (haubans)
- Botte fondations (pieux P3)
- Eurovia (chaussées)
- Terre-Armée (massifs de soutènements)

Les bureaux d'études :

- Arcadis-GTM (études d'exécution)
- Dodin Campenon Bernard (études des méthodes)
- Formule informatique (logiciel de réglage du tablier)
- Vinci Construction Grands Projets (méthodes boîtes d'ancrage)

Les concepteurs :

- Architecture et Ouvrage d'Art Lavigne - Chéron
- Michel Virlogeux Consultant

Et le maître d'ouvrage :

- Conseil Général du Finistère



Tête de pylône (3)



Fléau RG (3)



Vue d'ensemble de l'ouvrage (3)

Référence des illustrations

- (1) Illustrations et photos de B. Thauvin
- (2) Illustrations et photos de A. de Cambourg
- (3) Photos de D. Lecointre
- (4) Illustrations et photos de Freyssinet

Compte rendu rédigé par Daniel A. Lecointre, vice-président du CAG de l'AFGC

Rappel du programme du 25 juin

Le 25 juin 2010, l'AFGC et l'Association Eugène Freyssinet ont proposé une présentation des ponts Albert Louppe et de l'Iroise.

Tout d'abord, Jean Freyssinet a fait un historique du pont Albert Louppe (ou pont de Plougastel).

Plougastel

«Du point de vue architectural, je considère que c'est de beaucoup le mieux réussi de mes ponts»

E. Freyssinet dans le Génie civil du 4 octobre 1930.

Pendant des décennies, les finistériens ont rêvé d'un pont sur l'estuaire de l'ELORN. Mais relier ainsi le nord et le sud du département nécessitait la construction d'un ouvrage important, les rives du Léon et de la Cornouaille étant distantes à cet endroit d'environ 900 mètres. Cela pouvait sembler utopique. C'est peut-être pour cette raison que le conseil général fut saisi de cette question seulement en 1892.

Quoi qu'il en soit, un premier projet fut présenté deux ans plus tard. Comme les suivants, il s'avérait coûteux et comme eux, il entraîna hésitations et tergiversations. Quand la guerre éclata, en 1914, les choses étaient au point mort.

Cependant, un bac à vapeur avait été inauguré, en 1907, pour traverser l'Elorn un peu plus en amont. Il fonctionna à la satisfaction de ses très nombreux usagers jusqu'à la mise en service du pont en 1930. De Plougastel, à une dizaine de kilomètres de Brest, il évitait en effet le détour de 30 kilomètres par Landerneau, ou les aléas d'une embarcation à voile ou à rames. Quelques chiffres sur le fonctionnement de ce bac long de 25 mètres : en 1924, il a transporté 12424 bicyclettes, 2551 charrettes, 9115 voitures à cheval et un millier d'automobiles de 2 ou 3 places.

ENFIN! Pour en revenir au pont, finalement, le 22 septembre 1922, grâce à l'énergique impulsion de son président, M. Albert LOUPPE, le conseil général décida de reprendre les études. Huit entreprises répondirent au concours ouvert en 1923, dont l'Entreprise Limousin, avec E. Freyssinet. Les ponts proposés, trois métalliques, quatre en béton armé, furent d'abord étudiés par l'ingénieur des Ponts Albert Coyne, ingénieur ordinaire à Brest chargé du dossier qui en fit un rapport pour faciliter le travail de la commission d'examen des projets dont il était le secrétaire. Il conclut « très nettement » en faveur du projet Limousin. On peut alors, penser que la commission, composée de 12 membres, dont Albert Louppe, inspecteur général des poudres, après avoir comparé les soumissions, abondera dans le sens de l'analyse d'André Coyne.

Mais les choses ne se passent pas ainsi. Freyssinet raconte comment dès la première séance, le président de la commission proposa l'adoption du moins dispendieux des projets de ponts métalliques, dont le coût était tout de même plus élevé d'un tiers que celui de son propre devis.

« L'affaire allait être réglée quand Albert Louppe, Président du Conseil général du Finistère, déclara que, si la commission statuait sans avoir entendu les explications de tous les concurrents, il demanderait au département du Finistère, maître de l'oeuvre, de tenir sa décision pour non avenue. Il fallut bien m'entendre; je n'eus aucune peine à pulvériser les arguments mensongers opposés à mon projet et obtins l'approbation quasi unanime de la Commission » Conférence de son jubilé 1954.

Celle-ci l'avait en effet « entendu » une semaine plus tard, et il lui avait aussi expliqué « les raisons du bon marché relatif » de son projet: « Nous estimons que dans une affaire de cet ordre, il y a un bénéfice moral immense et qu'on peut accepter un bénéfice matériel très réduit ».

Pour finir, la commission adopta à l'unanimité moins une voix et une abstention, le projet Limousin, qui fit l'unanimité du conseil général le 21 janvier 1924.

Eugène Freyssinet avait accepté les conditions de la commission:

« M. Limousin et Cie assumeront entièrement la responsabilité de l'entrepreneur pendant un délai de 10 ans... sans qu'ils puissent invoquer à leur décharge, à aucun moment ni d'aucune manière, l'adhésion donnée à leur projet tant par la commission de concours que par le conseil général du Finistère ou par les ingénieurs. Les dépenses afférentes à chacun des arcs ne seront prises en compte qu'après décintrement de chacun d'eux. Les dépenses afférentes au cintre ne seront prises en compte qu'après sa mise en place. »

Inauguration et bénédiction

Lorsque les conseillers généraux établirent le programme de l'inauguration du pont, certains d'entre eux souhaitèrent y inclure une cérémonie religieuse dont d'autres ne voulaient pas entendre parler. C'est pourquoi les festivités se déroulèrent sur deux jours.

Le 9 octobre 1930, le Président de la République, Gaston Doumergue coupa le ruban.

