

Les ponts Extradossés

Présentation du bulletin 17 de la collection « Structural Engineering Documents » consacré aux Ponts Extradossés

Serge Montens (Ex Systra)

Thierry Duclos (VINCI Construction Grands Projets)

Partie n° 2 – chapitre 5 à 8

Chapitre consacré à une technologie en cours de définition

Qui s'appuie :

- Sur l'acquis de la technologie mise en place pour les ponts haubanés
- Mais aussi sur la technologie des câbles de précontrainte extérieure

Les raisons:

- La durabilité
- L'étanchéité
- Le coût

Les enjeux:

- L'économie
- La maintenance

Les documents de référence:

- SETRA—CIP Stay Cable Recommendations, 2002.8
- PTI Recommendations 6th edition, 2012.10
- fib Bulletin 89, 2019 (supersedes fib Bulletin 30, 2005).50
- JPCEA 2000 Japanese Recommendations: Specifications for Design and Construction of Cable-stayed Bridges and Extradosed Bridges.

Le plan du chapitre

5 Technology of Extradosed Cables

- 5.1 Foreword
- 5.2 State of Technology Through Lessons Learned on Projects
 - 5.2.1 Extradosed Bridges with Stay Cables Technology
 - 5.2.2 Extradosed Bridges with External Prestressing Technology
- 5.3 Durability
 - 5.3.1 Design Life and Maintenance
 - 5.3.2 Protection
 - 5.3.3 Fire
 - 5.3.4 Fatigue
 - 5.3.5 Dynamics
 - 5.3.6 Tolerances
- 5.4 System Installation
- 5.5 Anchorages
- 5.6 Anchorage Layouts at the Pylon
 - 5.6.1 Classical Cable stay Anchorages (Type A and B)
 - 5.6.2 Steel Tension Elements (Type C)
 - 5.6.3 Saddle as Anchorage in Pylon (Type D)
 - 5.6.4 An Alternate Layout Between C & D
 - 5.6.5 Choice of a Saddle
 - 5.6.6 Friction
 - 5.6.7 Saddle Fatigue
 - 5.6.8 Current Developments
- 5.7 Conclusion

Situation actuelle:

2 axes de conception

-utilisation de la technologie des haubans => durabilité mais coûteux

=> essentiellement utilisée dans les ouvrages de travées supérieurs à 100m

-utilisation de la technologie de la précontrainte extérieure (moins coûteuse mais présentant quelques risques au niveau étanchéité)

- injection à la cire

- protection au coulis de ciment

=> essentiellement sur les ouvrages de taille modérée, travée inférieure à 100m

Réfléchir à une conception durable

- Offrir une durée de vie suffisante – limiter la maintenance (15ans?)
- Protéger contre la corrosion
- Protéger contre le feu
- Adapter la conception à la fatigue
 - Les ouvrages extradossés en général moins sollicités car $\Delta\sigma$ provenant des surcharges est moins important que dans un pont haubané – impact favorable de la rigidité du tablier
- Être attentif à d'éventuelles sollicitations dynamiques pouvant influencer sur la durabilité: convoi, vent
- Gérer les tolérances d'exécution

Ancrages des câbles:

2 types sont utilisés: ancrage pour hauban et ancrage pour la précontrainte extérieure

- Pour ce dernier, une limite de fatigue à 80MPa est en général imposée, de plus une plus grande précision de pose est nécessaire pour limiter les effets secondaires de désalignement, d'angle parasite etc....
Se pose aussi le problème du remplacement de torons ou de câbles qui n'est pas aussi bien intégré que dans l'ancrage des haubans.

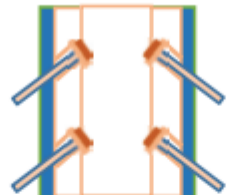
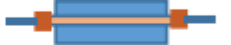
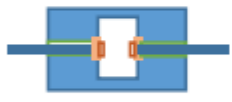
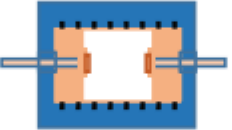
- L'ancrage de hauban est quant à lui conçu pour apporter une grande partie des solutions aux problèmes évoqués précédemment, de plus un réglage précis de la tension de chaque toron est possible.

