

# Pont de Pérolles à Fribourg: procédés d'intervention

Autor(en): **Bongard, Jean**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **121 (1995)**

Heft 5

PDF erstellt am: **18.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78586>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Pont de Pérolles à Fribourg: procédés d'intervention

Par Jean Bongard,  
Bongard & Zwick  
Ingénieurs-conseils  
SA Rue du Botzet 3  
Case postale 21  
1705 Fribourg

L'adéquation des procédés d'intervention aux objectifs «qualité» doit s'exercer dans toutes les phases de vie d'un pont de manière séquentielle et itérative. Il en va de même pour assurer la qualité lors de toute intervention sur le patrimoine bâti. Dans le cadre de la rénovation et de la transformation du pont de Pérolles à Fribourg, il a été nécessaire d'en concevoir la réalisation dans des conditions optimales au moyen d'un pont provisoire et d'optimiser l'ensemble des critères: respect de l'environnement, esthétique, fiabilité, sécurité, délai et coût. La réutilisation de l'infrastructure est possible grâce à une analyse adéquate du système porteur au moyen d'un logiciel éprouvé.

## 1. Introduction

Le réseau routier constitue un facteur essentiel de la vie économique d'une région. Avec l'évolution du trafic, il doit pouvoir être utilisé en permanence, dans les conditions de sécurité exigées. Dans cet ensemble évolutif, les ponts constituent des points stratégiques.

Sis aux portes de Fribourg, le pont de Pérolles, construit principalement en béton non armé, fut le plus grand de Suisse en 1922 (fig. 1). Avant d'intervenir sur une structure, il est impératif de considérer l'aspect global des problèmes en commençant par la surveillance de l'ouvrage dès sa mise en service et en terminant par son renouvellement. L'adaptabilité du pont dépend des choix effectués lors de sa conception et de sa réalisation. Ceux-ci influencent la réserve de capacité portante et créent la flexibilité par rapport aux besoins nouveaux.

L'importance de l'enjeu justifie la pleine adéquation de la solution à l'ensemble des contraintes caractérisant le projet. La rénovation des ouvrages d'art nécessite

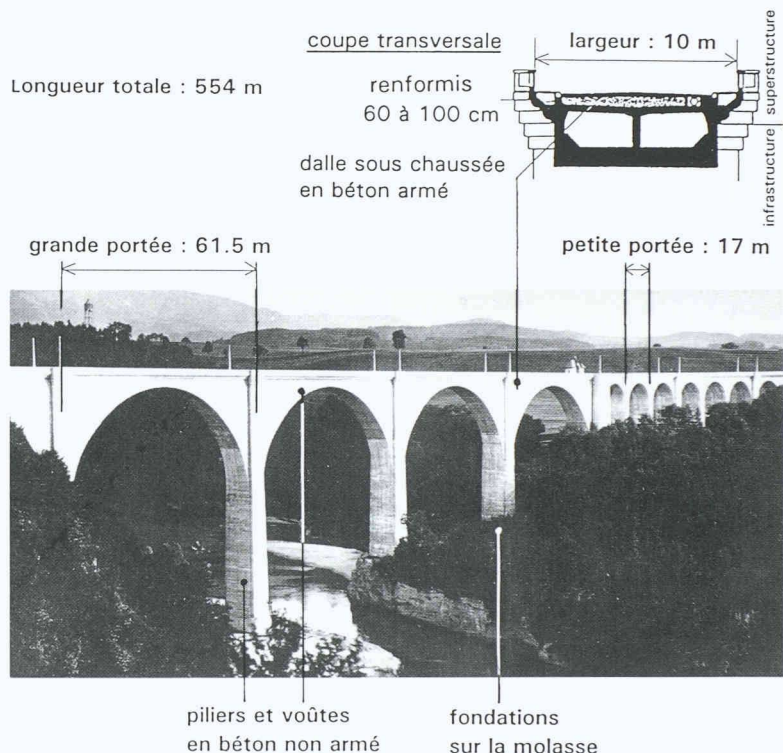


Fig. 1. – Morphologie générale

notamment une analyse fine des structures pour évaluer la capacité portante effective. L'interaction de matériaux nouveaux et anciens complique l'appréciation du fonctionnement du système porteur. En bref, il s'agit de formaliser la justification de la restructuration en regard d'exigences spécifiées de fiabilité. La présente communication traite de la recherche de l'adéquation des procédés d'intervention aux objectifs «qualité» dans le processus de rénovation et de transformation du pont de Pérolles à Fribourg.