Le 12 octobre, Mgr Adolphe Duparc, évêque de Quimper et de Léon, bénit l'ouvrage : Ce dimanche après les Vêpres, deux processions avaient quitté les églises du Relech-Kerburon et de Plougastel pour se rejoindre, à 15 h, au milieu du pont. De nombreux participants avaient revêtu des costumes traditionnels. Beaucoup portaient des bannières ou des oriflammes. On le voit sur des photos prises à cette occasion, et qui montrent aussi la marée humaine provoquée par cette manifestation. Certains comptes-rendus ont avancé le chiffre de 40000, et même 50000 personnes. C'est sans doute exagéré. Mais ce qui est sûr, c'est qu'une foule immense avait envahi les 900 m du pont, ainsi que ses abords.

Cinq années sans pont

Le 26 août 1944, les allemands dynamitèrent l'arche côté Brest. De ce fait, le pont allait rester hors service pendant cinq ans. Sa reconstruction ne fut en effet entreprise qu'en avril 1947 et achevée qu'en octobre 1949.

Bien que l'ouvrage ait été conçu un quart de siècle plus tôt, on eût recours aux procédés imaginés en 1923 par Eugène Freyssinet : un cintre en bois, amené par sur place à la pleine mer après avoir utilisé la marée montante comme élévateur afin que le cintre se trouve à la bonne hauteur pour être hissé aux amorces de l'arc.

Pendant cette longue période, il n'y eut pas de bac. Cependant, un bateau à moteur de 7 ou 8 mètres assura quotidiennement des liaisons rapides (5 minutes) entre les deux passages de Kerheron et de Plougastel. De temps à autre, un chaland transportait des voitures.

Élargissement du tablier-route

Le trafic routier ne cessant de s'accroître au fil des ans, l'élargissement du pont fut décidé en 1961. Il s'agissait de faire passer le tablier de 7 à 12 mètres, la chaussée de 6 à 9 mètres, donc de deux à trois voies, et les trottoirs de 1m à 1,5m. Les travaux furent réalisés sans interruption de la circulation mais en ayant recours, au besoin à des sens uniques alternés. Ils durèrent plusieurs années, pour s'achever en 1967. L'esthétique du pont en a souffert. En effet les piles supportant le tablier à l'origine sensiblement plus étroites que les arcs et légèrement pyramidantes, ont été élargies au maximum et élevées jusqu'au tablier-route. Elles ont ainsi perdu leur légèreté initiale.

Autre alourdissement des lignes la pose, en 1992, contre le sommet des arcs, face aux vents dominants, de profilés aérodynamiques, pour ramener à un niveau acceptable les effets des turbulences du sillage du pont Albert Louppe dans lequel se trouve son proche voisin à haubans en construction.

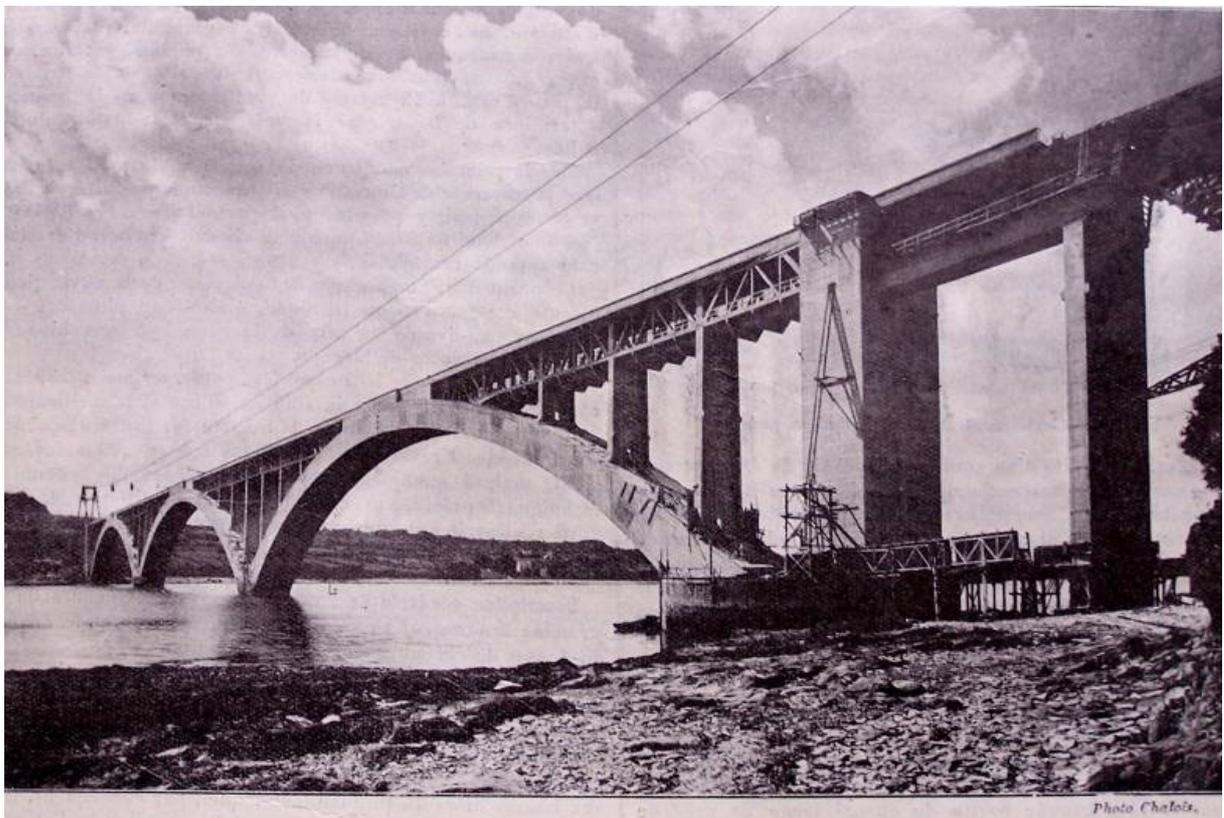
Qui était Albert Louppe?

Issu d'une famille de cultivateurs, Albert Louppe est né le 16-6-1856 à Cuny dans l'Aisne. Après de brillantes études, il est entré à l'Ecole Polytechnique (1875) puis à l'Ecole Nationale des Poudres et Salpêtres d'où il est sorti ingénieur. Il a dirigé successivement la poudrerie du Moulin Blanc, à Brest, et celle de Pont de Buis, près de Quimerc'h. Il les a fait prospérer.