Transition au niveau du pylône

Césure ou non: continuité du câble

4 types de transition ont été répertoriées

Transition au niveau du pylône

TYPE	A	B	C	D
cross section of pylon head	Concrete: 		- Laminated steel elements  - Cable element  - Anchorage 	
Elevation			  	
Plane view				
Comments	Cables anchored inside pylon concrete	Cables anchored inside composite element or in pylon head steel	Cable anchored to a cast-in steel element	Continuous cables running through saddle in concrete pylon

Type B

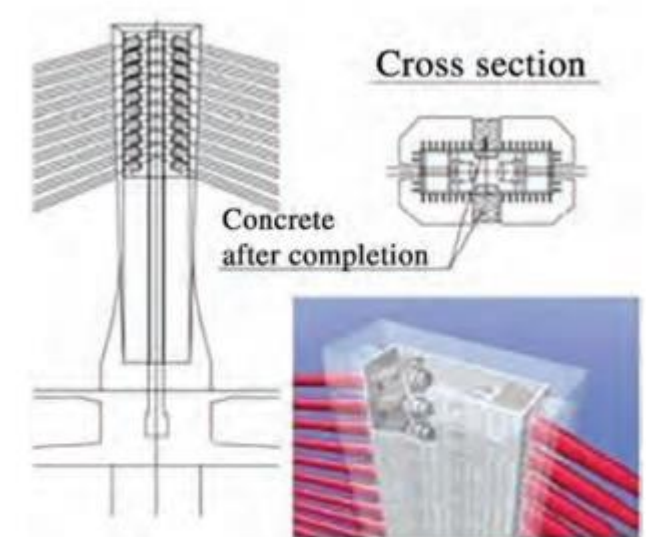
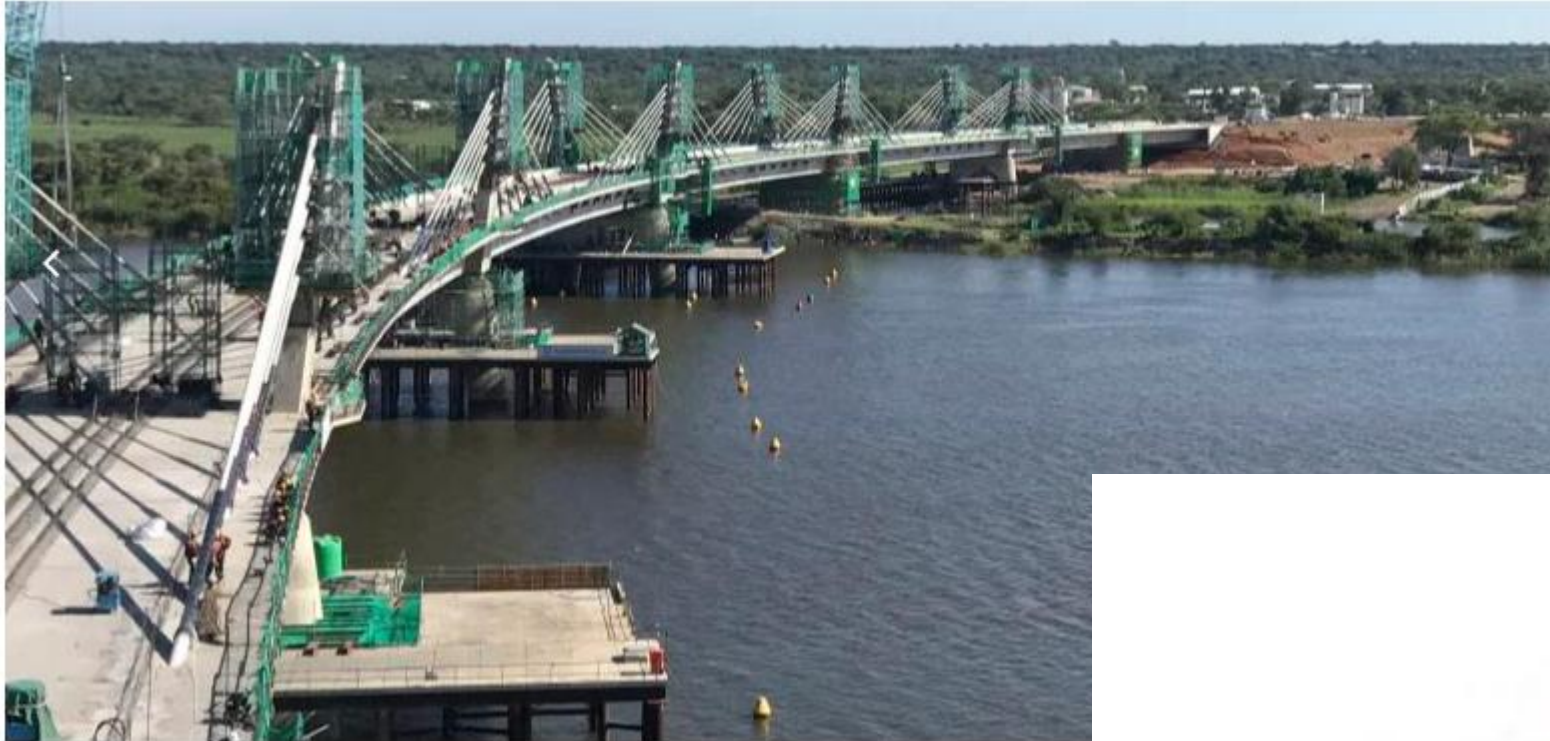