## 2. Le pont de Pérolles aujourd'hui

L'état actuel de l'ouvrage se caractérise par les éléments suivants:

- sa raison d'être
- sa morphologie générale
- son système statique datant de la construction (fig. 2)
- sa réalisation
- sa surveillance et son inspection détaillée
- sa densité de trafic journalier moyen d'environ 22 000 véhicules (TJM 24).

Dès 1982, des inspections régulières de l'ouvrage ont été faites. Elles laissaient apparaître des dégradations sensibles du béton de la dalle sous chaussée.

Au printemps 1987, une inspection détaillée de l'ouvrage a été

*Pérolles Bridge, Fribourg (Switzerland): harmonisation of implementation and «Quality» objectives*

Implementation must be matched and harmonised to «quality» objectives through all stages of a bridge's life, in a sequential and iterative manner. This is particularly true when structures of historic value are involved. For the renovation and transformation of Fribourg's Pérolles bridge, a temporary structure provided optimum conditions. Environmental and aesthetic concerns, reliability, safety, schedule and cost were also optimised. Renewed use of the substructure was possible thanks to appropriate analysis of the bearing system using proven software.

Cet article découle d'une conférence donnée lors du Colloque international «Gestion des ouvrages d'art» tenu à Paris du 18 au 20 octobre 1994 et organisé par l'École nationale des Ponts et Chaussées, sous le patronage de l'AFPC, l'AIPCR et l'UICI.

bli son état effectif. Le diagnostic spécifie les causes des désordres et qualifie le défaut de résistance qui en résulte. La dalle sous chaussée en béton armé est dans un état avancé de dégradation sur plus de la moitié de sa surface. Les composants du béton armé sont en désagrégation, les armatures corrodées sont même souvent rompues. Les dégâts proviennent du fait que l'étanchéité de l'ouvrage n'est plus assurée et que la mise en place du béton a été effectuée à l'époque par damage et non par pervibration, ce qui explique son manque de compacité. De plus, la sollicitation du trafic en cette fin de siècle est sans commune mesure avec celle des années 20 [1], [2], [3], [4]<sup>1</sup>.

En conclusion, la dalle sous chaussée en béton armé ne répond plus aux exigences de sécurité et ne satisfait plus aux nouveaux besoins. Elle doit être remplacée. L'infrastructure en béton non armé offre une marge de sécurité suffisante. Elle est en excellent état, elle sera réutilisée.

<sup>1</sup>Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

### 3. Données de base

L'expérience montre l'importance fondamentale d'identifier

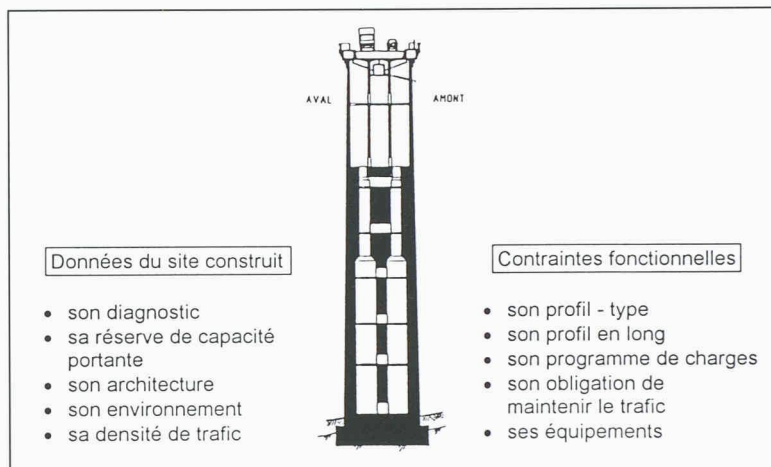


Fig. 3. – Les données de base de l'adaptation du pont de Pérolles

et d'analyser l'ensemble des contraintes spécifiques, car elles constituent les données de base sur lesquelles sont fondées les études (fig. 3).

La rénovation et la transformation donneront à l'ouvrage un niveau de service supérieur à son niveau initial, en concordance avec les exigences des normes SIA et des règles en vigueur [5], [6], [7].

