

# Conception de passerelles bois modernes, efficaces et durables

Michael Flach  
Université d'Innsbruck, Autriche  
Université de Corte, France



## Avant-Propos

### In memoriam du Professeur Julius Natterer,

qui nous a quitté en novembre 2021. Il était le père incontesté des ponts modernes en bois et m'a inspiré et introduit dans les secrets de la bonne conception des ponts en bois. Une quinzaine de projets de ponts ou passerelle en France sont sortis de notre partenariat avec le BET ICS-Bois, suivi de 6 ouvrages avec le BET Arborescence comme le plus grand pont français en bois sur la Drome, et 9 projets en Autriche, dont le plus grand pont en bois du pays à Kössen.



Pont de Crest, F 2000, Yves Perret, architecte, Michael Flach, BET Arborescence



Pont de Kössen, A 2006 APD Michael Flach, Reinhard Exensberger, BET

**Lors de la révision de l'EC 5** en 2017, j'ai participé au WG 6, pour élaborer un « background document » sur la durabilité de l'EN 1995-2. La nécessité, voire l'urgence d'établir des règles et guides sur la durabilité des ponts en bois dans l'Eurocode s'est encore confirmé par des sinistres survenus récemment dans des pays leaders du bois comme l'Autriche et la Norvège. Une douzaine de ponts bois ont dû être fermés suite à des erreurs de conception. Dans les deux cas, les causes du sinistre correspondaient justement aux points évoqués dans les prescriptions du nouveau Eurocode. Si nous voulons continuer à réaliser des ponts en bois solides et durables, il est important que ces ouvrages soient conçus par des ingénieurs spécialisés et expérimentés dans les constructions en bois, qui respectent les règles élémentaires de bonne conception présentées si contre.

### Trois raisons pour construire des ponts et passerelles en bois :

1. Les exemples historiques comme 5.000 ponts couverts en bois de plus de 100 ans dans les Alpes montrent, que **la durée de vie des ponts en bois bien conçus** atteignent plusieurs siècles dépassant largement la durée de vie des ponts soit en acier, soit en béton armé ou en béton précontrainte.
2. Le bois est un **matériau localement disponible et une ressource renouvelable**, qui contribue à la réduction des gaz carboniques par sa capacité d'absorber du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et de le stocker pendant des siècles. Par son faible poids, les moyens de transport et de montage demandent très peu d'énergie. Le bois est donc prédestiné pour toute construction, qui se passe de l'énergie fossile lors de sa réalisation.

3. La légèreté du bois et son excellent rapport résistance/poids propre permet de construire des constructions filigranes d'une grande qualité architecturale. Bien conçus, les ouvrages en bois sont **plus économiques** que les ouvrages en acier ou en béton, si tous les paramètres comme le cycle de vie ont été pris en compte pour faire un bilan global.

Ces 3 raisons sont valables à condition, que les ouvrages sont conçus et mise en œuvre par des spécialistes du bois, qui connaissent les règles élémentaires de la conception, de la protection d'un ouvrage bois, sa durabilité et son entretien.

### **Raisons, qui mettent en cause la durabilité des ponts et passerelles en bois :**

Le bois, matériau sensible à l'eau, ne pardonne pas les erreurs de conception. Mal conçu et exposé aux intempéries, un pont bois constitue un ouvrage pathologique par le non-respect des règles élémentaires de protection et de durabilité. Des nombreux cas de ponts modernes en bois, qui ont dû être fermés par vétusté, comme tout récemment des ponts en Autriche et en Norvège, montrent le dilemme causé par des apprentis sorciers et le manque de professionnalisme dans ce domaine.

### **Révision de l'EC 5, notamment de l'EN 1995 -2, ponts bois**

Le travail du groupe d'experts du WG 6 a permis d'établir un **background document**, qui comprenait 4 parties :

- **Partie 1** gestion de l'eau pour ponts couverts et ponts non-couverts.
- **Partie 2** protection et mesures préventives pour les structures exposées aux intempéries.
- **Partie 3** disposition de la ventilation des parties exposées pour déshumidifier les bois.
- **Partie 4** monitoring et maintenance des ponts et des passerelles en bois.

La partie 2 concerne la **protection constructive** d'un pont bois. Il faut absolument éviter l'humidification régulière du bois, la pénétration de l'eau dans les pièces en bois, notamment dans les tranches d'extrémité, empêcher la stagnation et la rétention d'eau sur les parties horizontales de la structure et éviter des pièges d'eau comme les fentes en partie supérieure dans les zones d'assemblages. Les mesures de protection comprennent les toitures avec débord, des couvertines de protection, des pentes d'écoulement d'eau, l'éloignement des bois du sol et des facilités d'inspection et de monitoring sous les supports d'étanchéité de chaussée. Une série d'esquisses documente les dispositifs de protection.

