

6 septembre 2006

Le 6^{ème} franchissement de la Seine à Rouen

L'Association Française de Génie Civil (AFGC) a organisé le 6 septembre à Rouen une première série de conférences consacrées au chantier du 6^{ème} franchissement de la Seine à Rouen.

Rappel du programme

- 8h45 Accueil des participants dans l'Amphithéâtre de l'UPR avec café et viennoiseries
- 9h15 Présentation de la journée et Mot de Bienvenue

9h30 - 13h00 : CONFÉRENCES

9h30 L'Opération du 6^{ème} franchissement par la Maîtrise d'Ouvrage (DDE 76)

10h00 Le Projet de la Maîtrise d'œuvre

- La conception générale *par Michel Moussard*
- L'architecture *par Aymeric Zublena*
- Les études au vent *par Denis Rigault*
- Les mécanismes *par Jean-Pierre Ghilardi*

11h00 Pause café

11h30 Le Projet de l'Entreprise et le chantier

- La présentation générale du projet *par Vincent Renouf*
- La présentation générale des travaux des lots 2 et 3 *par Didier Estievenart*
- La présentation générale des études d'exécution *par Claude Servant*
- Les études de structure *par Pierre Simonin*
- Les méthodes des ouvrages provisoires et des coffrages *par Jean-Yves Souply*
- Les méthodes de construction des socles et gabions *par Thierry Thibaux*
- Les études des bétons des pylônes *par Jean-Claude Ferté*

13h00 Déjeuner à l'Auberge du Grand Turc à Déville

14h45 à 17h30 - VISITE DU CHANTIER

Résumés des conférences

L'OPÉRATION DU 6^{ème} FRANCHISSEMENT (OLIVIER GAVAUD - DDE 76)

Fonctionnalités

- Achever la continuité A13 - A150
- Desserte du port de Rouen et des industries de l'Ouest
- Permettre le plein essor de la transformation des quartiers Ouest de l'agglomération, et le bon fonctionnement de TEOR



Historique

- Inscription au SDAU de 1972
- Dossier de prise de considération 1987
- Etudes préliminaires (tracé) 1995
- Décision du choix du pont levant 1998
- Avant-projet sommaire approuvé 1999
- Déclaration d'utilité publique le 21 Septembre 2001

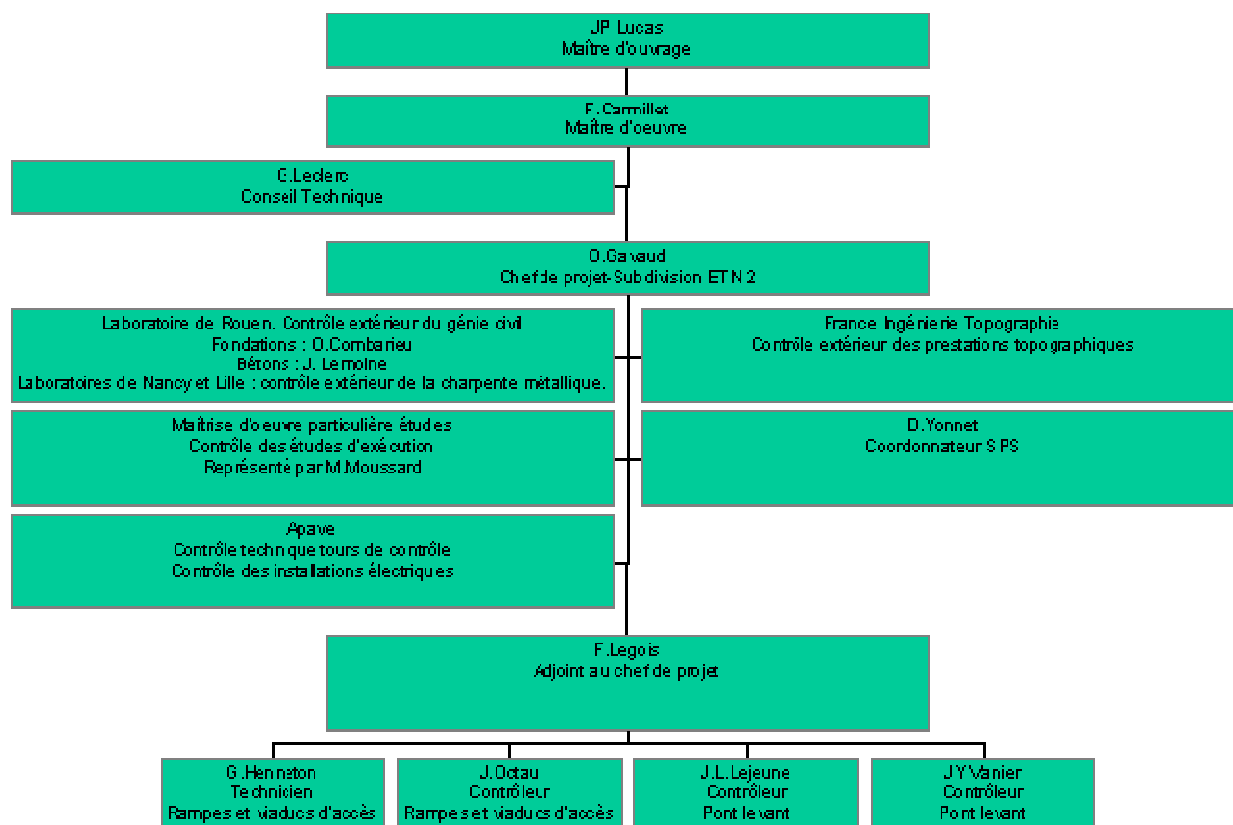
Pourquoi un pont levant ?

- Modes de franchissement possibles : pont fixe, tunnel ou pont mobile
- Le contexte
 - terminal des navires de croisière
 - les grandes manifestations de voiliers : l'Armada.