### 4. Objectifs du projet et moyens

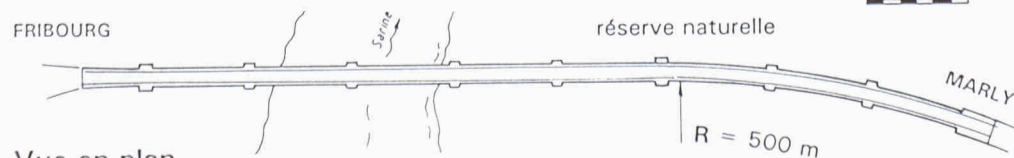
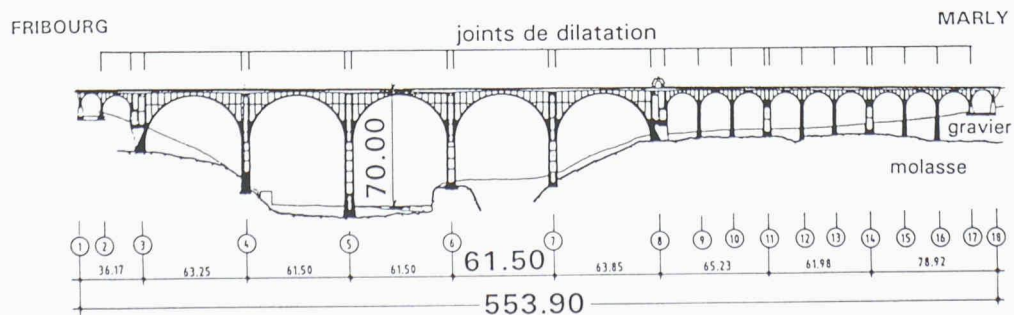
Les objectifs recherchés sont les suivants:

- prolonger la durée de vie de l'infrastructure du pont d'environ 80 ans
- revaloriser le service du pont à moyen et à long terme
- réaliser une restructuration performante et apporter la preuve de la qualité requise
- réduire le temps d'exécution afin de minimiser les coûts et les nuisances
- construire en toute sécurité, aussi bien dans l'emprise du chantier que vis-à-vis des propriétés voisines
- intégrer la maintenance à la conception de la rénovation.

Les moyens d'action les plus adéquats sont les suivants:

- choisir le concept de restructuration le moins perturbant pour l'infrastructure,
- mettre en œuvre un programme d'assurance de la qualité (AQ) [8],
- rechercher l'indépendance du chantier par rapport aux facteurs suivants:
  - circulation
  - riverains
  - services publics,
- obtenir l'impact minimal sur l'environnement,
- coordonner efficacement les composantes de la construction,
- respecter la planification de l'ensemble des opérations.

### coupe longitudinale



### Vue en plan

Fig. 2. – Système statique plan «série d'arcs encastrés sur piles»

## 5. Procédés d'intervention

### 5.1 Démarche et actions

Pour les projets d'adaptation du patrimoine, comme pour toutes les tâches de l'ingénieur, une démarche systématique par phases permet de résoudre les problèmes, réduit les risques et facilite le déroulement efficace de l'étude.

Les aspects méthodologiques principaux sont l'évaluation de l'ouvrage, la caractérisation des concepts d'utilisation, les mesures appropriées pour prolonger la durée de vie du pont, la méthode de conception-réalisation et le suivi du comportement de l'ouvrage (fig. 4).

Au début des études, le maître d'ouvrage a mis en place un système qualité. La conjonction des actions techniques adéquates et des exigences AQ dans toutes les phases de vie du pont assure l'adéquation des procédés d'intervention aux objectifs «qualité» [9].

### 5.2 Procédés spécifiques

#### 5.2.1 Choix du concept, catalogue des variantes types

L'analyse de faisabilité doit conduire à réussir l'ajustement du niveau de qualité requis à celui des besoins. L'étude préliminaire a caractérisé les types de concepts correspondant aux besoins de transport. Le but est de présenter au maître de l'ouvrage le catalogue des variantes types en regard de ses exigences spécifiques, fonctionnelles, opérationnelles et économiques, en concordance avec sa politique de qualité (fig. 5).

La variante type retenue, N° 1.9 à 3 voies selon le concept 1 à tablier élargi à 17,50 m, présente une surface utile de 70% supérieure à l'actuelle.

