Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 60 (1990)

Artikel: Le viaduc de l'Eau Rouge
Autor: Crémer, Jean-Marie
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-46522

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

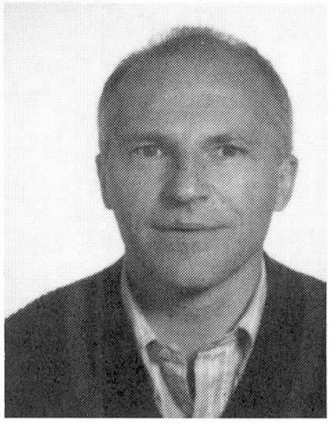
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Le viaduc de l'Eau Rouge

Eau Rouge Viadukt

Eau Rouge Viaduct

Jean-Marie CRÉMER
Ingénieur Civil
Bureau d'Études Greisch
Liège, Belgique



Jean-Marie Crémer, né en 1945, a obtenu son diplôme d'ingénieur civil des constructions à l'ULG Liège en 1968. Pendant 4 ans, il dirige des chantiers de génie civil. En 1973, il entre au bureau Greisch où il est actuellement responsable des études des ouvrages d'art.

RÉSUMÉ

Le viaduc de l'Eau Rouge est un ouvrage mixte dont la partie principale est un arc de 270 m d'ouverture composé de 2 petits caissons métalliques supportant le tablier par l'intermédiaire de montants et de diagonales. Cette portée centrale place cet ouvrage parmi les dix plus grands arcs du monde. Le dimensionnement aux états ultimes est basé sur l'Eurocode 4.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Viadukt von „Eau Rouge" ist eine Verbundkonstruktion. Die Hauptöffnung wird von einem Bogen von 270 m Spannweite überbrückt, welcher aus zwei kleinen, stählernen Hohlkästen besteht, die die Brückenfahrbahn mittels Stützen und Diagonalen aufnehmen. Mit dieser Spannweite ist der Bogen einer der zehn größten der Welt. Die Bemessung nach der Grenzzustandsphilosophie erfolgte auf der Grundlage des Eurocode 4.

SUMMARY

The Eau Rouge viaduct is a composite structure, the main part of which is a 270 m span length arch made of two steel boxbeams supporting the deck by means of columns and diagonals. This central span places this structure among the ten longest arches existing in the world. The structural design using ultimate limit state is based on the Eurocode 4.

SITUATION GENERALE

L'ouvrage se situe entre Francorchamps et Malmédy sur l'autoroute E 42 (ex A 27) Verviers - Saint-Vith - Prüm - Francfort.

C'est pour permettre le développement industriel et touristique de la région des Hautes Fagnes et de l'Eifel que les états belges et allemands ont décidé simultanément en 1972 de construire une autoroute entre Verviers en Belgique et Prüm en Allemagne pour relier entre elles des autoroutes déjà existantes. La longueur du tronçon à réaliser en Belgique est de 52,5 km comprenant 9 viaducs dont celui de l'Eau Rouge qui est le dernier ouvrage à réaliser à l'heure actuelle.

PRESENTATION GENERALE DE L'OUVRAGE

L'autoroute traverse la vallée de l'Eau Rouge en la surplombant à une hauteur de 45,0 m. Ce site bien connu des promeneurs, fagnards et naturalistes, l'est également par sa source ferrugineuse et carbo-gazeuse : le Pouhon de Bernister.

L'agressivité du sol de fond de vallée, spécialement au Sud du ruisseau, a nécessité une portée centrale de 270,0 m pour éviter la zone de terrain décomposé, siège d'eau carbogazeuse où l'acidité est telle que le ph est inférieur à 3.

Cette portée centrale est franchie grâce à deux arcs en caissons métalliques entredistants de 14,0 m sur lesquels vient s'appuyer le tablier mixte par l'intermédiaire de montants et diagonales. De part et d'autre de cette travée centrale, les travées d'approche sont de 33,75 m et 5 fois 45,0 m au Nord, 2 fois 45,0 m et 33,75 m au Sud. Le viaduc a une longueur totale de 652,50 m.

Le tablier mixte acier-béton a une largeur de 27,0 m avec deux chaussées, chacune comportant deux bandes de circulation de 3,75 m et une bande d'arrêt d'urgence.