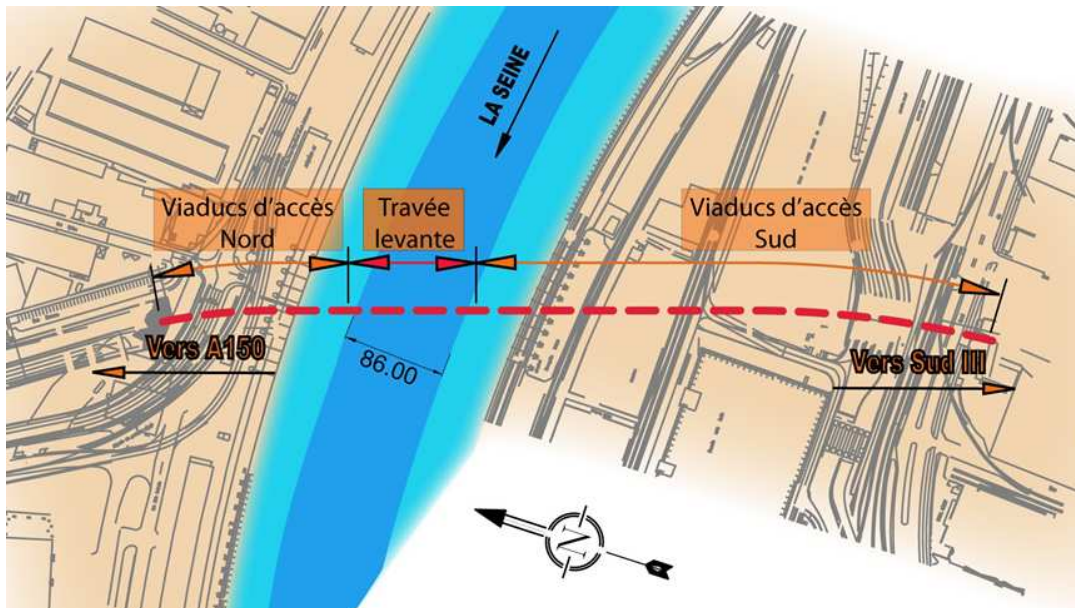
Exploitation du pont levant

- Environ 20 levages par an.
- Déviation de la circulation sur l'itinéraire actuel à chaque levage.
- Durée de la déviation : environ 1h30.
- Information des usagers par les médias et des panneaux à message variables.



LA CONCEPTION GÉNÉRALE
MICHEL MOUSSARD (ARCADIS)





Programme

Pont levant (ni tournant ni basculant)

Ouverture droite : 86 mètres

Gabarit : fluvial : 7 mètres, maritime : 55 mètres

Deux travées indépendantes

Exemples de ponts levants



Pont du Martrou sur la Charente (travée : 92.6 m)



Pont de Recouvrance (travée : 87.5 m)



Kattwyckbrücke à Hambourg (travée : 106 m)



Burlington - Bristol - Pennsylvania (travée de 164 m)



Arthur Kill Bridge - New-Jersey (travée de 170 m)



Triborough



Park Avenue (160 m)

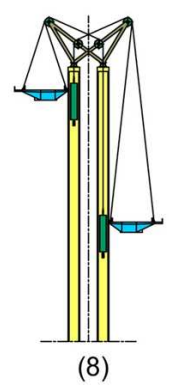
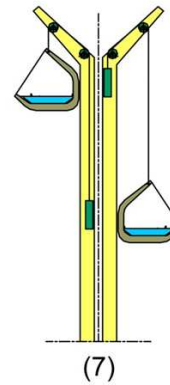
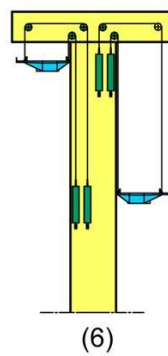
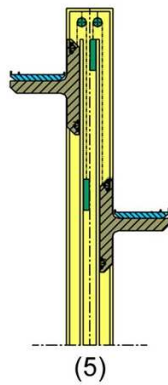
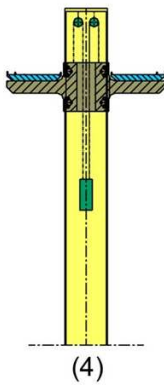
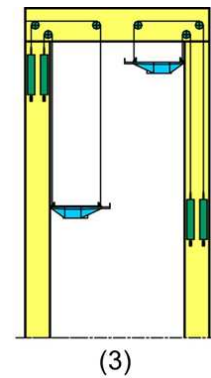
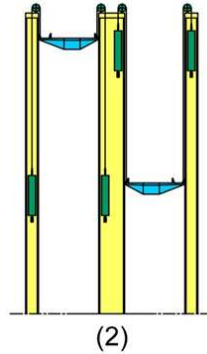
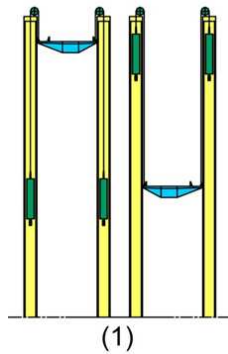


Marine Parkway (164 m)