#### 5.2.2 Conception et réalisation Le concept du projet

Le concept du projet est fondé sur les éléments suivants:

- remplacer la superstructure dégradée par une nouvelle, élargie,

- conserver l'infrastructure saine moyennant un renforcement adéquat,
- gérer les besoins d'exploitation et créer les conditions d'exécution optimales au moyen du pont provisoire,
- éviter les équipements d'appuis et les joints à entretien onéreux,
- maintenir le caractère de l'ouvrage, témoin de notre patrimoine culturel,
- maîtriser les risques dus à l'évolution de l'interaction entre le tablier en béton précontraint transversalement et l'infrastructure en béton non armé de type non ductile, qui conditionnent la durabilité et le bon fonctionnement de la structure renouvelée à court et à long terme,
- doter l'ouvrage de toutes les qualités aujourd'hui requises en matière de durabilité en vue de prolonger sa durée de vie d'environ 80 ans.

La méthode de construction «traditionnelle»

La méthode de construction repose sur les principes directeurs suivants:

- l'industrialisation du procédé de construction,
- la simultanéité et la fiabilité des opérations,
- des conditions optimales d'exécution, soit
  - pas de contraintes de circulation et
  - travail sur tout le site
- aucun cumul de procédés et de matériels nouveaux,
- la maîtrise de la qualité, des coûts et de la durée des travaux,
- la méthode de gestion du déroulement de toutes les phases de construction (fig. 6).

La procédure de choix du couple «conception - réalisation», qui est une réflexion commune entre maître de l'ouvrage et maîtrise d'œuvre, garantit le projet associant qualité architecturale et performances techniques.

### 5.2.3 Analyse structurale

#### Evaluation de la capacité portante effective

Lors de la construction du pont, la phase d'exécution des voûtes a été déterminante pour le dimensionnement de la structure. Le modèle statique adopté à l'époque fut l'arc encasté, chargé par le béton frais provenant des murs et de la superstructure. L'évaluation de la capacité portante effective, qui heureusement offre d'importantes réserves, conduit à l'analyse du système statique spatial associant «arc, murs et tablier». Seule la méthode des éléments finis, par une modélisation exacte de la structure lors des phases de construction, permet une approche globale du problème en localisant les zones critiques dommageables. Le logiciel de calcul *Maps* a été éprouvé lors d'analyses comparatives effectuées par l'IBAP/EPFL (fig. 7) [10], [11], [12], [13].

L'analyse paramétrique par éléments finis ouvre des voies nouvelles et conduit au dimensionnement optimal de l'ouvrage. Les mesures *in situ* permettent de connaître son comportement réel et d'apprécier la fiabilité de la modélisation.

#### Calage du modèle

Le calage du modèle est l'opération qui en confirme, dans des limites admises, la représentation et qui en garantit son utilisation pour comprendre et prédire le fonctionnement réel de l'ouvrage. Un calage insuffisamment précis peut en effet ne pas révéler une grave anomalie et conduire à des décisions de renforcement totalement inadéquates. En raison de la grande rigidité du pont et de sa capacité portante effective, l'essai de chargement est remplacé par l'exploitation des effets de la température et du facteur temps.

L'étalonnage s'appuie sur une campagne de mesures simulta-

Phases de vie du projet	
<b>1</b>	<b>Projet</b>
<b>Détermination de la qualité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Inspection détaillée</li> <li>. Diagnostic</li> <li>. Réserve de capacité portante</li> <li>. Suivi de l'évolution des dégâts</li> <li>. Choix du concept</li> <li>. Choix de l'avant-projet</li> <li>. Mise à l'enquête</li> <li>. Votation populaire</li> <li>. Analyse de valeur</li> <li>. Spécification des exigences</li> <li>. Calage du modèle</li> <li>. Projet définitif</li> <li>. Appel d'offres</li> <li>. Construction du pont provisoire</li> <li>. Transfert de la circulation</li> </ul>
	<b>2</b>
<b>Contrôle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Suivi des : délais</li> <li>          coûts</li> <li>          qualité</li> <li>. Contrôle de réception</li> </ul>
<b>3</b>	<b>Utilisation</b>
<b>Maintenance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Surveillance</li> <li>. Evaluation du nouvel état</li> <li>. Suivi du comportement</li> </ul>