INFRASTRUCTURE

La qualité du sol a permis de s'appuyer en fondation directe sur le rocher. La pression maximale admissible a été prise égale à 10 kg/cm² sauf pour l'appui de l'arc en rive gauche (Sud) où la pression admissible a été réduite à 5 kg/cm² en raison de la forte tectonisation.

Le viaduc comporte deux culées d'extrémité C1 et C2, sept piles intermédiaires des travées d'approche P1 à P5, P8 et P9, et deux appuis d'arcs avec piles renforcées P6 et P7.

Les culées en béton armé sont composées d'une poutre chevêtre creuse avec murs en retour et mur garde-grève posés sur deux voiles verticaux de 1,80 m d'épaisseur, ceux-ci encastrés chacun dans une semelle de fondation. La hauteur de C1 est de 21,80 m, celle de C2 13,60 m.
Les piles intermédiaires sont constituées de deux colonnes de 3,60 m de diamètre extérieur et 3,0 m intérieur posées sur des semelles indépendantes dont la surface d'appui varie de 6,50x7,00 à 7,50x8,50 m².

Les colonnes sont renforcées en tête pour recevoir l'appui de la superstructure.
La hauteur des piles varie de 18,30 à 42,0 m.

Les fondations d'arcs sont des massifs en béton armé de 13,0 m x 20,0 m par 4,0 m d'épaisseur en P6 (rive droite) et de 20,0 m x 26,0 m par 4,0 m d'épaisseur en P7 (rive gauche), inclinés sur l'horizontale de 20 à 25°.
Chacun de ces massifs compte deux fourreaux en béton armé destinés à recevoir les naissances d'arc en acier et à les protéger des eaux agressives. Les arcs métalliques prennent appui sur la semelle de fondation par l'intermédaire d'un bloc intermédaire en béton comportant des niches à vèrins et permettant un règlage ultérieur éventuel des pieds d'arc.

Sur chacune des semelles d'arc sont encastrées deux colonnes de 4,20 m de diamètre extérieur et 3,0 m de diamètre intérieur, renforcées en tête, et dont la hauteur hors tout est de 51,30 m en P6 (rive droite) et 44,60 m en P7 (rive gauche).

Les semelles de fondation et les pieds de colonnes situés dans les zones d'eaux agressives sont protégés pour éviter la désagrégation du béton.
Ce béton, de qualité 40, est composé de granulats et sables quartzeux et siliceux et doit avoir un rapport E/C < 0,4. Il est entouré d'une enveloppe protectrice en PEHD.

SUPERSTRUCTURE

Les deux arcs métalliques dont l'ouverture est 270,0 m ont une forme parabolique de rayon minimum 150,0 m et d'une flèche d'environ 50,0 m.
Les deux caissons, entredistants de 14,0 m, ne sont reliés entre eux par aucun contreventement, sauf pendant les phases de montage.
Les arcs supportent le tablier par l'intermédiaire de montants et diagonales entredistants de 33,75 m.
Sur 67,0 m en clé, l'arc et le tablier se confondent pour ne plus former qu'un caisson unique de hauteur variable.

Chacun des arcs est formé d'un petit caisson métallique dont les dimensions extérieures sont 2,70 m x 2,70 m.
Ce caisson est formé de quatre tôles (de 30 à 60 mm d'épaisseur), chacune raidie longitudinalement par 1/2 HEB 500 qui s'appuie tous les 4,0 m sur un diaphragme transversal.
Les noeuds de liaison des arcs avec les montants et diagonales sont évidemment renforcés de même qu'à la naissance des arcs, la transmission des efforts au béton se fait par une plaque d'assise raidie.

Le tablier est du type poutre continue mixte.
Il est constitué de deux petits caissons métalliques à âmes verticales associés à une dalle de plattelage en béton armé.

La dalle de plattelage de 26,70 m de large et dont l'épaisseur varie de 18 à 50 cm, porte sur les quatre âmes des caissons. Elle est fixée aux semelles supérieures par des goujons connecteurs.
Le porte-à-faux extérieur est de 5,0 m et la portée intérieure de 11,30 m.

Les caissons de tablier sont de hauteur constante 2,0 m, sur 80 % de la longueur de l'ouvrage. Cette hauteur est variable de 2,0 à 7,0 m dans la zone commune arc-tablier et sur 33,75 m de part et d'autre.