Broadway

Conception des tours



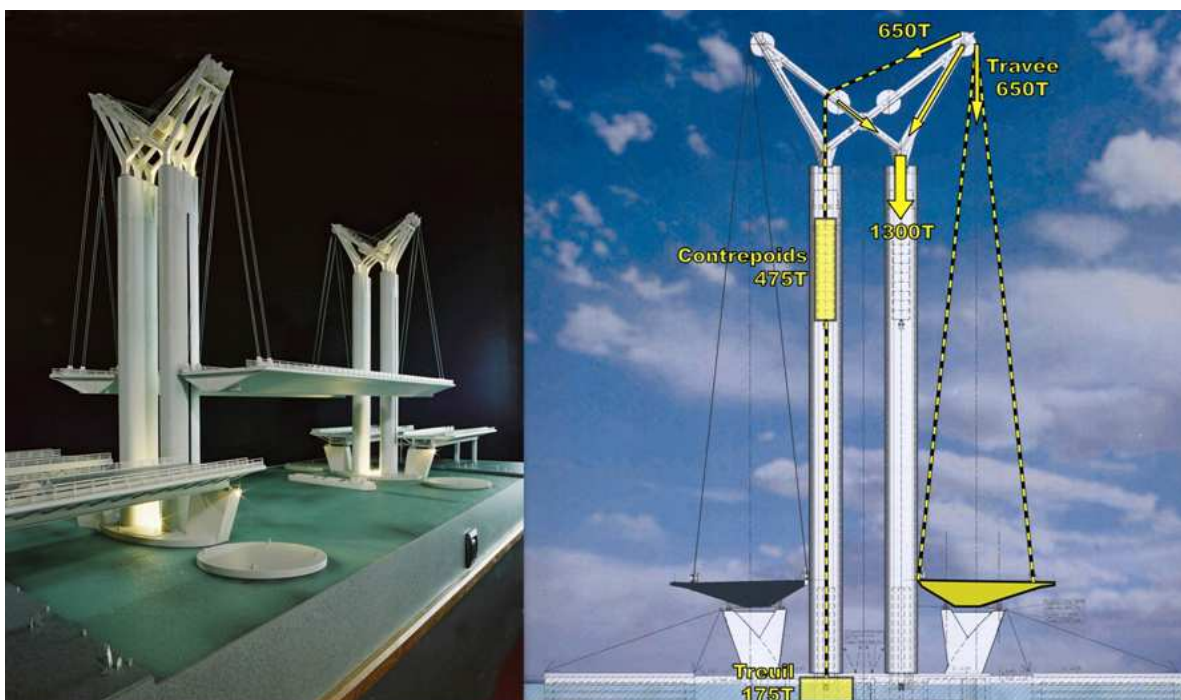
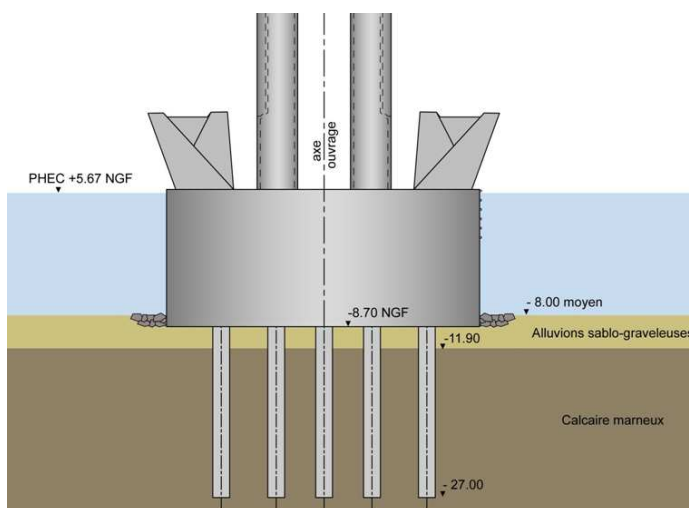
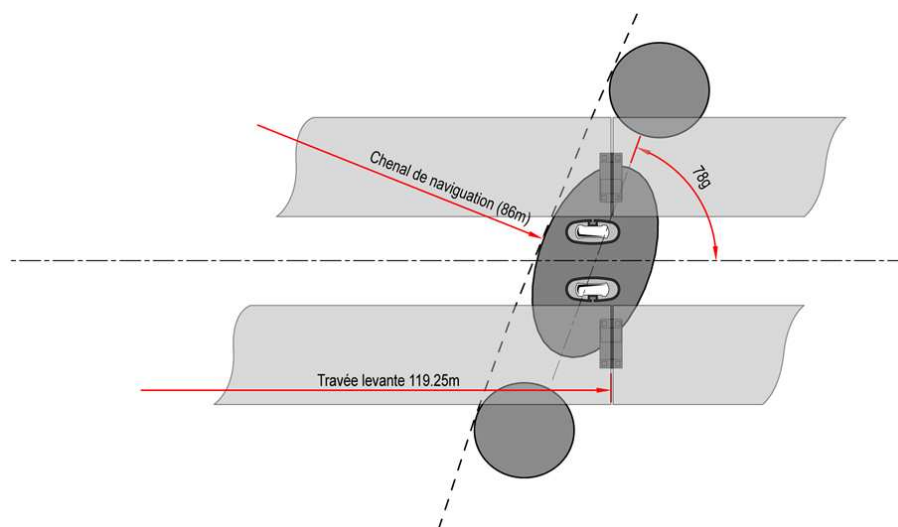


Photo : Eric Bienvenu
Maquette : BEM (Rouen)