L'AQ : structure d'actions dans les phases de vie du projet

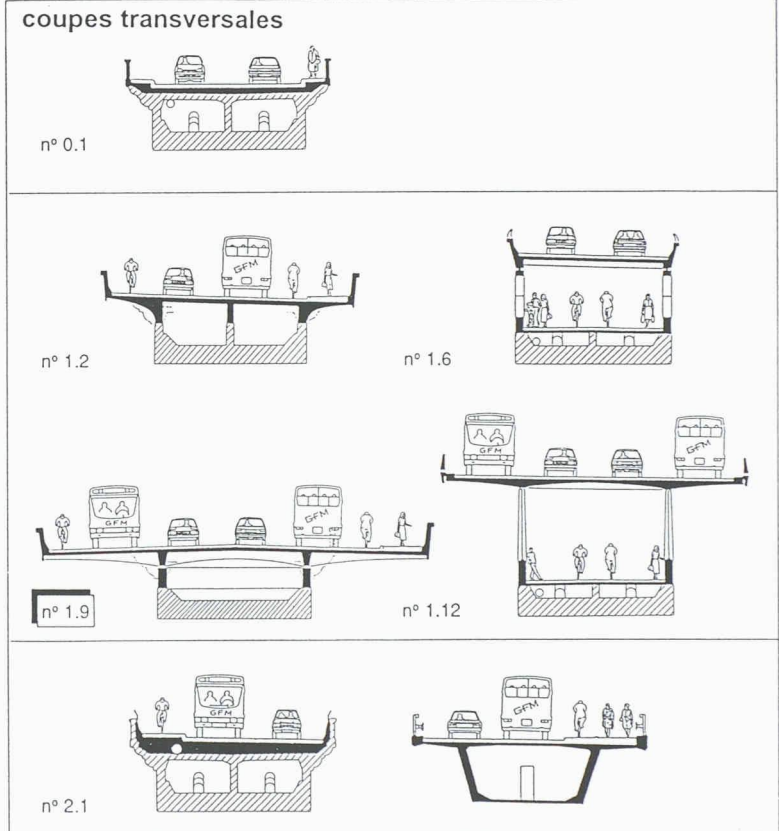


Fig. 5. – Tableau synoptique des concepts 0, 1, 2 et variantes types

Fig. 4. – Tableau synoptique des phases de vie du pont et champ d'action de l'AQ

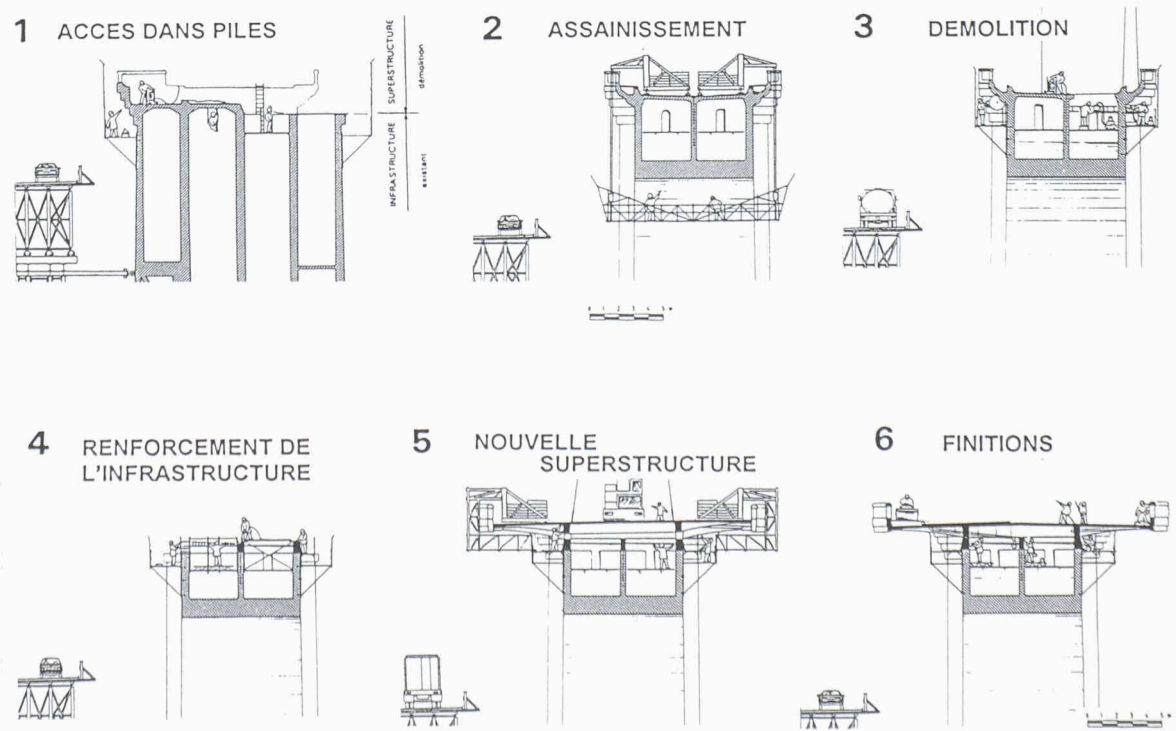


Fig. 6. – Cinématique de la construction

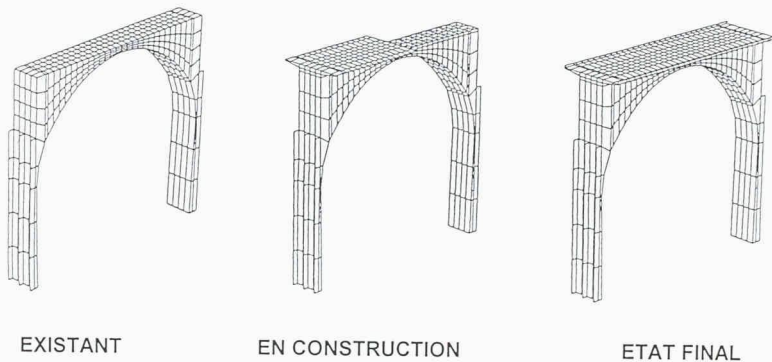


Fig. 7. – Evolution de la modélisation de la structure d'une travée de 61,50 m de portée

nées de températures et de déformations de l'ouvrage. Leur confrontation au modèle permet d'affiner les hypothèses sur la caractérisation des matériaux et la modélisation de l'ossature (fig. 8).

#### Résultats des calculs

L'état actuel des contraintes dans l'infrastructure est celui de référence. Le concept structural crée un minimum de perturbations dans les éléments en béton non armé. Suite aux opérations de restructuration, l'évolution des contraintes est simulée afin de déceler les zones dommageables. La campagne d'essais effectuée par le laboratoire LMC/EPFL et l'observation du comportement de l'ouvrage en béton non armé conduisent à