Les caissons sont constitués d'âmes non raidies (de 15 à 25 mm d'épaisseur), de semelles supérieures de 60 cm de large (épaisseur variable de 20 à 80mm), d'un fond de caisson raidi par trois raidisseurs longitudinaux 1/2 IPE 360 ou 1/2 IPE 500 (épaisseur variable de 12 à 90 mm).
Les cadres d'entretoisement sont entredistants de 5,625 m. Ils sont renforcés au droit des piles et aux jonctions du tablier avec les montants et diagonales.
Dans la zone commune arc-tablier, les âmes sont raidies longitudinalement pour éviter le voilement sous l'effet de la compression importante de l'arc.

FABRICATION ET MONTAGE

Les colonnes sont bétonnées dans des coffrages grimpants voligés par levées de 4,0m.

Les caissons d'arc et de tablier sont fabriqués en usine par tronçons dont le poids est inférieur à 65 tonnes.
Les travées d'approche sont assemblées sur terre ferme par boulons HR et lancées en place par poussage.
La travée d'arc est montée en encorbellement par un portique à partir des naissances jusqu'à la clé. L'équilibrage se fait par des tirants ancrés dans le rocher.

Le bétonnage de la dalle nécessite un coffrage sur équipage mobile s'appuyant sur la structure métallique et avançant par pas de 15,0 m en respectant des phases qui permettent de limiter les tractions dans le béton.

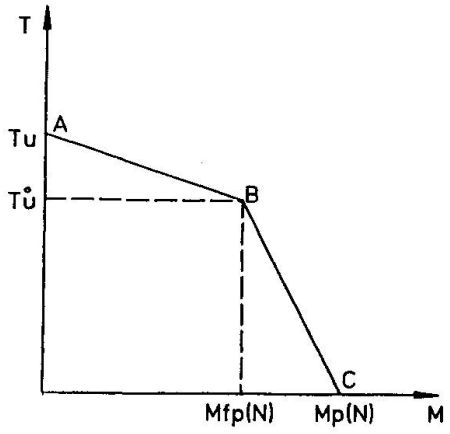
ETUDES

Les études de stabilité du viaduc sont basées sur le concept des ETATS LIMITES et s'inspirent principalement des EUROCODES 3 et 4. L'absence, au moment de l'étude du projet, de directives précises relatives aux sections mixtes acier-béton en présence d'efforts normaux importants, a conduit au développement d'une étude théorique dont le but fut la définition de critères spécifiques d'interaction M,N,T à l'état limite ultime.

La méthode tient compte de la réserve post-critique de l'âme, due à l'apparition d'une bande de traction diagonale, telle que proposée par CARDIFF. Cette bande de traction s'ancre partiellement dans la semelle supérieure constituée par la dalle de béton et le patin métallique. La longueur de cet ancrage décroit avec la réserve de la semelle vis-à-vis de l'écoulement plastique.

La vérification d'une section mixte suit le schéma suivant:
- détermination de la section équivalente plastique, où l'équivalence est basée sur le rapport de résistance des matériaux;
- classification de cette section en fonction des sollicitations ELU, on distinguera les sections compactes (classe 2), des sections élancées (classe 4).

- Les sections compactes, essentiellement celles soumises à un moment positif, peuvent développer totalement leurs caractéristiques plastiques (diagramme bi-rectangulaire des contraintes normales).
  La stabilité de la section est assurée si le point représentatif d'un état de calcul ELU est intérieur au tracé ABC.



Mfp(N): moment plastique, en présence de l'effort normal de calcul, de la section limitée aux 2 semelles.

Mp (N): moment plastique, en présence de l'effort normal de calcul, de la section complète.

Tu : effort tranchant ultime tenant compte de l'ancrage maximum de la bielle de traction dans la semelle supérieure.