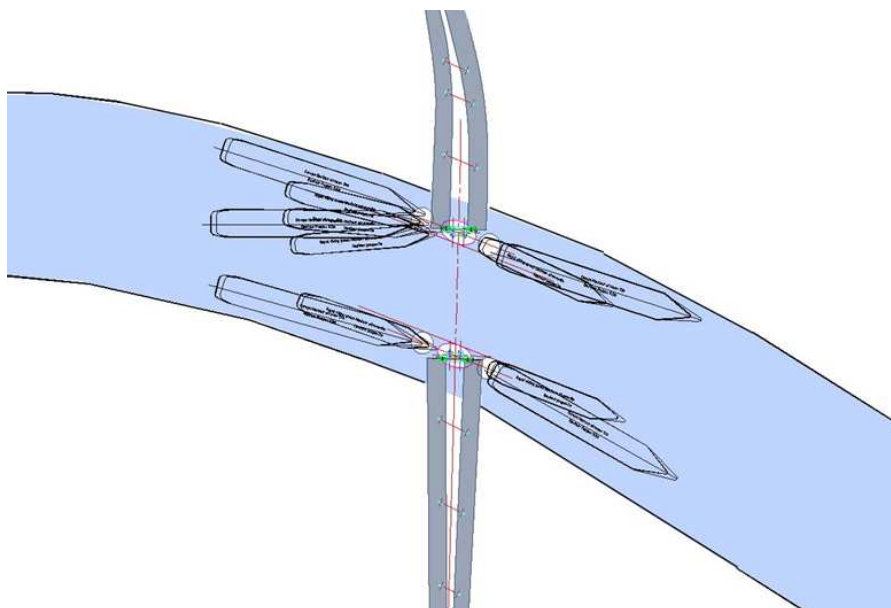
Papillons



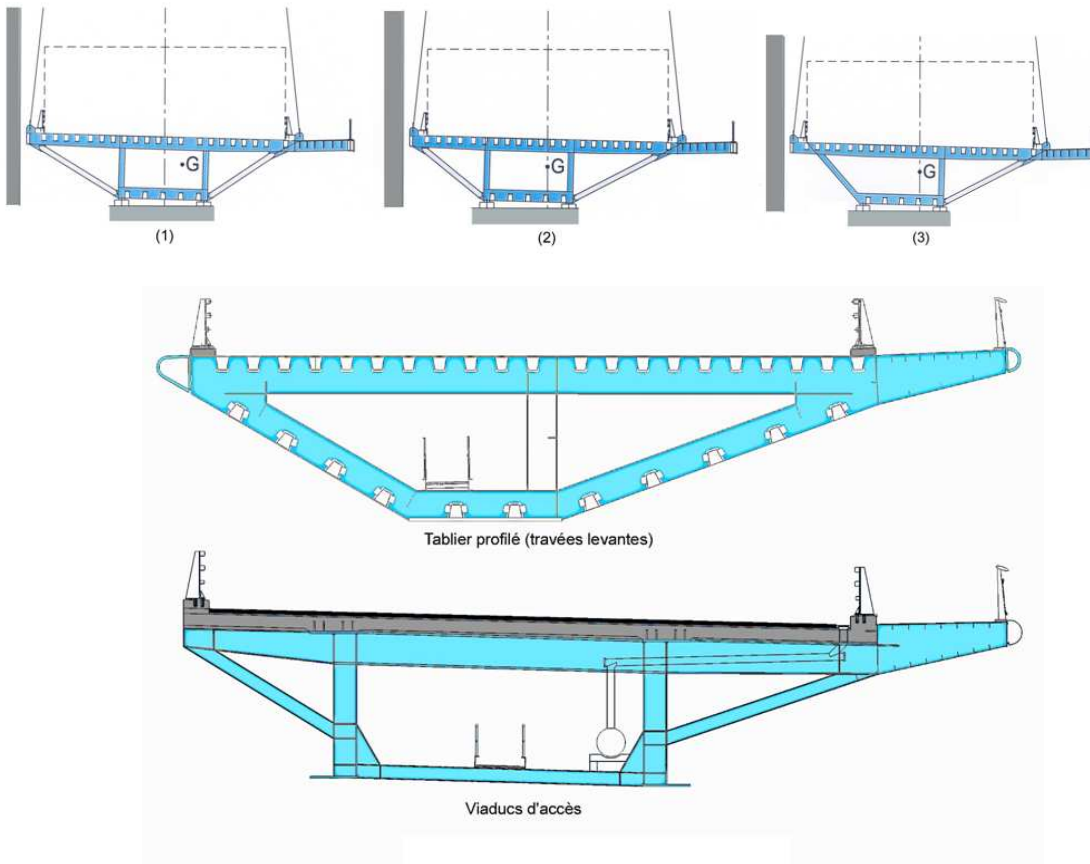
Photo : Eric Bienvenu
Maquette : BEM (Rouen)