Figure 5.1: Composite anchorage at pylon (Shin-Meisei Bridge)⁵⁵

Transition au niveau du pylône



Dywidag – ouvrage
sur la rivière Zambéze
Type C



Figure 5.3: DYNA[®] link curved anchor box with two DYNA Grip[®] stay cable anchorages

Transition au niveau du pylône

Le type D conserve la continuité du câble,
La selle de déviation constitue l'ancrage du câble par effet de friction.

On y trouve 2 types

- Le monotube avec une technologie classique
- Le multitube

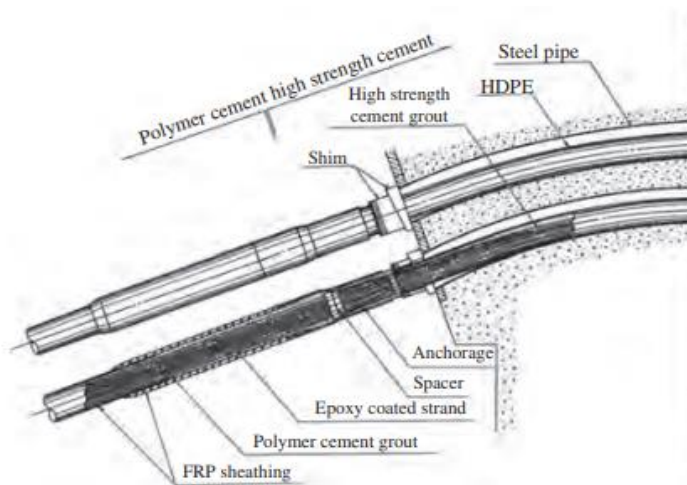


Figure 5.5: Odawara—saddle and anchorage

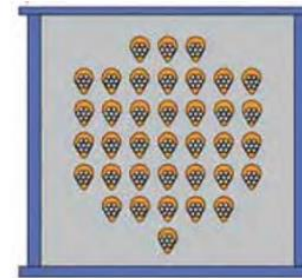
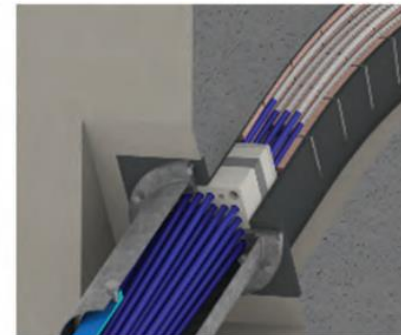