### **Quelques règles de l'art sélectionnées pour la bonne conception de ponts et passerelles en bois :**

1. **Protéger la structure contre les intempéries**
2. **Utiliser des assemblages adaptés**
3. **Minimiser les effets de flexion dans la structure**
4. **Éviter la traction transversale**

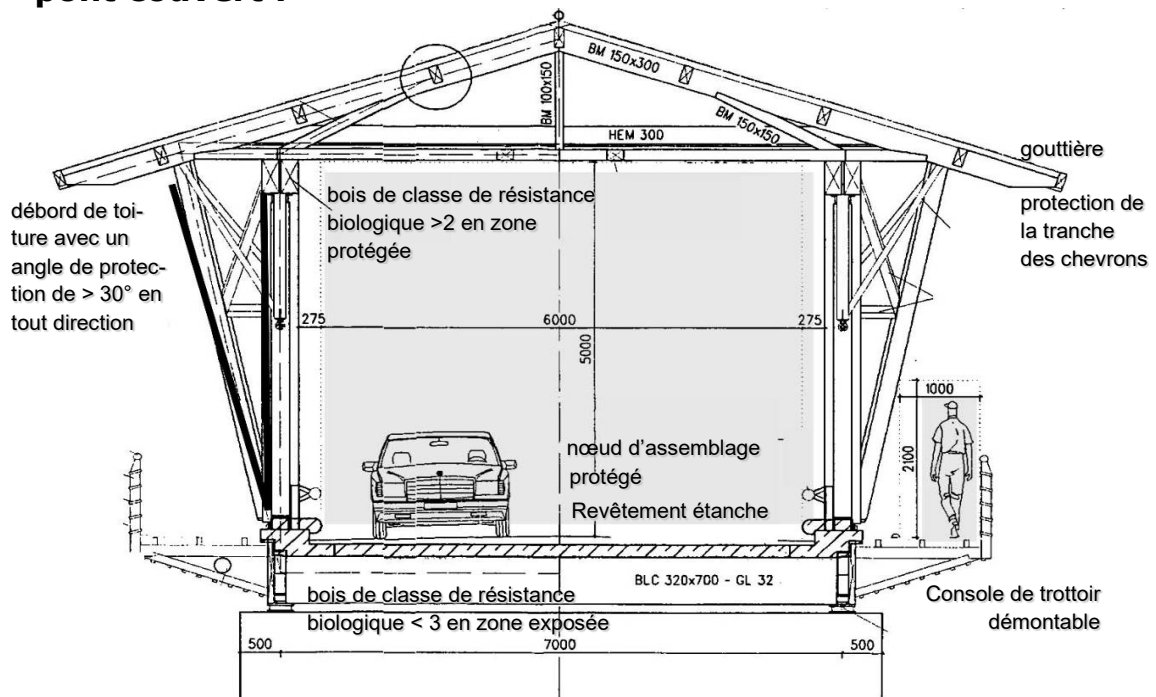
## 1. Protection de la structure contre les intempéries :

La structure porteuse doit être protégée contre l'eau de pluie, des projections d'eau apportées par des vents forts et des véhicules sous forme de brumisation. Il faut empêcher l'eau et l'humidité, qui remontent du sol pour éviter l'arrosage répétitif et l'humidification des bois, afin que l'hygrométrie d'équilibre des bois de structure reste faible (si possible < 15%) et aucune stagnation d'eau soit possible.

Les mesures de protection consistent d'abord à protéger la structure par une toiture débordante, qui assure un angle de protection > 30° par rapport à la verticale. Egalement à prévoir sont des pentes d'écoulement d'eau, des évacuations contrôlées par des gouttières, des descentes d'eau, des trop pleins, des couvertines métalliques sur les faces latérales et sur les chants de poutres.