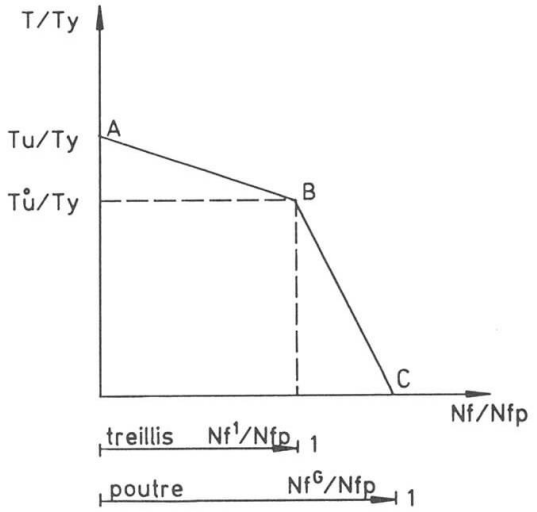
Tu° : effort tranchant ultime sans cet ancrage.

- Les sections élancées, essentiellement celles soumises à un moment négatif, respectant une distribution linéaire des contraintes normales.

Le critère de stabilité se présente de la façon suivante:

Dans le fonctionnement en treillis, la section se limite aux deux semelles.

Dans le fonctionnement en poutre, l'âme est prise en compte, compte-tenu d'une éventuelle perte d'efficassité.



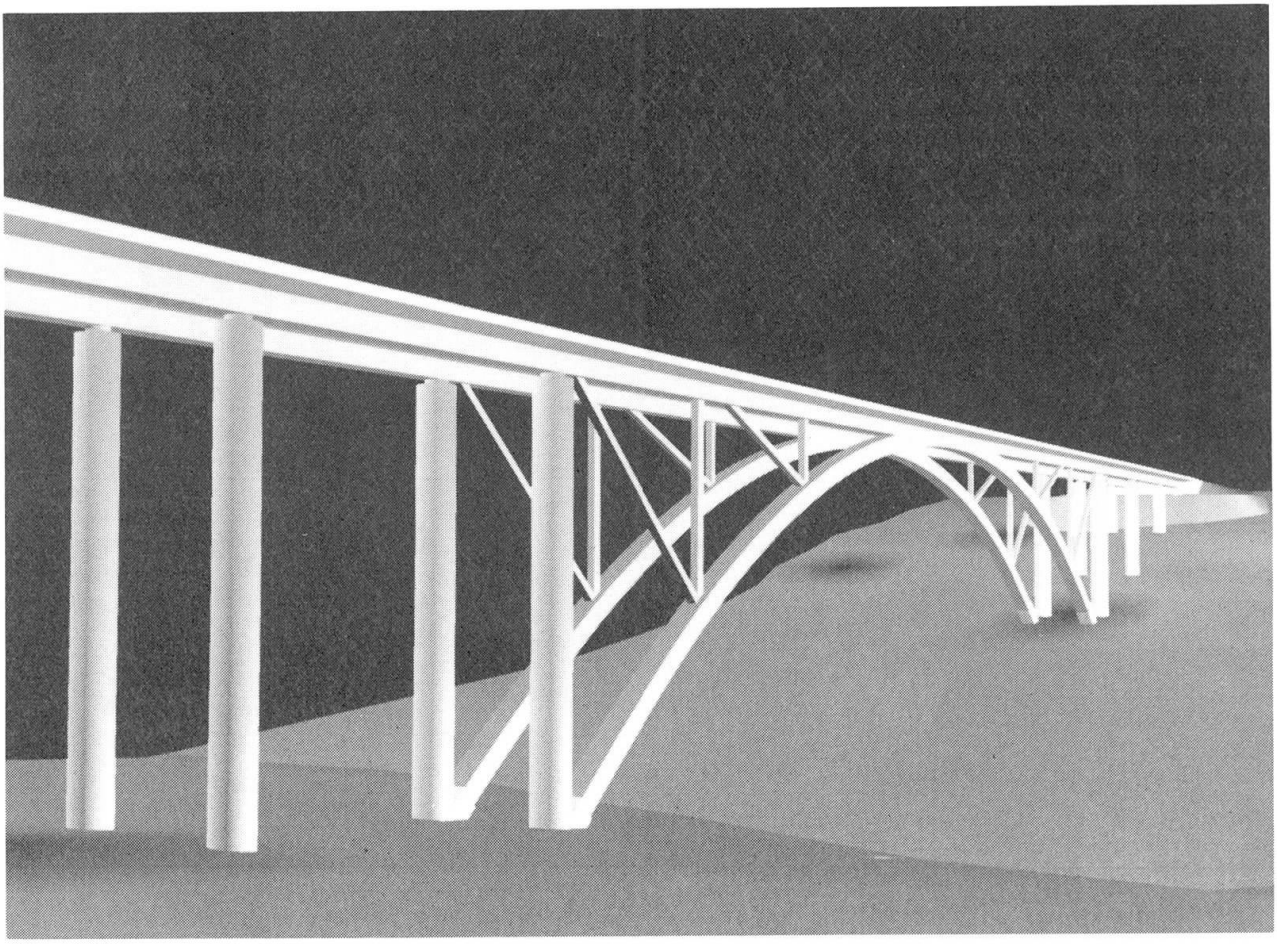
Nfp est l'effort normal ultime dans la semelle la plus sollicitée;