Figure 5.8: Cross section of the saddle (copyrights: VSL)



Le document présente une liste de critères permettant de faire un choix entre ces systèmes

Transition au niveau du pylône

Si le type D conserve la continuité du câble,

il nécessite une analyse de risque du glissement: définition du coeff de friction

Les fournisseurs vous indiquent des coefficients qu'il est nécessaire de certifier:

- essais du fournisseur
- essais sur site

En général ce coefficient doit être entre 0,3 et 0,4

Si cet aspect ne peut être contrôlé il faut prévoir des moyens de bloquer le glissement éventuel

Le glissement engendre une non linéarité, il peut se cumuler et dégrader le fonctionnement du tablier.

L'angle influe particulièrement, pour un coefficient de friction donné, sur l'acceptabilité d'une variation de contraintes

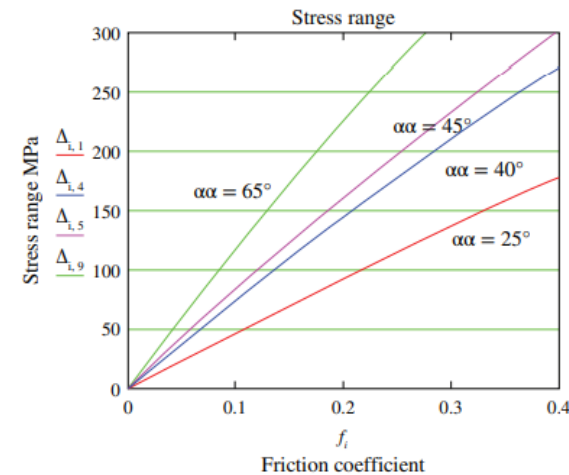


Figure 5.14: Range stress in accordance with friction coefficient and deviation angle

En conclusion, des progrès et des améliorations en cours

Distinguer tablier et mât

Pour le mât,

- Mât en béton, en général construit par coffrages grimpants, assurer la stabilisation
- Mât en métal, érection après préfabrication en atelier

La méthode d'exécution doit permettre d'assurer la stabilité du procédé d'exécution

- Intégrer à la conception l'ensemble des éléments ayant une incidence sur le montage
 - Ancrages ou selles de déviation
 - Accessibilité (accès intérieur si nécessaire, soudage....)
 - Les contraintes liées au levage ou aux équipements à placer sur le tablier.
 - Sécurité des procédés
- Intégrer dans les études de résistance les effets secondaires liées
 - soit aux méthodes de construction
 - soit à la géométrie (mât incliné, jambes de pylônes inclinées)

Les techniques de construction du tablier utilisent:

- Le coulé en place (béton)
- La préfabrication (métal, béton)

La méthode peut utiliser:

- La construction par encorbellement successif
- La construction sur cintre



Figure 6.4: Erection of prefabricated segments on scaffolding



Figure 6.5: Erection of precast segments on scaffolding; all precast segments are lifted at one location by a lifting frame and slid on top of the scaffolding longitudinally



Figure 6.6: Concrete deck supported on temporary continuous or discrete propping



Figure 6.7: Balance cantilever technique

La mise en place des câbles utilise les mêmes techniques que pour les ouvrages haubanés, ils peuvent être préfabriqués (rare) ou mis en place toron par toron, technique la plus utilisée sur les ponts extradossés.