fixer les valeurs de dimensionnement de la résistance biaxiale, compte tenu des surfaces de discontinuité des reprises de bétonnage (fig. 9) [14], [15]. Les rehaussements et les extrémités des tympans sont les seules zones critiques. Réalisés en béton armé, ils constituent le seul renforcement de l'infrastructure. L'analyse non linéaire permet de vérifier la fissuration résultant de l'entrave aux déformations imposées [16], [17].

#### 6. Conclusion

La procédure de choix du couple «conception-réalisation», réflexion commune entre maître d'ouvrage et maîtrise d'œuvre, garantit une restructuration associant qualité architecturale et

performances techniques. A plusieurs niveaux d'avancement des études, le maître de l'ouvrage a effectué la comparaison du couple «objectifs-résultats». L'adéquation des procédés d'intervention aux objectifs «qualité» a été obtenue. Elle doit être poursuivie durant la phase de réalisation. Ce genre d'adaptation, dans laquelle le souci d'éviter de perturber l'état actuel de contraintes de la structure est omniprésent, oblige à faire appel à des méthodes de calcul toujours plus avancées. Un logiciel éprouvé permet de mieux appréhender le comportement réel de la structure à court et à long terme. L'étalonnage du modèle assure la fiabilité de la restructuration. De plus, il est nécessaire de concevoir et de réaliser l'adaptation dans des conditions d'exécution optimales au moyen d'un pont provisoire.