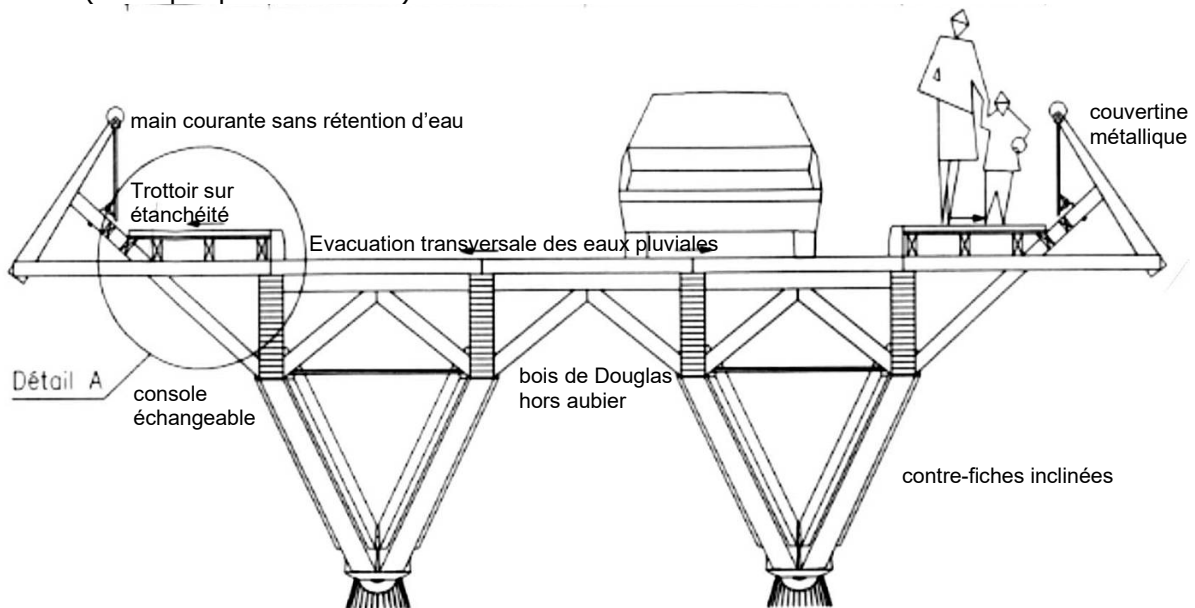
A côté de ses mesures de protection directe, il convient de favoriser la ventilation de toutes les pièces du bois pour leur permettre un séchage rapide et contrôlable. Il convient également d'entretenir régulièrement les pièces de protection comme la toiture et de nettoyer ou déboucher les évacuations d'eau comme les gouttières et les chéneaux. De façon générale, un ouvrage d'art doit être inspecté avec des intervalles précis pour évaluer les dégradations notamment dû au vandalisme et des catastrophes naturelles, afin de définir les travaux d'entretien et de réparation. Parmi les mesures de surveillance moderne, on compte le monitoring par mesures hygrométrique pour déceler les fuites d'eau avant qu'ils dégradent la structure. Pour les superstructures comme les garde-corps, des platelages et des glissières de sécurité, il convient de le concevoir démontable pour pouvoir les échanger en cas de besoin.

### 1.1. Dispositions essentielles pour protéger la structure d'un pont couvert :



## 1.2. Dispositions essentielles pour protéger la structure d'un pont non-couvert :

Grand débord latéral et chaussée étanche sur panneau bois lamellé croisé (exemple pont de Crest)



Coupe transversale du pont de Crest, F



Consoles démontables pour les superstructures telles que garde-corps protégés par couvertines métalliques.

Image de droite : structure porteuse avec contre-fiches inclinées protégés par la chaussée étanche et latéralement par la structure étanche de trottoirs



Le revêtement de la chaussée étanche doit être raccordé sur l'étanchéité sous le trottoir pour assurer la protection de l'ouvrage. Un grand débord latéral protège les rives. Par précaution supplémentaire, il est fortement conseillé d'ajouter une couche de ventilation supplémentaire sous l'étanchéité afin de surveiller par monitoring des fuites éventuelles, qui confirment la nécessité d'échanger l'étanchéité de la chaussée à temps. Les contrefiches de la structure principale sont suffisamment inclinées pour être à l'abri du débord.