La mise en tension des haubans peut:

- Se réaliser à l'avancement
- Se réaliser sur l'ensemble du tablier
- Utiliser des câbles provisoires (adapté aux techniques de préfabrication)
- Réglage & remise en tension

Autres points importants

- Contrôle de la flèche du tablier
- Tolérances
- Définir la ligne géométrique finale en intégrant si besoin des contreflèches pour le fluage et le retrait (ouvrages en béton et mixtes)

Ce chapitre sur les coûts permet de calibrer le coût probable d'ouvrages extradossés entre 100m et 200m pour la portée principale.

Il insiste sur le fait que ces coûts dépendent du pays, des coûts spécifiques des matériaux, et aussi des conditions environnementales des projets dont ils sont issus.

S'il est typique de voir les coûts grimper avec la longueur de la travée principale, les graphes qui sont donnés montrent des tendances même s'ils ont été élaborés sous des standards et des pays différents.

Que compare-t-on?

- Des ponts extradossés construits en béton avec
 - des ponts caissons précontraints
 - Des ponts à haubans
- la méthode de construction peut-être spécifiée

Ainsi la première comparaison est donnée au travers d'une étude basée sur des coûts de matière en Floride (2019) suivant les standards AASHTO

Comparaison entre des ponts extradossés et des ponts construits par encorbellements successifs

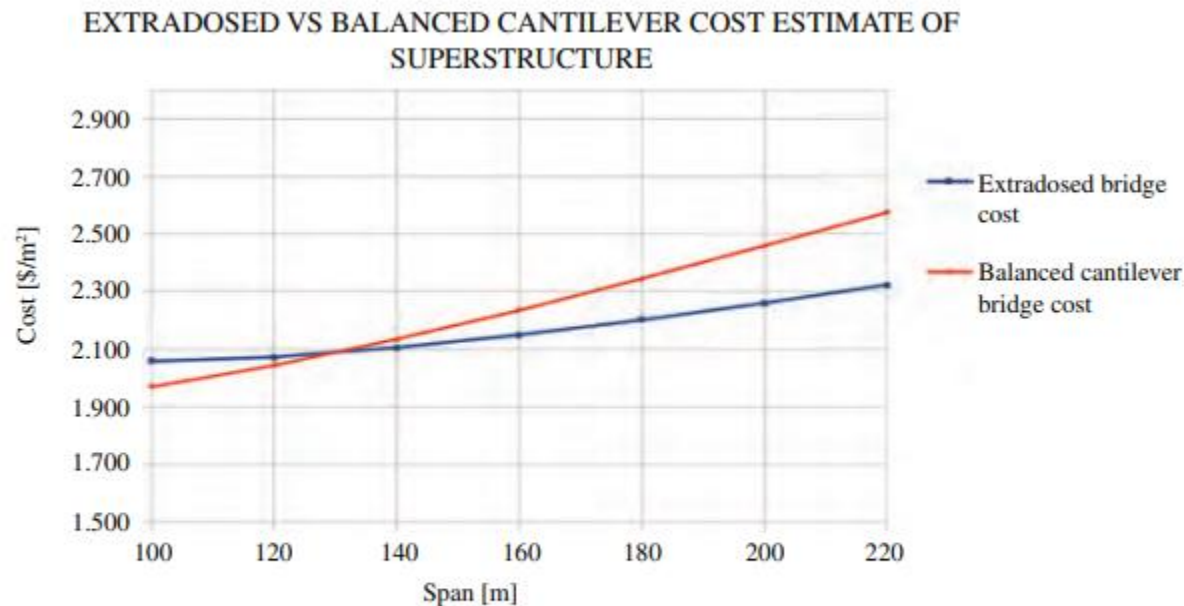


Figure 7.1: Estimated construction cost comparison of Extradosed Bridges and balanced cantilever bridges designed with AASTHO Codes and unit material price of Florida in 2019.⁶⁸

=> Les ponts extradossés sont moins coûteux au-delà de 130m de portée

Cette comparaison est complétée d'une statistique de 2012 dont les min et max encadrent les résultats de 2019. Les variabilités constatées ne sont malheureusement pas calibrées par rapport à la longueur ou les surfaces de tablier.