Protections contre les chocs de bateaux



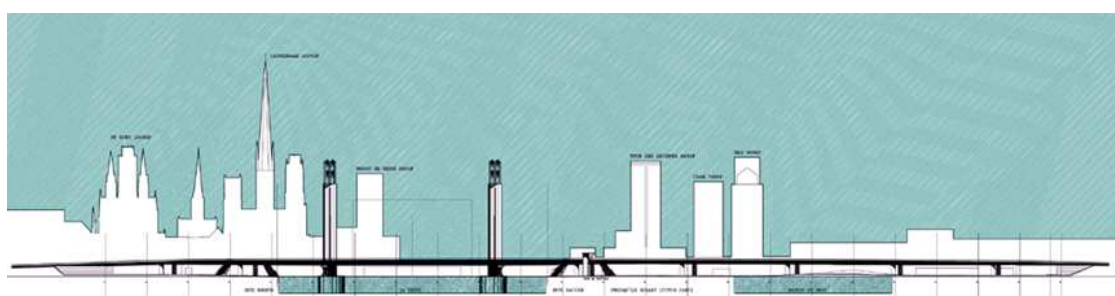
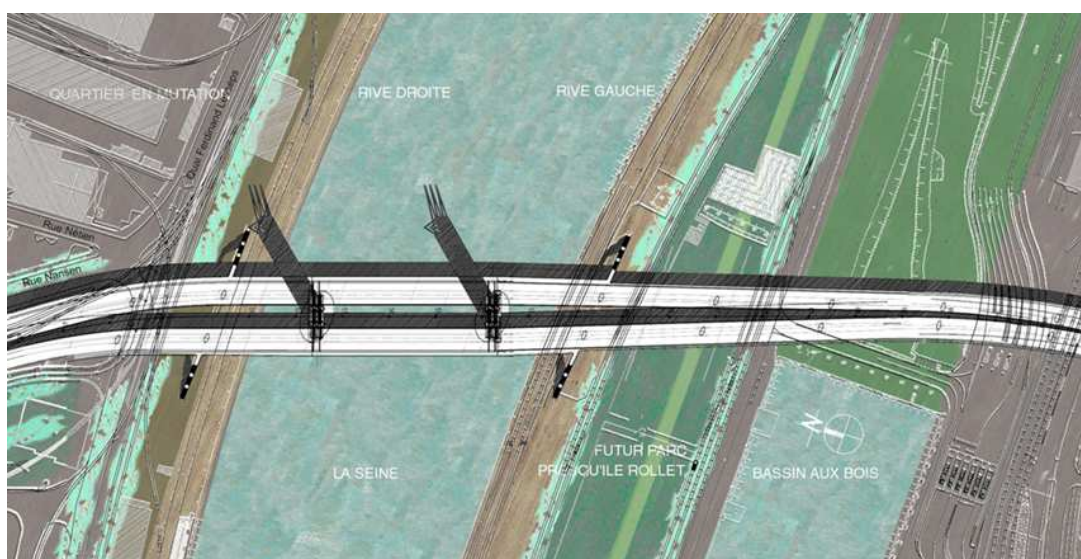
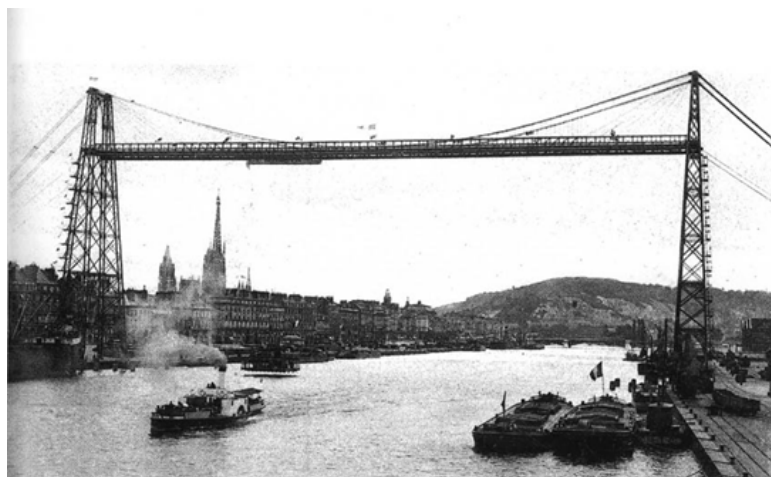
Conception des tabliers



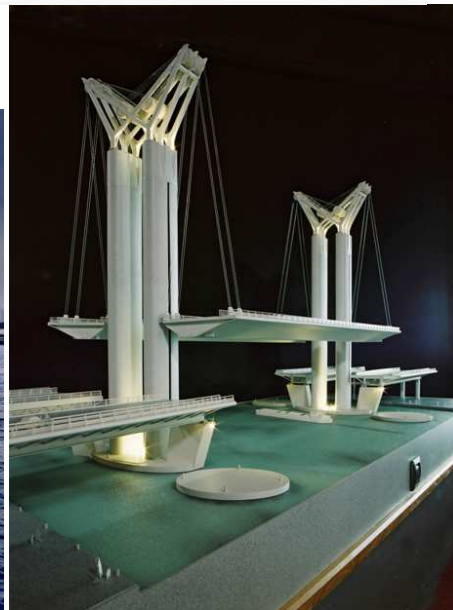
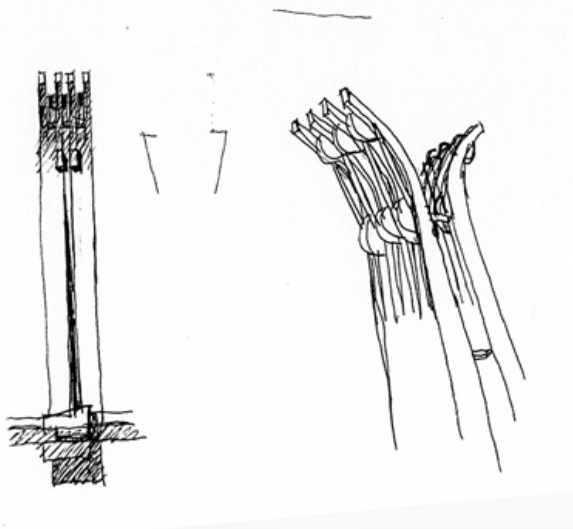
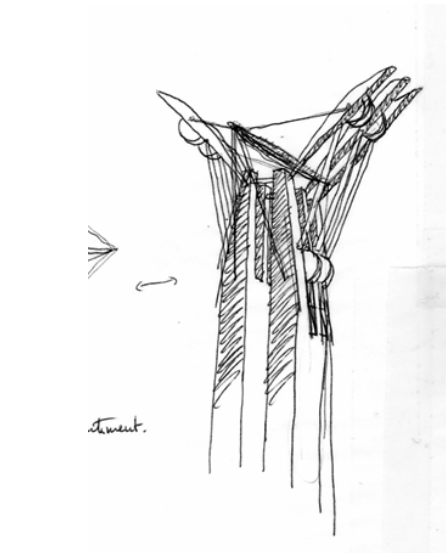
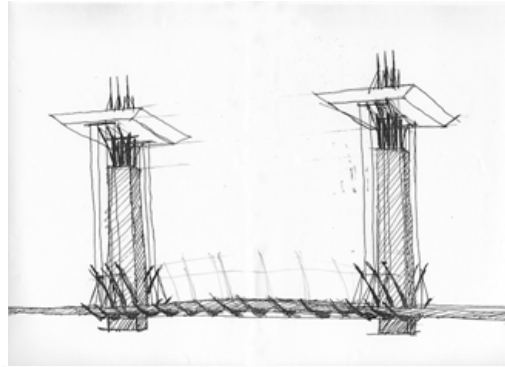
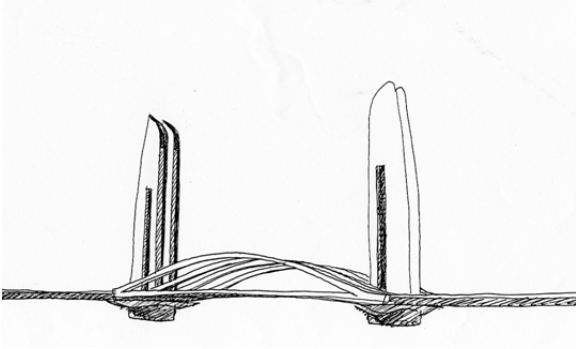
L'ARCHITECTURE AYMERIC ZUBLENA