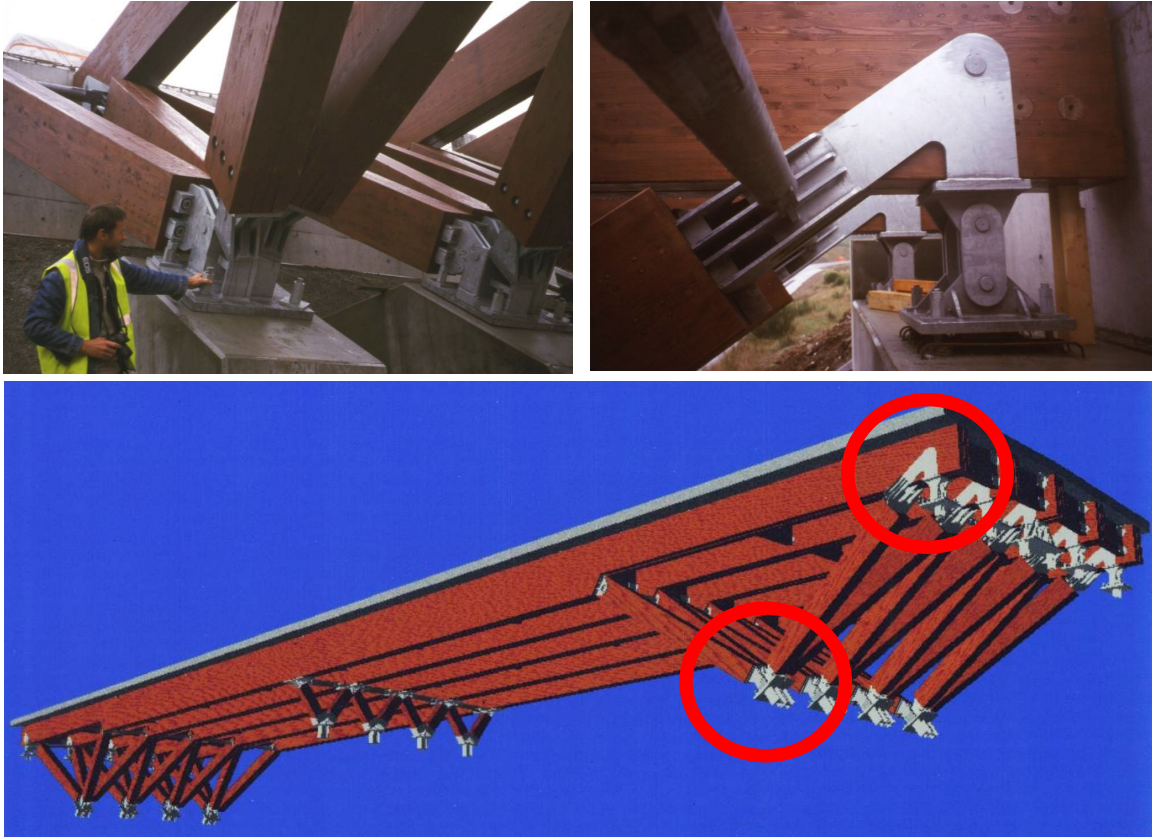
Les superstructures, telles que les garde-corps, sont généralement exposées et nécessitent des mesures complémentaires comme la possibilité d'échanger les garde-corps sans toucher aux structures principales.

## 2. Assemblages adaptés pour de ponts en bois

Compte tenu de la taille des efforts à connecter, il est important que le système d'assemblages réalisé corresponde aux hypothèses du calcul théorique. Pour cela, il faudrait éviter des encastremements parasites et créer des rotules parfaites. Pour le pont sur l'A89 près d'Ussel, la transmission des efforts se fait par un seul axe faisant objet d'une articulation parfaite. L'appui glissant avec un dispositif anti-soulèvement est réalisé par une double rotule, qui évite la transmission d'un effort longitudinal par frottement de l'appui. Afin d'éviter une sollicitation du bois lamellé collé par un effort de soulèvement, pouvant en-



trainer une traction transversale dans les poutres, l'effort de soulèvement d'appui est directement assemblé sur le connecteur métallique sans passer par le bois. La transmission de la résultante horizontale en extrémité des poutres se fait par des tôles plates en âme à l'intérieur du bois, soudées sur une contre-platine à l'extrémité de la poutre horizontale.



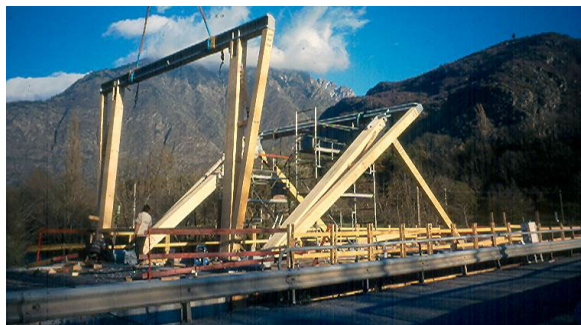
Assemblages articulés sur un pont de circulation lourde traversant l'autoroute A89

Les rotules en pied de contrefiches sont réalisées par des axes métalliques perpendiculaires aux axes de chaque contrefiche pour éviter des efforts parasites en cas de rotation des contrefiches par rapport aux appuis. En tout cas, il faudrait éviter tout effort parasite comme les encastres partiels et des excentricités indésirables dans les nœuds d'assemblages pour des ponts à circulation lourde.