Une deuxième statistique fournit un coût indexé sur une longueur ciblée de travée de pont caisson en béton. Elle est intéressante car elle montre d'une part une légère diminution de coût de l'extradossé avec la longueur de travée (sans être aussi significatif que le précédent graphique) par rapport au pont caisson, et plus significativement par rapport aux ponts à haubans. (fig 7,2)

Des quantitatifs statistiques sont ensuite donnés pour les ponts extradossés provenant entre autre de bureaux d'études pour:

- l'épaisseur moyenne de béton (figure 7,3)
- Le ratio de précontrainte intérieure (par unité de surface) (figure 7,4)
- Le ratio de précontrainte intérieure (par unité de volume de béton) (figure 7,5)
- Le ratio de hauban (par unité de surface) (figure 7,6), et le même ratio donné dans une configuration spécifique (figure 7,7) qui situe ces résultats dans le bas du graphique de la figure 7,6)

Ces quantitatifs sont parfois donnés avec des statistiques sur les ponts caissons et les ponts à haubans ce qui permet aussi de situer les volumes.

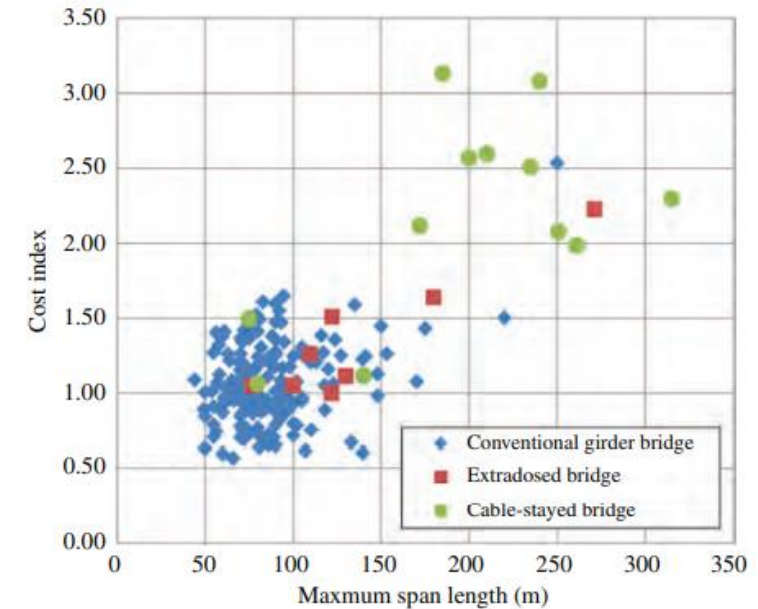


Figure 7.2: Construction Unit Cost Index of concrete and Hybrid structures in Japan (Courtesy of Sumitomo Mitsui Construction).

=> Les ponts extradossés sont moins coûteux au-delà de 130m de portée

En fin de document, ces statistiques sont complétées d'un background concernant les quantitatifs de matériaux des ponts construits par encorbellements successifs.

La figure 7,8 donne cette synthèse et pour le béton comme il s'agit d'une épaisseur équivalente, il faut lire des cm.

Quelques tests permettent de recouper les valeurs données dans les statistiques des figures 7,3 et 7,5.

Le tableau 7,3 donne aussi quelques points de comparaison.

Globalement ces résultats montrent que l'affirmation un peu péremptoire du début se confirme et l'auteur de conclure que les ponts extradossés sont les moins coûteux entre 120 et 180m en comparaison des ponts construits par encorbellements successifs ou à haubans.

=> Les ponts extradossés
sont moins coûteux au-delà
de 130m de portée

SED 17: les Ponts Extradossés

Chapitre 8: bilans (construction, et paramètres de dimensionnement) & des exemples

En distanciel
14/10/2021

Le chapitre final présente un certain nombre d'informations sur des paramètres de dimensionnement
Mais donne aussi des statistiques plus générales:

- une répartition du nombre de ces ponts construits dans le monde et par zone
- Une répartition du nombre d'ouvrages construits par période

Il est intéressant de noter que ce ne sont pas nécessairement les pays riches qui en construisent le plus mais qu'il est néanmoins nécessaire d'avoir soit un tissu industriel fort soit de la technologie.