Par ailleurs, durant toute son existence, il a exercé diverses fonctions électives : conseiller municipal à Guipavas (1884-1888) et, à partir de 1888, à Quimerc'h dont il a été maire de 1892 à 1927, député (1914-1919) sénateur (1921-1927) élu conseiller général en 1901 et président de l'assemblée départementale en 1912, année qui suivit celle de son départ en retraite, 1911. C'est pendant cette période qu'il a mené de très énergiques campagnes pour la réfection des routes et des ponts, la construction de sanatoria et sur tout l'achèvement des grands travaux du port de Brest. Une artère de la ville porte d'ailleurs son nom.

Albert Louppe est mort le 5 juillet 1927 à Bazougers, dans le département de la Mayenne « après avoir longtemps milité pour obtenir la construction d'un pont reliant les rives de l'Elorn » (citation relevée dans la Dépêche de Brest du 15 septembre 1927).

.Bernard Fargeot a ensuite fait une présentation technique du pont Albert Louppe



Un peu d'histoire

- Nécessité de remplacer le bac de 1902 devenu insuffisant
- De nombreux projets en BA auxquels plusieurs ingénieurs célèbres (Harel de la Noe, Pigeaud et Considère) s'étaient intéressés

- Ensuite un projet de pont métallique à 3 travées par Arnodin (1913) proposé puis abandonné suite à la guerre
- Ce n'est qu'en 1922 que les études reprisent sous la conduite de l'ingénieur Lefort sur nouvel emplacement retenu en raison de la présence d'une zone très favorable pour recevoir un appui intermédiaire.

Pourquoi choisir ce lieu?

- tracé plus court
- vallée encaissée permettant d'assurer un fort tirant d'air pour l'ouvrage sans exiger de travée mobile (tirant d'air possible 36 mètres sur 150 mètres de portée)
- sondages favorables

Concours lancé en 1923

- Concours gagné par les Entreprises Limousin Procédé Freyssinet
- Projet jugé le meilleur et le moins cher par un jury piloté par Mr Schoendorfler
- Projet fort bien accepté par Albert LOUPPE président du Conseil Général du Finistère

Caractéristiques de l'ouvrage

- Point d'appui intermédiaire imposé
- Fondation de culées sur rocher émergeant
- Portées égales de 186,40 m
- Tirant d'air disponible 42 m

Un des points forts du projet

Incorporation possible de la voie de chemin de fer (voie métrique d'intérêt local) pour un coût supplémentaire 10%.

Les dispositions adoptées améliorent la raideur de la structure.

Autres avantages

- Circulations routière et ferroviaire séparées
- Tablier routier très dégagé
- Esthétique particulièrement soignée : pont d'une grande élégance due à l'intégration du tablier ferroviaire dans l'épaisseur de l'arc.

Des méthodes de construction originales

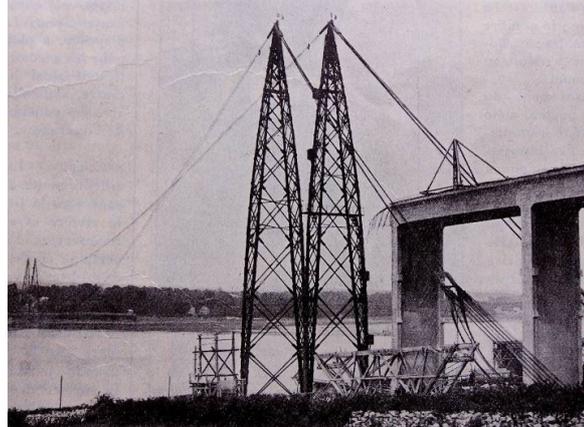
Le transporteur funiculaire

Les exigences :

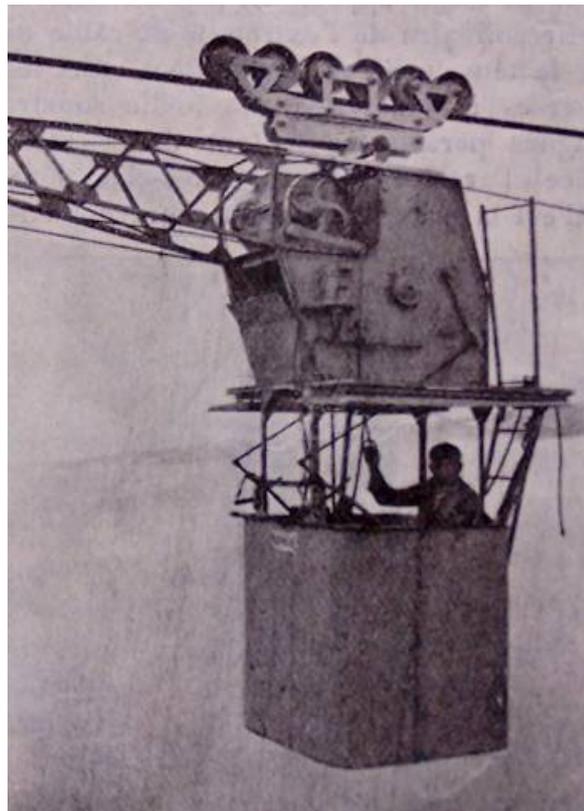
- mettre en œuvre 25000m³ de béton à partir de la rive
- balayer une surface s'étendant d'une rive à l'autre
- atteindre n'importe quelle partie de l'ouvrage
- assurer la mise en place des coffrages

La solution :

- deux transporteurs jumelés de 630 mètres de long
- charges de 2 tonnes chacun.
- vitesse de déplacement 3/m/s (+ de 10km/h)
- pilote dans la cabine