Le site du futur franchissement



Maquettes du franchissement



LES ÉTUDES AU VENT DENIS RIGAUT (ARCADIS)

Problématique

- Chaque tablier est en permanence relié à un jeu de contrepoids
- Les réactions d'appui sont très faibles
- Les effets du vent, en général négligeables de ce point de vue, peuvent mettre en jeu la stabilité statique de l'ouvrage, ils doivent donc être évalués avec soin.

Contenu des Etudes au Vent

- Etudes Climatologiques → Définition du vent sur le site de l'ouvrage
- Essais en Soufflerie → Détermination des propriétés aérodynamiques de la section du tablier puis, des propriétés aéroélastiques du tablier complet
- Calculs au vent → Evaluation de la réponse du tablier (efforts et déplacements)

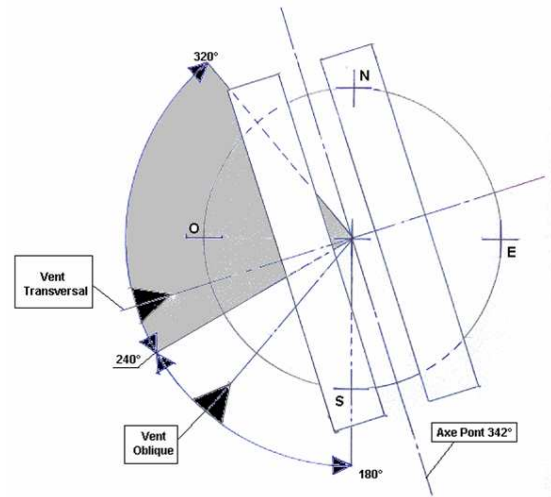
Calendrier des études

- Tabliers Coefficients Stationnaires (Janvier - Février 2001)
- Etude Climatologique - Mesures sur site (Mars - Octobre 2001)
- Modélisation - Modes propres (Mars - Juillet 2001)
- Essai aéroélastique tablier complet (Octobre - Novembre 2001)
- Premier Rapport Climatologie (Janvier 2002)
- Fin des mesures sur site et Rapport final (Mars 2002)
- Calculs définitifs en vent turbulent (fin Avril 2002)

Apports de l'étude Climatologique

- Mise en évidence d'un vent plus faible que celui attendu (le site bénéficie d'un effet de protection)
- Mise en évidence de deux directions de vent avec des caractéristiques distinctes (vitesse, turbulence).

	U_{21}	Iu_{21}
Dir. ↓	$m.s^{-1}$	
240-320	24	0.19
180-240	21	0.23

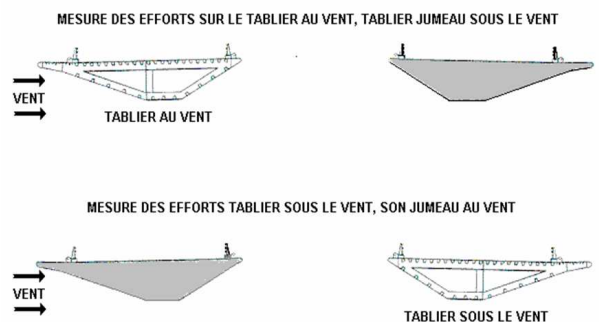


Orientation du pont et Zones de vent

Etudes en soufflerie

Essais sur maquette rigide

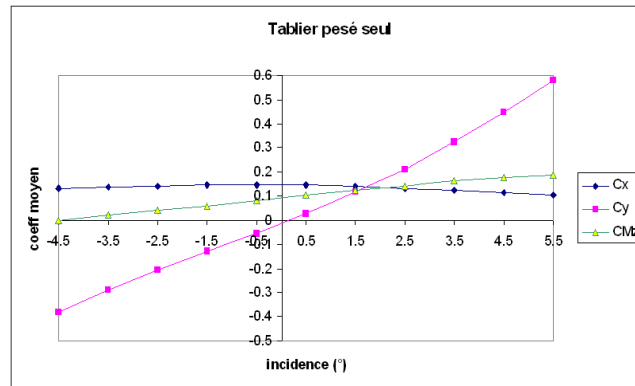
- Validation du choix de section
- Fourniture des premiers éléments utiles pour décrire le comportement de l'ouvrage
- Analyse de l'incidence de la présence d'un tablier sur son jumeau en fonction de la direction du vent
- quantifier les efforts appliqués au tablier isolé selon la direction du vent (possibilité de manœuvre séparée de chaque tablier)
- Analyser les effets d'un décalage de hauteur entre les deux tabliers pendant la manœuvre de levage.