Par une mise en œuvre de moyens adéquats et par une exploitation optimale des valeurs intrinsèques, dont le savoir-faire des constructeurs du début du siècle, il est possible de doter le pont de Pérolles de toutes les qualités aujourd'hui requises en matière de durabilité [18], [19]. Cela permet de prolonger sa du-

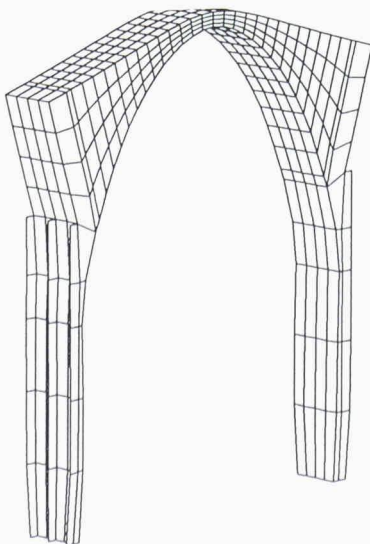
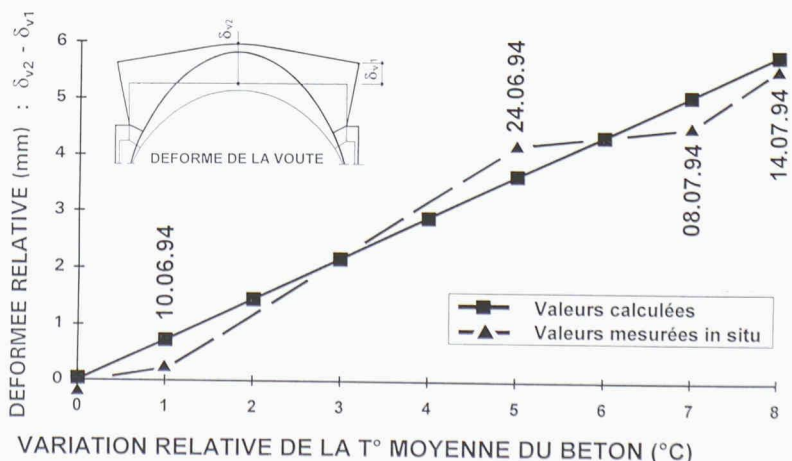


Fig. 8. – Le calage du modèle

#### LE CALAGE DU MODELE : EFFET DE LA TEMPERATURE



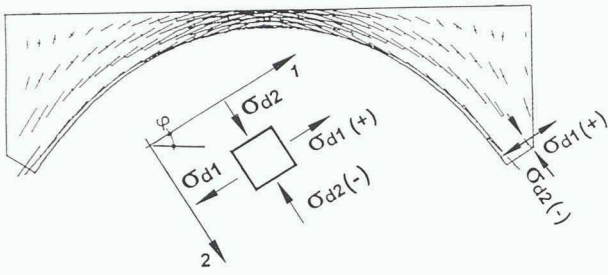
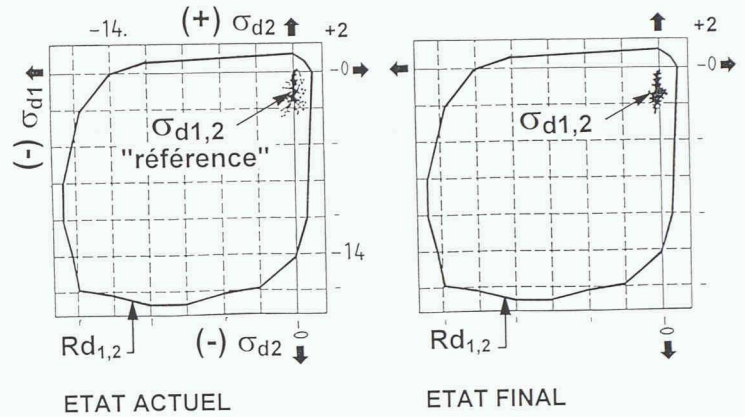


Fig. 9. – Trajectoire des contraintes principales dans le tympan, résistances biaxiales ( $R_d$ ), état de contraintes ( $C_d$ ) actuel et final



rée de vie d'environ 80 ans et de maintenir le patrimoine bâti.