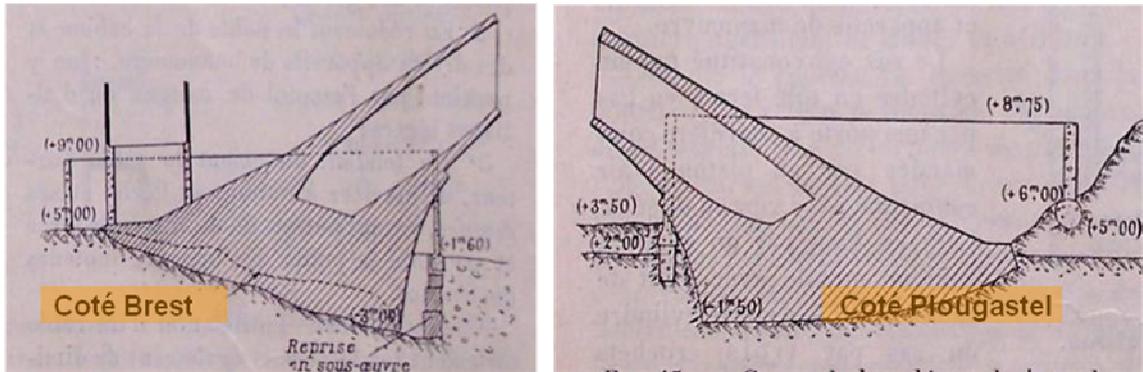
Le transporteur funiculaire (les bigues porteuses en bois cloué)



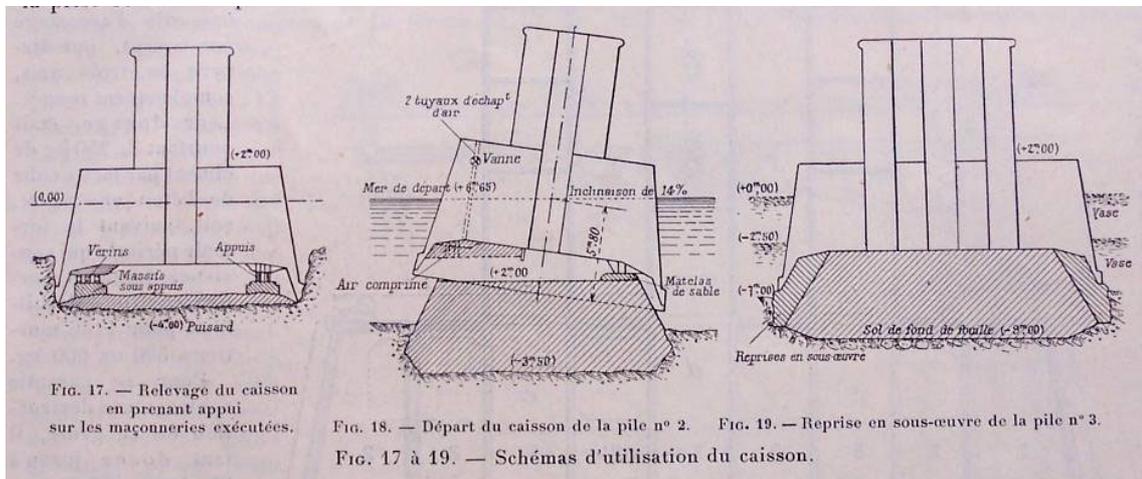
Le transporteur funiculaire (La cabine)

Les fondations

Culées coulées à l'air libre à l'intérieur d'un batardeau



Les piles



Après déplacement du caisson de la pile N° 2 vers la pile N°3, il devient élément de base de la pile N°3 à laquelle il est incorporé.

Le cintre



Construits en encorbellement, maintenus et réglés par des tirants horizontaux

Le cintre : en bois cloué construction à terre

Caractéristiques :

8 arcs indéformables en bois cloué construits sur 13 palées

- épaisseur 2,80 mètres
- Cintre largeur 10 mètres

Mise en place du cintre

- déplacement, par flottaison, assuré par des câbles horizontaux de traction ancrés sur des points fixes
- centre de gravité très bas grâce à la masse de béton d'about
- accrochage en position par des tirants verticaux aux efforts contrôlables par des vérins

Phases de bétonnage



L'arc se décompose en 7 éléments principaux, chaque élément étant lui même coulé en 6 phases.