Notez que

- 59% des ponts extradossés ont 2 mâts
- 19% un seul
- 22% plus de 2, 3 et +
- La plus grande travée: 312m, la plus courte: 43,5m
- Le plus haut pylône: 57m et le plus court: 3,2m
- Des tabliers jusqu'à 61m de large

SED 17: les Ponts Extradossés

Chapitre 8: bilans (construction, et paramètres de dimensionnement) & des exemples

En distanciel
14/10/2021

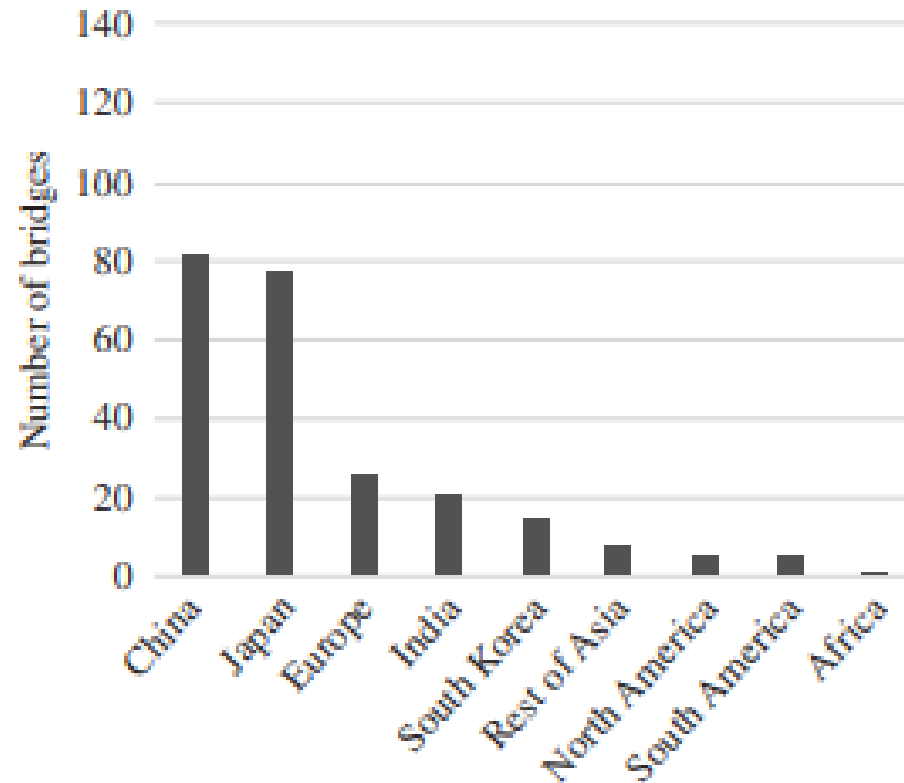


Figure 8.1: Extradosed Bridges built world-wide (as of August 2018)