Nf^1 et Nf^G l'effort normal dans cette semelle respectivement dans l'hypothèse du fonctionnement en treillis et dans celle du fonctionnement en poutre;

Ty est l'effort tranchant plastique de l'âme;

T est l'effort tranchant de calcul;

Tu et Tu° définis précédemment



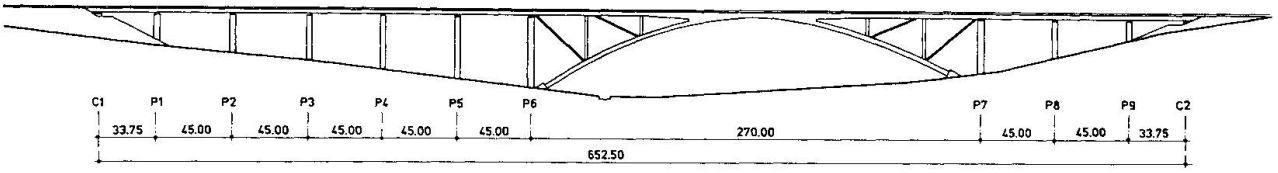
CALCULS SPECIAUX

La structure a fait l'objet de plusieurs calculs spéciaux entrepris avec le programme de calcul non linéaire, FINELG.
Ce logiciel écrit sur la base de la théorie des éléments finis, permet d'obtenir 3 types de résultats:
- des fréquences propres et les modes de vibration de la structure avec ou sans prise en compte de ses efforts internes;
- les charges critiques et les modes d'instabilité de la structure;
- comportement pas à pas de la structure en cours de chargement, avec la prise en compte des phénomènes d'instabilité des lois constitutives élasto-plastiques du matériau, des contraintes résiduelles, etc...

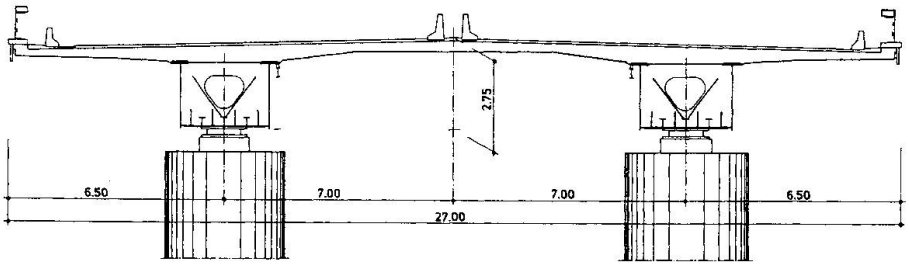
Dans un premier temps, l'ensemble du viaduc a été discrétisé avec des éléments de poutres spatiales afin de vérifier son comportement global. Les études réalisées ont permis d'obtenir:
- ses fréquences propres de vibration;
- ses premiers niveaux de charges critiques sous un chargement vertical;
- grâce à un calcul non linéaire pas à pas la quantification des effets du second ordre lors du chargement simultané du viaduc par le vent et les charges verticales.

Dans un second temps, les diaphragmes des caissons au droit des piles ont fait l'objet d'une étude détaillée. Trois géométries ont été traitées et discrétisées avec des éléments de coques. Les simulations numériques ont permis d'obtenir:
- leurs charges critiques;
- leur charge et leur mode de ruine après avoir pris en compte tous les phénomènes d'instabilité et la loi élasto-plastique de l'acier.

VUE EN ELEVATION



COUPE TRANSVERSALE



VIADUC DE L'EAU ROUGE