Décoffrage et Transport du cintre

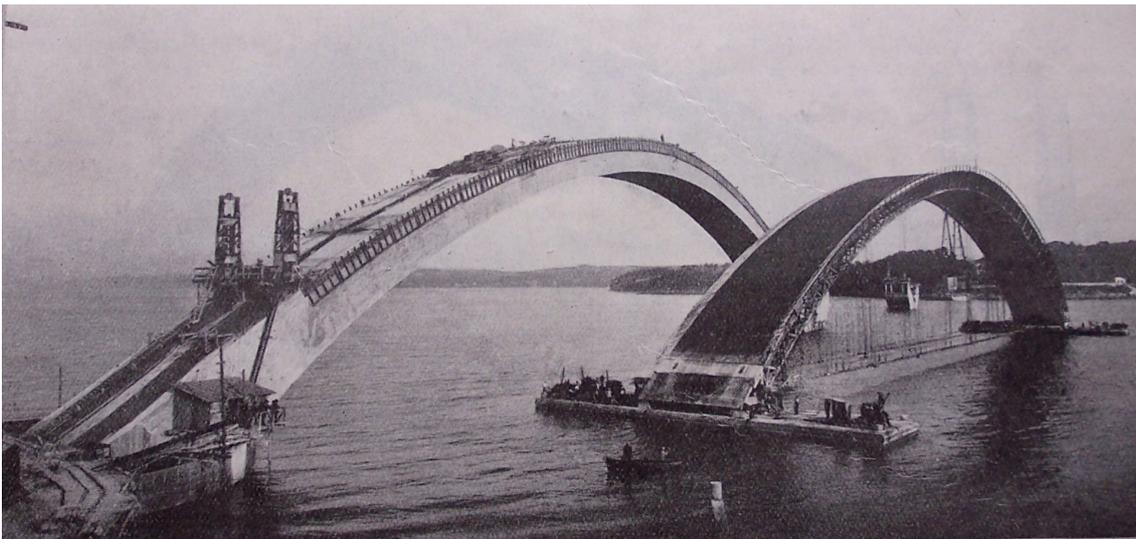
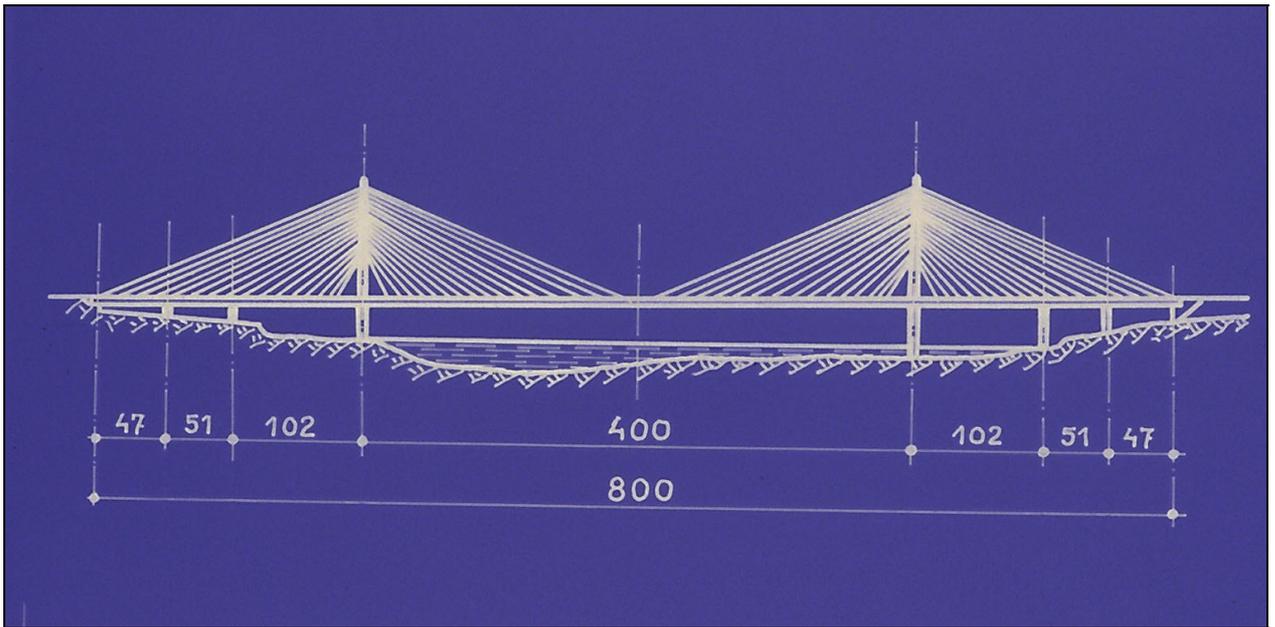
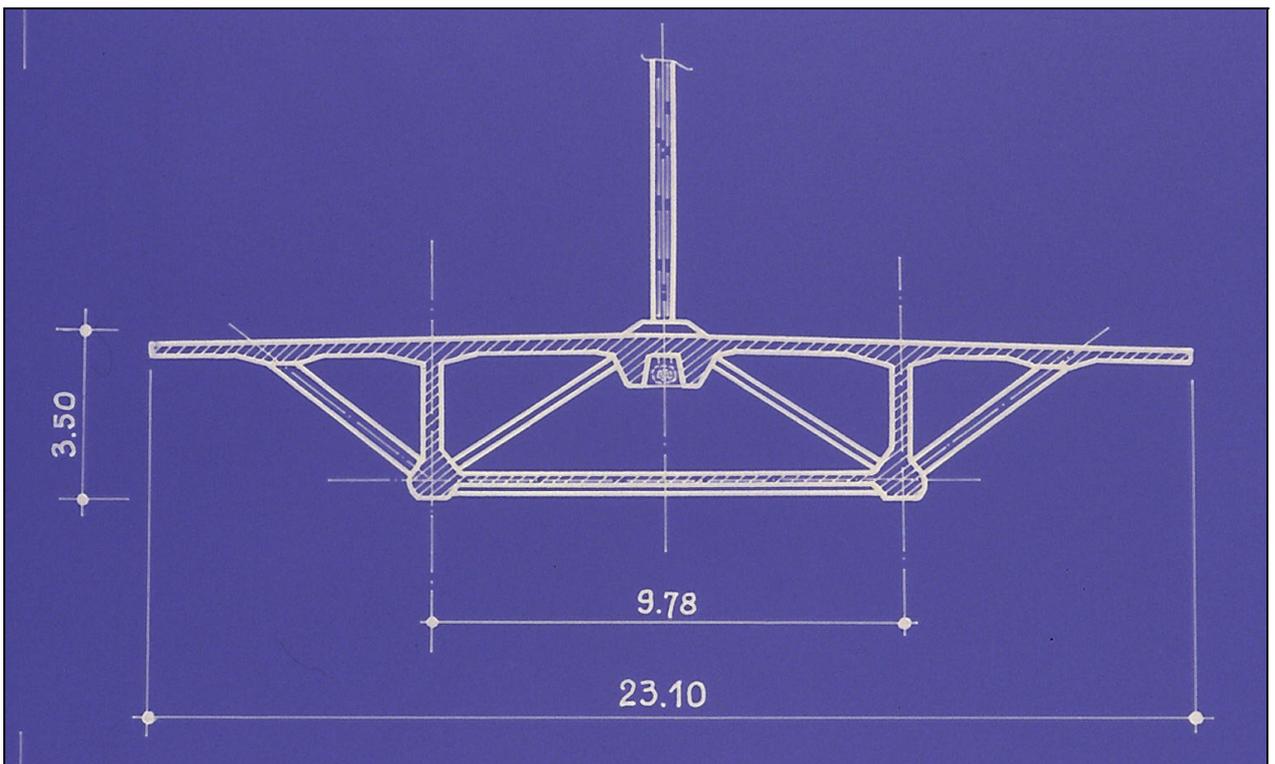


FIG. 37. — Vue prise le 7 août 1928 pendant le déplacement du cintre, après la construction du premier arc ⁽¹⁾.