Montage permettant la pesée d'une seule maquette, l'autre servant de "masque"

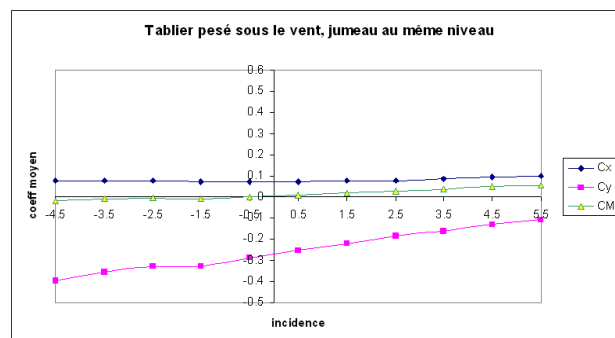
Le Sixième franchissement de la Seine à Rouen

Tablier Pesé seul au vent



Le Sixième franchissement de la Seine à Rouen

Tablier sous le vent, jumeau à l'aval



Commentaires

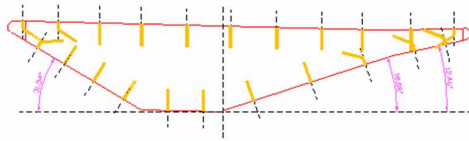
- Si la présence du jumeau est quasiment sans effet sur le tablier au vent, il en est tout autrement pour le tablier sous le vent.
- En présence de son jumeau, le tablier sous le vent, présente une nette réduction de sa traînée (Cx passe de 0.215 à 0.0074) mettant en évidence un effet de masque favorable.
- Le tablier isolé présente une ondulation du coefficient de portance avec changement de signe de sa dérivée par rapport à l'incidence pouvant laisser redouter un risque éventuel de galop de flexion et justifiant de fait une analyse du comportement aéroélastique de la section.

Essais sur maquette complète

- La maquette complète est constituée des deux tabliers, des tours de levage et de l'amorce des tabliers d'accès aux travées levantes.
- Les deux tabliers de pont représentés sur la maquette ont des fonctions complémentaires :
 - Le premier tablier rigide est équipé de prises pariétales de pressions, pour la mesure des efforts engendrés par le vent.
 - Le deuxième est aéroélastique, et permet la mesure de la réponse sous forme de déplacements ou d'accéléérations.



TABLIER RIGIDE AVEC PRISES DE PRESSIONS
(INTEGRATION DES EFFORTS)



Maquette avec prises de pression ►

Valider les résultats des essais stationnaires (Portance et Moment principalement)
Conforter les résultats fournis par les calculs numériques (réactions d'appuis).

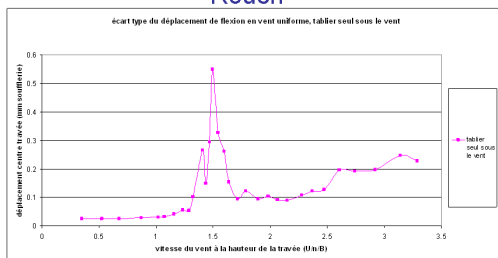
Maquette aéroélastique ►

Validation des résultats du calcul numérique en terme de déplacements.

Mise en évidence de résultats inaccessibles par le calcul :

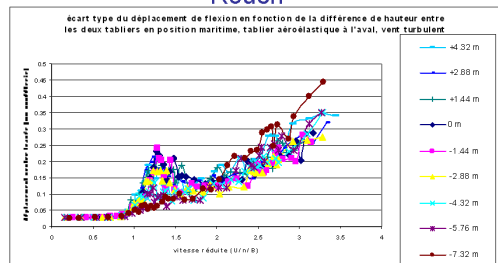
- Sensibilité aux échappements tourbillonnaires (en vent uniforme)
- Excitation du tablier sous le vent par la turbulence de sillage
- Mesure du coefficient instationnaire $H1^*$ caractérisant l'amortissement aérodynamique en flexion

Le Sixième franchissement de la Seine à Rouen



Tablier isolé, levé, orienté « sous le vent », vent uniforme

Le Sixième franchissement de la Seine à Rouen



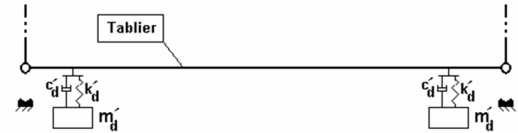
Evolution de l'écart type du déplacement de flexion avec la vitesse du vent turbulent pour plusieurs écarts d'altitude entre les tabliers, tablier aéroélastique sous le vent.

Résultats utiles des essais

Tablier Isolé sous le vent (phase levage)

- Les mesures sur maquettes mettent en évidence un déplacement significatif du tablier isolé sous le vent pour une vitesse réduite U/nB égale à 1.5.

- Avec $B = 18.3$ m et $n = 0.404$ Hz (Cf analyse modale), il en résulte une vitesse critique de 11 m/s (39.6 km/h) associé avec un déplacement dynamique maximal de l'ordre de 3 fois l'écart type (± 40 mm) soit ± 120 mm.
- Cette amplitude justifie la mise en oeuvre d'amortisseurs dynamiquement accordés pour atténuer les déplacements et les efforts associés sur la câblerie.



$$\text{ici } c_d' = c_d / 2 \quad k_d' = k_d / 2 \quad m_d' = m_d / 2$$

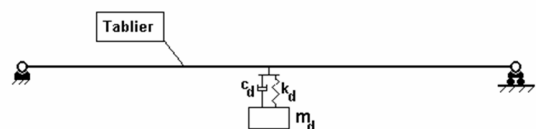
Masse ajoutée $m_d = 15$ t

Fréquence ADA $f_d = 0.426$ Hz

Amortissement Critique ADA $\xi_d = .066$ → 35 mm mvt ADA
→ 6 mm mvt Tablier

Tablier en appui dans la turbulence de sillage

- Les essais mettent en évidence un phénomène d'excitation par turbulence de sillage pour une valeur U/nB proche de 1.05.
- Dans le cas d'un tablier chargé (abaissment de la fréquence) en phase d'exploitation, la fréquence propre passe aux environs de 0.65 Hz, associée de fait à une vitesse critique de 12.35 m/s.
- Cette vitesse de vent pouvant se produire 6 jours par an constitue un événement non acceptable eu égard à la fréquentation attendue de l'ouvrage (phénomène d'inconfort). De fait, on dispose un deuxième amortisseur dynamiquement accordé décrit à la figure suivante.