Il faudrait également éviter, que les effets volumétriques du bois, comme des gonflements par une variation hygrométrique, se trouvent gênés par les assemblages.



Une articulation parfaite peut aussi servir comme un axe de rotation pour pivoter des éléments préfabriqués, comme des portiques transversaux, afin de simplifier le montage du pont des Fayette, F. (voir ci-contre).



Montage du pont des Fayettees pour pivotement des portiques latéraux

Une particularité des ponts à circulation lourde en bois consiste à prendre en compte la résistance à la fatigue des pièces métalliques. Comme on peut voir sur le diagramme ci-contre, la résistance des connecteurs diminue clairement en fonction des nombres des chargements cycliques.

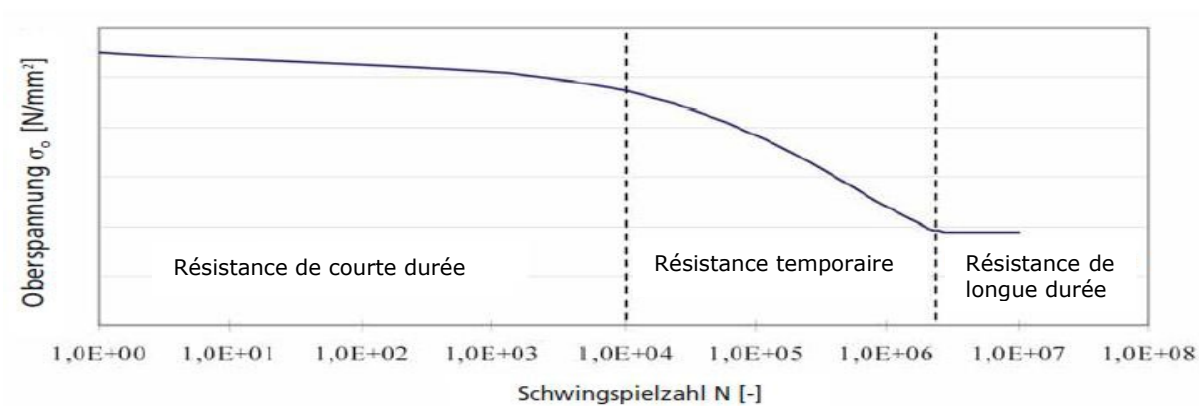
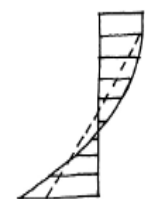


Diagramme des efforts sur les assemblages en fonction des charges cycliques

### 3. Minimiser les effets de flexion sur la structure

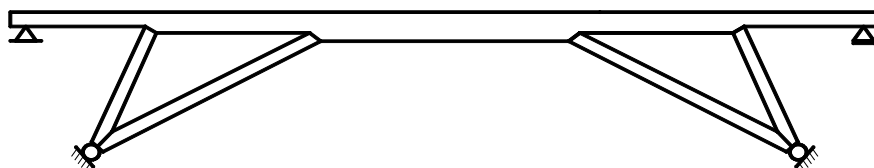
Il faut réduire les moments de flexion dans les membrures au maximum, car les moments conduisent contrairement aux efforts normaux à :

- une mauvaise exploitation des sections
- une distribution non linéaire de contraintes
- des grandes déformations
- des grosses sections



Résultat : **structures inefficaces, car lourdes et chères.**

Il ne faut donc pas hésiter de multiplier des appuis pour réduire la portée des pièces principales. Il est possible de prévoir des appuis fictifs par un haubanage en partie supérieure ou avec contre-fiches en partie inférieure.



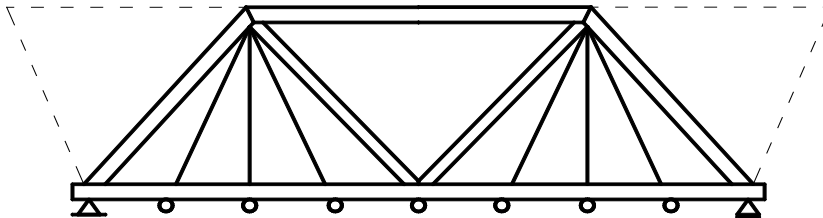
Soutien de la poutre supérieure par contrefiches pour réduire la portée et les moments de flexion





Soutien de la poutre supérieure par un arc polygonal et des poteaux, ingénieur J. Anglades

Pour une poutre treillis, il convient de multiplier le nombre de nœuds sur la membrure chargée pendant que la membrure supérieure n'a pas besoin de nœud supplémentaire.