Enfin, avant la visite, Guillaume Planté (Razel) nous a présenté le pont de l'Iroise.



Coupe longitudinale de l'ouvrage



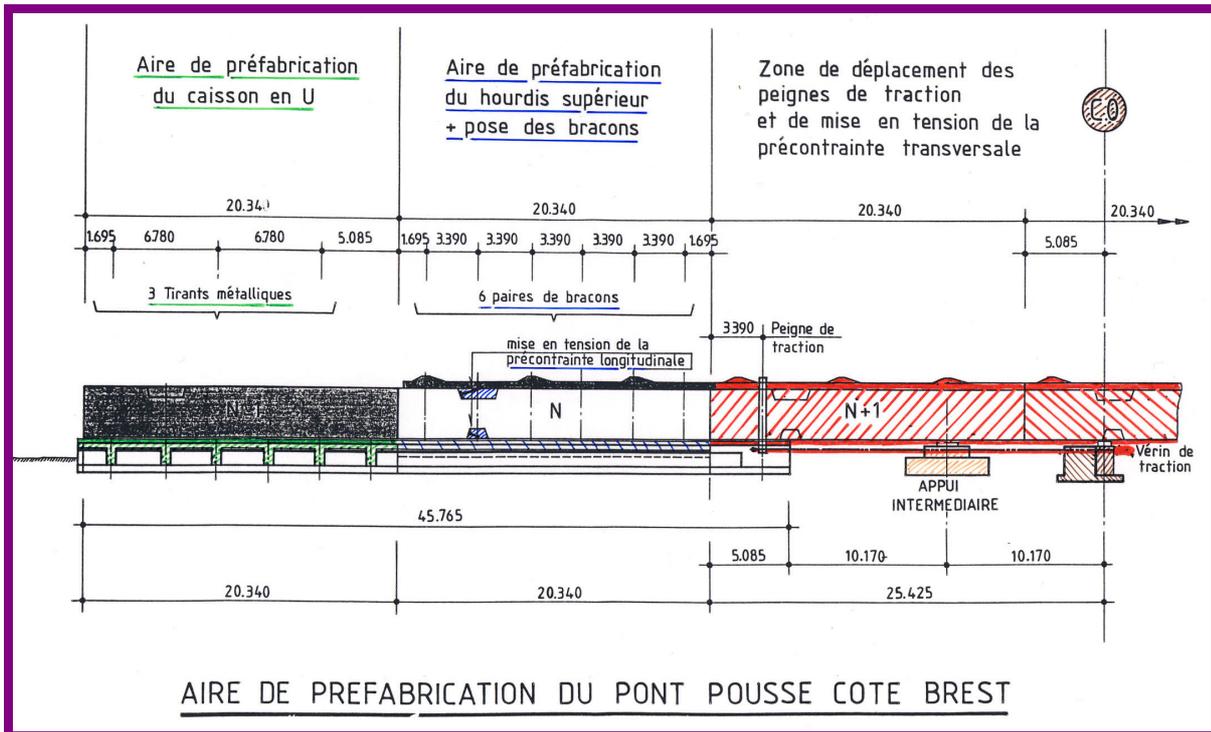
Coupe transversale du tablier

Par rapport au projet de base, cinq modifications et aménagements principaux ont été proposés par RAZEL

1- La méthode de construction proprement dite des parties latérales du tablier,

- au lieu de construire chaque demi ouvrage en encorbellement symétrique à partir des pylônes, comme Brotonne ou le Sunshine Skyway,
- construction des travées de rive par poussage depuis les culées jusqu'aux pylônes, puis construction de la travée centrale en encorbellement, à l'avancement

- Préfabrication par tronçons en arrière de la culée CO des trois travées de rive et de 22 m au-delà de la pile P3 et poussage avec avant bec et palées provisoires



Organisation de l'aire de préfabrication en trois zones



Vue d'ensemble de la construction par poussage des travées de rive coté Brest

... puis construction des 180 m restant de la console de la travée centrale par coulage en place de voussoirs de 6,78 m de longueur, en encorbellement dans un équipage mobile, avec mise en tension des haubans au fur et à mesure de la construction



Ensemble du demi tablier rive droite en cours de construction

Les avantages de cet aménagement de la méthode de construction :

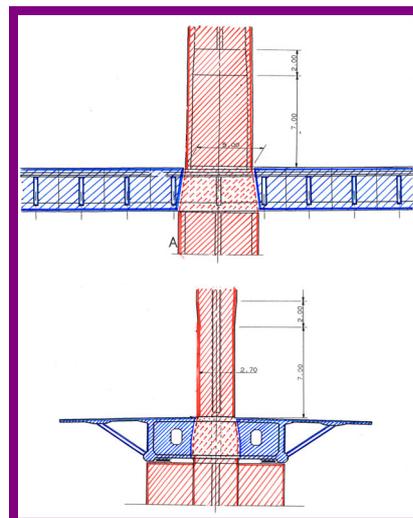
- Pour plus de la moitié du tablier : une méthode simple, économique, et rapide.
- Le tablier poussé est réalisé, en partie, pendant la construction de la pile principale,
- L'accès à l'équipage mobile se fait par le tablier arrière déjà construit,
- Pas de problème de stabilisation des fléaux durant la construction (effets du vent),
- Le voussoir sur pile (entretoise intérieure) et l'amorce du pylône se font pendant le poussage, c'est-à-dire « en temps masqué ».