### Bibliographie

- [1] OCDE, Groupe de recherche routière: «Surveillance des ouvrages d'art». OCDE, Paris, 1976
- [2] KUNZ P., BEZ R., HIRT M.: «L'évaluation des structures existantes», *Ingénieurs et architectes suisses*, N° 5/94, Lausanne
- [3] OCDE, Groupe de recherche routière: «Remise en état et renforcement des ouvrages d'art», OCDE, Paris, 1983
- [4] FAVRE R., ANDREY D., SUTER R.: «Méthodologie de surveillance», EPFL-IBAP, mandat de recherche OFR 32/82, Lausanne, juin 1987
- [5] Normes SIA 160, 162 (révision partielle 1993) et 169 (éd.1989), Société suisse des ingénieurs et architectes, Zurich
- [6] FAVRE R., ANDREY D., SUTER R.: «Maintenance et réparation des ouvrages d'art», EPFL-IBAP, Lausanne, 1986
- [7] Office fédéral des routes: «Détails de construction de pont: directives», Berne, 1990
- [8] Documentation SIA, D087: «Assurance de la qualité (AQ) des structures», Zurich, 1992
- [9] BONGARD J.: «L'assurance de la qualité des structures porteuses: le rôle de l'ingénieur», Documentation SIA, D087, Zurich, 1992
- [10] BOUBERGUIG A.: «Calcul statique des coques nervurées et précontraintes», thèse de doctorat N° 473, EPFL, Lausanne, 1983
- [11] BOUBERGUIG A.: «Calcul des coques nervurées et précontraintes par éléments finis avec pré et post-processeur», série théorie et méthode de calcul 262, Annales de l'ITBTP, Paris, février 1984
- [12] Office fédéral des routes: «Observation à long terme de la déformation des ponts», mandat de recherche 86/88, Berne, 1990
- [13] MARKEY L.-F.: «Enseignements tirés d'observations de déformations de ponts en béton et d'analyses non linéaires», thèse de doctorat N° 1194, EPFL, Lausanne, 1994
- [14] Laboratoire des matériaux de construction: Campagne d'essais, LMC/EPFL, Lausanne, 1994
- [15] STUCKY A.: «Etude sur les barrages arqués», *BTSR*, Lausanne, 1922
- [16] JACCOUD J.-P.: «Armature minimale pour le contrôle de la fissuration des structures en béton», thèse de doctorat N° 666, EPFL Lausanne, 1987
- [17] CEB-FIP: «Model Code 1990. Fina Dratt», Bulletins d'information N° 203/205, juillet 1991
- [18] OCDE, Groupe de recherche routière: «Durabilité des ponts routiers en béton», OCDE, Paris, 1989
- [19] BARON J. ET OLLIVIER J.-P.: «La durabilité des bétons», Presses de l'ENPC, Paris, 1992

### Intervenants

Maître de l'ouvrage	Direction des travaux publics du canton de Fribourg, Département des Ponts et Chaussées
Mandataire principal	Association d'ingénieurs: Bongard & Zwick Ingénieurs-Conseils SA C. von der Weid Ingénieurs-Conseils SA
Groupe du projet	Architecte: Charles Passer Géomètre: Pierre Guillaume SA Géologue: CSD SA
Environnement	Triform SA
Expert	H.-U. Frey, ing. dipl. EPF/SIA, Frey & Associés, Lausanne
Pont provisoire	Consortium Tacchini SA, Frutiger SA

## Nouvelle publication de l'Office fédéral des routes

Le rapport «Sollicitations de ponts dues aux charges du trafic routier» est disponible en langue allemande, avec des résumés français et allemand. Il a été élaboré par le bureau d'ingénieurs H. Rigendinger de Coire. En s'appuyant sur de nombreuses illustrations, cette étude établit une comparaison entre les sollicitations de ponts dues aux charges du trafic routier figurant dans les normes SLS 160 de 1956, 1970 et 1989. Destiné tant aux représentants des maîtres d'ouvrage qu'aux ingénieurs-conseils chargés de l'entretien des ponts, le

document traite des sollicitations de la dalle et des poutres principales (de section ouverte et fermée) pour les ponts en béton ou de construction mixte béton-acier, de largeurs de chaussée et de portées différentes. Il devrait aider à identifier les ouvrages susceptibles de présenter des problèmes de capacité portante. Il s'agit d'un instrument utile pour l'évaluation des ponts existants.

Il peut être commandé au prix de Fr. 45.- à l'Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3000 Berne (N° d'article: 308.332.d 200.9.1994).