La multiplication des nœuds en partie inférieure réduit la membrure inférieure. La multiplication seule des nœuds sur la membrure supérieure entraîne un grossissement de la membrure inférieure (voir exemples ci-contre)



Pont de Fayette, ingénieur Michael Flach Arborescence ; Pont sur la Dore, ingénieur Dominique Calvi

#### 4. Éviter la traction perpendiculaire

La traction perpendiculaire provoque un décollage des lamelles d'un BLC. La fixation des suspentes sur un arc génère la traction transversale si les assemblages se trouvent trop proches de l'intrados de l'arc.

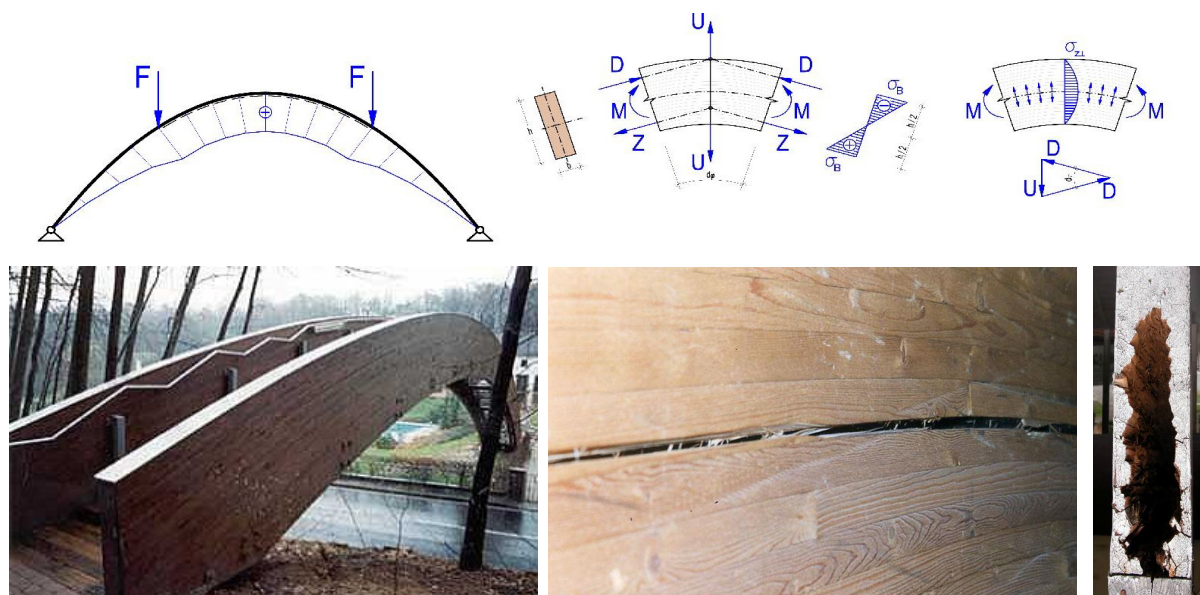


La fixation des suspentes sur l'arc pose plusieurs risques :

- Ouverture de fissures par la traction transversale
- Infiltration de l'eau par des fentes de l'assemblage

La traction transversale se produit sur des poutres courbes soumis à des moments positifs.





Images : Les ponts en forme d'arc (à gauche) sont sollicités par une flexion positive, c'est qui génère une traction transversale, donc souvent un décollement des lamelles (centre). En l'absence de protection des chants, ces poutres pourrissent sur appui (à droite).

Les ponts en forme d'arc non couverts sont des structures pathologiques programmées, car les moments de flexion positifs génèrent la traction transversale, ce qui provoque un décollement des lamelles. De plus, les contraintes de flexion ne sont pas linéaires conduisant des contraintes de traction dans les fibres inférieures avec l'effet d'ouverture d'une fermeture éclair.

## Conclusion :

**Les règles de base consistent à éviter des constructions à risque, prévoir une protection constructive, réduire les effets de flexion et de prévoir des assemblages adaptés. Surtout pas d'improvisation pour concevoir, mais s'appuyer une expérience professionnelle solide afin de construire de ponts en bois fiables et durables.**