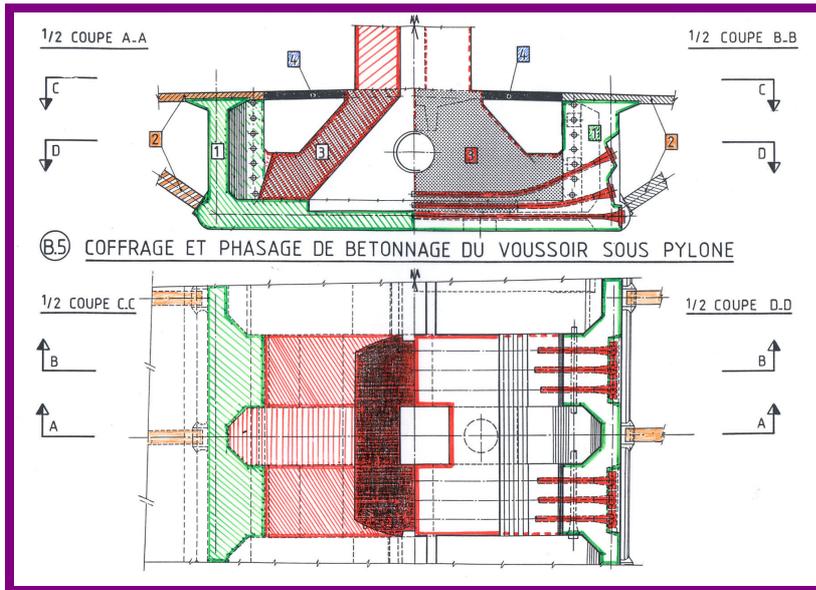
2- La liaison pylône-tablier, et le schéma statique général de l'ouvrage,

- au lieu d'encastrer le pylône dans la pile et de lui faire traverser le tablier (schéma ci-contre),
- encastrement du pylône dans le tablier et appui direct du tablier sur la pile par un encastrement élastique au moyen d'une couronne d'appuis en néoprène fretté

Disposition proposée et réalisée :

Encastrement direct du pylône dans le tablier avec une entretoise double en forme de V renversé assurant la diffusion des efforts sur la couronne rectangulaire des appareils d'appui





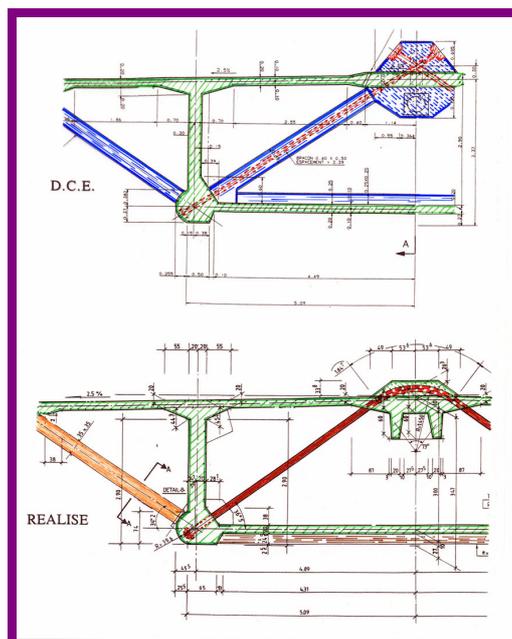
Un détail de ce nœud du tablier : le VSP avec l'entretoise d'encastrement du pylône du pylône dans le tablier



... et une vue de la mise en place des 18 câbles 19 T 15

3- La section transversale du caisson, sur le plan structurel et constructif,

- au lieu des tirants butons intérieurs en béton précontraint tous les 3,39 m, supportant le hourdis supérieur central (type Brotonne)
- réalisation des ces tirants butons en acier placés tous les 6,78 m, au droit des ancrages de haubans, et adjonction d'une poutre longitudinale en béton en forme de π





Préfabrication des cages d'armatures des voussoirs ou des plots incluant le tirant intérieur métallique

Les avantages de cet aménagement de la section transversale

- Meilleur cheminement des efforts tranchants qui sollicitent beaucoup moins les âmes.
- Simplification du ferrailage des bossages d'ancrage des haubans (suppression des câbles 19 T 15).
- Meilleure diffusion des efforts concentrés au droit des ancrages de haubans (poutre en π).
- Grande simplification de l'exécution et meilleure garantie de qualité.
- Allègement de l'intérieur du caisson.

4- Le béton du pylône (B80)

Ciment de Saint Vigor CPA HP PM : 450 kg

Sable 0/4 de Saint Renan : 744 kg

Gravier 4/10 de Kerguillo : 423 kg

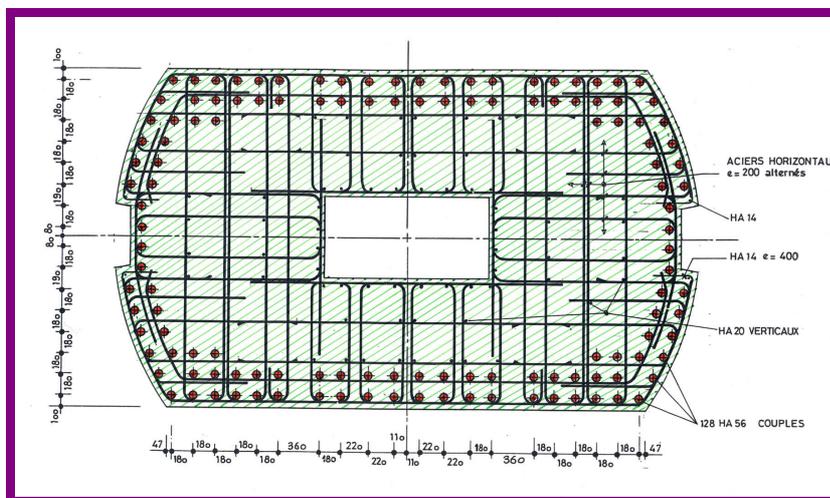
Gravier 10/16 de Kerguillo : 634 kg

Eau : 132 l.