Propriétés ADA
 $m_d = 15$ t
 $f_d = 0.67$ Hz
 $\xi_d = .088$

Efficacité attendue de l'ADA : mouvement Tablier < 5mm
mouvement ADA < 20mm

Les Calculs au vent

Ils débutent par l'analyse modale de l'ouvrage (utile pour les essais en soufflerie)

Ils doivent rendre compte, comme les essais, des différentes situations associées aux contraintes du projet:

- Indépendance des tabliers
- Directions de vent variables
- Évolution du schéma statique et des modes propres de l'ouvrage (phase exploitation/ phase levage).



RESULTATS DE L'ANALYSE MODALE

	Vertical	Transversal	Torsion
Tablier sur appuis	1.396 s .716 Hz (*)	.524 s 1.91 Hz	.298 s 3.36 Hz
Tablier en début de levage	2.476 s 0.404 Hz	.531 s 1.88 Hz	2.0103 s 0.497 Hz
Tablier en fin de levage	2.186 s .457 Hz	2.571s (**) 0.389 Hz	1.761 s .568 Hz

(*) modifiée par le poids des véhicules : $0.65 < n_f < 0.72$

(**) Avec les tours

Le Sixième franchissement de la Seine à Rouen

Comparaison Essais / Calculs	ESSAIS	CALCULS E.F.
Tablier au vent sur appuis. Déplacement vertical	±43.2 mm	±70.5 mm
Tablier sous le vent sur appuis. Déplacement vertical	±38.0 mm	±70.7 mm
Réaction mini sur appuis (soulèvement)	-25.0 t	-45.8 t
Réaction maxi sur appuis (soulèvement)	21.5 t	42.5 t

LES MÉCANISMES JEAN-PIERRE GHILARDI (EURODIM)



Photo : Eric Bienvenu
Maquette : BEM (Rouen)

LA PRESENTATION GENERALE DU PROJET VINCENT RENOUF (QUILLE)



Les acteurs : le groupement d'Entreprises

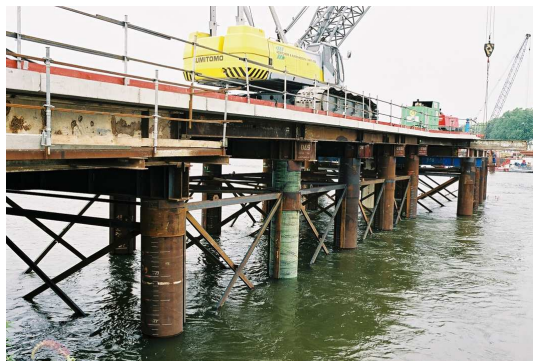
QUILLE (mandataire)
EIFFAGE TP
EIFFEL
VICTOR BUYCK

Le montant du marché

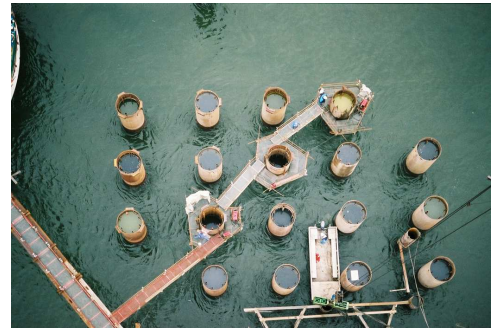
Montant hors TVA : 49 418 550 €
Décomposition en lots (hors TVA)
Lot 1 Génie civil : 22 331 918 €
Groupement Quille / Eiffage TP
Lot 2 Charpente métallique : 9 650 164 €
Groupement Eiffel / Victor Buyck
Lot 3 Mécanismes : 17 436 468 €
Groupement Eiffel / Victor Buyck

Les délais

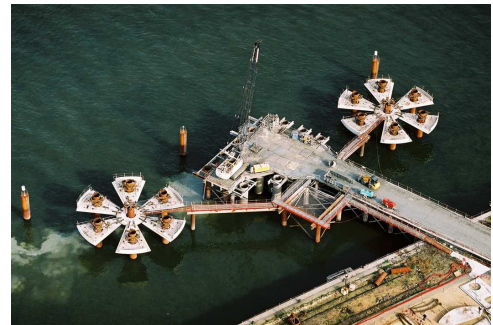
Délai global :
à compter du 01/03/2004 : 33 mois (01/12/2006)
Délais partiels :
DP1 - Les piles Sud : 19 mois (01/10/2005)
DP2 - Les piles Nord : 21 mois (01/12/2005)
DP3 - Les tours d'accès : 24 mois (01/03/2006)
DP4 - Ouvrage achevé : 30 mois (01/09/2006)
DP5 - Livraison après essais : 33 mois



*Les installations de chantier et les ouvrages d'accès de
mai à septembre 2004*



Les pieux : de août à décembre 2004



- Les gabions de protections :
- de septembre 2004 à juillet 2005



*Les extérieurs des socles :
de novembre 2004 à mai 2005*



*Les intérieurs des socles :
de mai 2005 à septembre 2005*

Les pylônes : de septembre 2005 à janvier 2006
L'installation des mécanismes : de octobre 2005 à août 2006
La pose des papillons et des travées : juin 2006