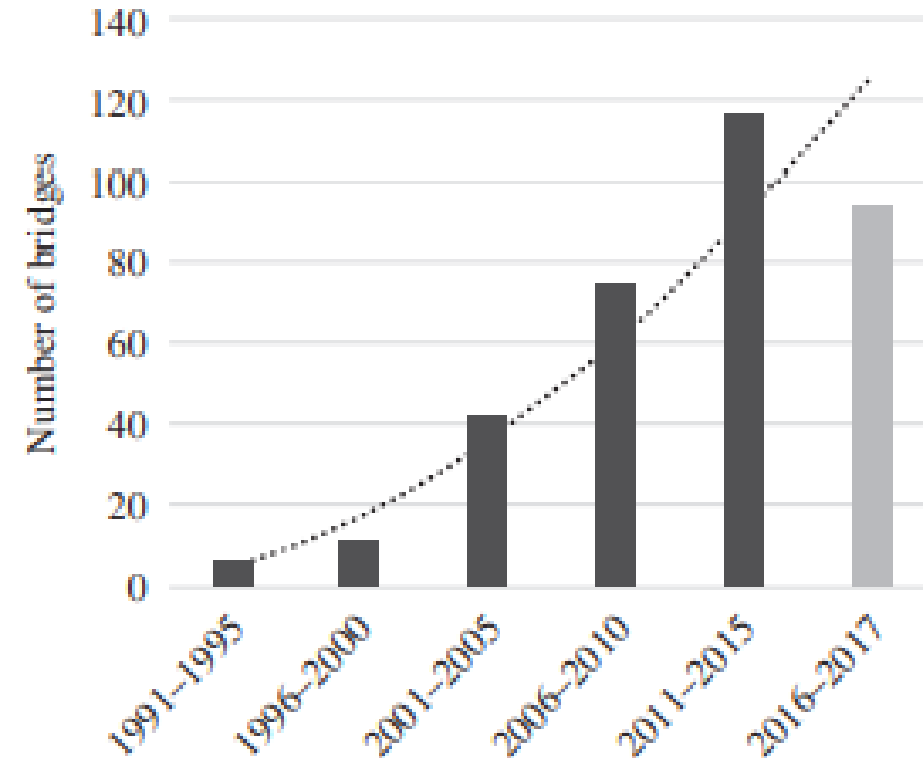


Figure 8.2: Extradosed Bridges built per time periods

SED 17: les Ponts Extradossés

Chapitre 8: bilans (construction, et paramètres de dimensionnement) & des exemples

En distanciel
14/10/2021

Paramètres analysés

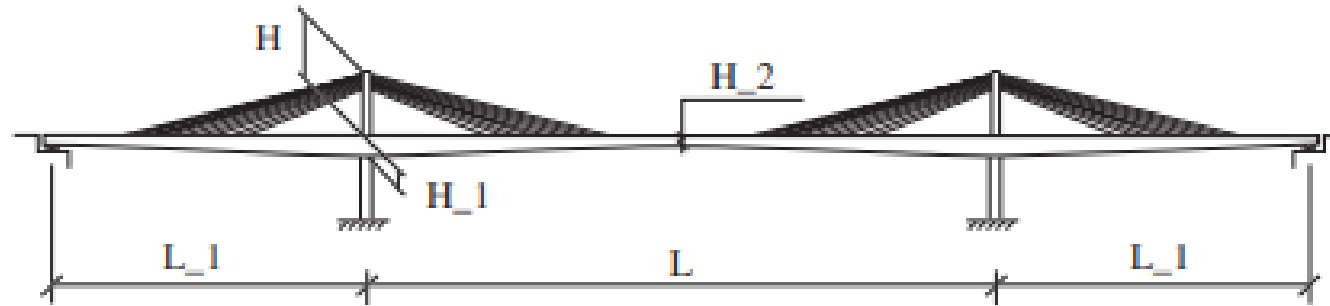


Figure 8.3: Typical Extradosed Bridge and its geometric properties

Des abaques sont données autour des thèmes suivants:

- travée de rive sur travée centrale pour les tabliers avec différentes répartition de pylône
- Travée de rive sur travée centrale en fonction de la travée centrale (fonction du nb de pylônes)
- Élancement en fonction de la travée centrale (en travée et sur appui)
- Variation du rapport hauteur sur pile/en travée fonction de al travée centrale
- Répartition de l'espacement des haubans en fonction de la travée centrale

Ces abaques complètent les données fournies dans les chapitres initiaux

SED 17: les Ponts Extradossés

Chapitre 8: bilans (construction, et paramètres de dimensionnement) & des exemples

En distanciel
14/10/2021

Le chapitre fournit ensuite des exemples 8,3

Ensuite une récapitulation par ouvrage des paramètres utilisés 8,4