Fumée de silice (8%) : 36 kg

Plastifiant (3,95) : 18 kg

Retardateur de prise : 1,6 kg



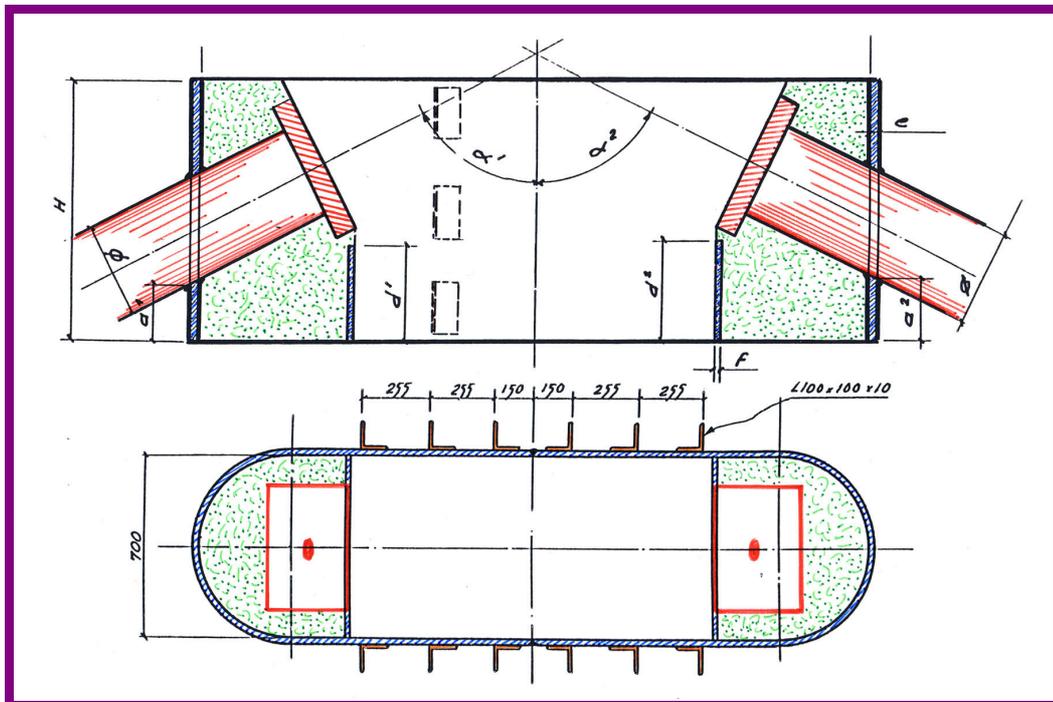
et son ferrailage en barres de HA 56 manchonnées.



Les attentes en HA 56 pour l'amorce du pylône

5- L'ancrage des haubans dans le pylône.

- au lieu de l'ancrage direct dans le béton, tel que prévu au DCE, qui nécessitait une forte précontrainte pour éviter le fendage du pylône
- réalisation de dispositifs spécifiques, métalliques, de forme allongée, équilibrant les composantes horizontales des haubans et ne transmettant au béton du pylône, que les composantes verticales



La mise au point de ces dispositifs d'ancrage des haubans dans les pylônes a nécessité des essais spécifiques symétriques et dissymétriques

Et pour terminer, quelques vues du déroulement du chantier :

- le batardeau pour la construction à sec des semelles des piles principales
- la préfabrication des tronçons et le poussage des travées de rive
- la construction des pylônes à l'aide d'un coffrage auto-grimpant
- la mise en œuvre des haubans



Cadre du batardeau circulaire, en béton, préfabriqué en deux parties pour permettre son démontage et son transfert d'une pile à la suivante



Préfabrication et poussage du U en première phase



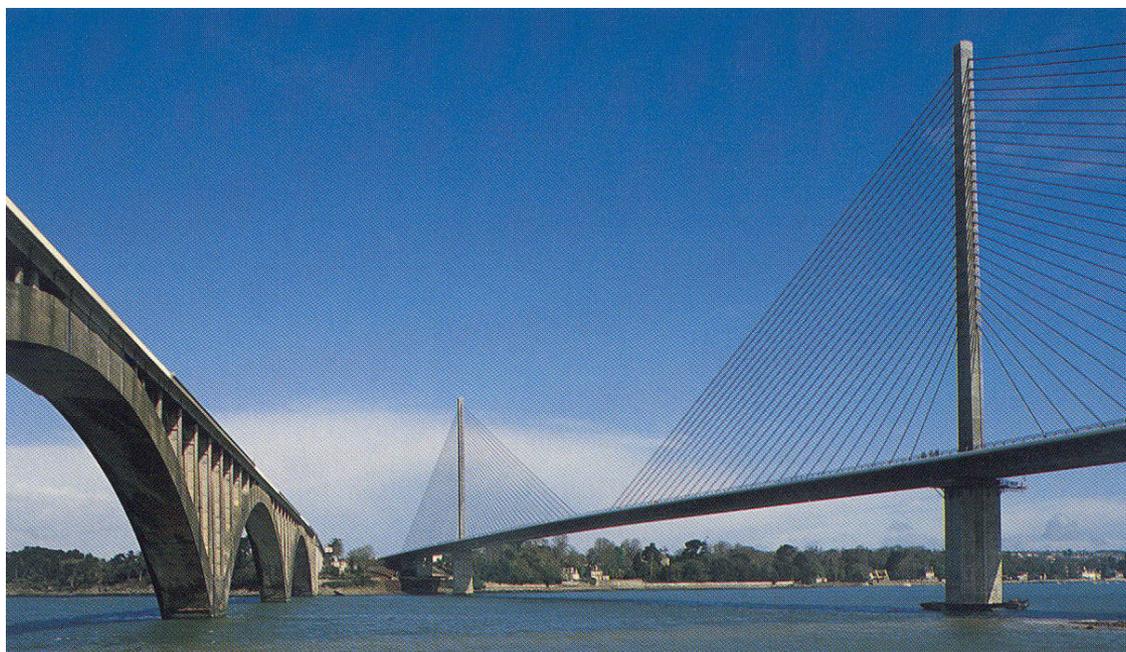
Démarrage de la construction du pylône rive droite en coffrage auto-grimpant



... quelques semaines après, le pylône se termine, alors que les premiers haubans sont déjà tendus



Ici toute la pureté et la finesse du haubannage axial et fin du second fléau en rive gauche de l'Elorn et clavage (avec moins de 9 mm d'écart en altitude entre les deux fléaux)



Les deux ponts sur L'Elorn : Le pont Albert Loupe (pont en arc) et le pont de l'Iroise (pont à haubans)

Après la visite des deux ouvrages, nous avons proposé aux 30 premiers inscrits une visite de la base de la Force Océanique Stratégique (FOST) ou pour les autres une visite des grottes de Morgat.