

**LE DÉVELOPPEMENT DURABLE EN GÉNIE CIVIL,
DEUX PASSERELLES EXEMPLAIRES :
*LA PASSERELLE SIMONE DE BEAUVOIR À PARIS ET
LA PASSERELLE SUR LE RHIN ENTRE HUNINGUE ET WEIL AM RHEIN***

Dietmar FEICHTINGER, José Luis FUENTES

FEICHTINGER Architectes



Passerelle Simone de Beauvoir



Passerelle sur le Rhin

Les deux passerelles présentées dans cet exposé sont des symboles de maîtrise du développement durable dans le génie civil en raison du parfait respect des exigences environnementales, économiques et sociales.

Les deux passerelles sont des structures en acier légères et très élancées, avec des portées de 194 mètre sur la Seine et 230 mètres sur le Rhin. Dans les deux cas les méthodes de fabrication et montage représentent des efforts importants pour une maîtrise de la qualité de l'ouvrage liée à une diminution de son impact dans l'environnement.

La fabrication des deux structures comporte des similarités dues à :

- 1) la préfabrication,
- 2) au transport et
- 3) à l'assemblage sur site et le montage des travées principales.

1. PREFABRICATION

La préfabrication en atelier représente des avantages à la productivité. La sécurité des ouvriers est assurée tout en garantissant une bonne qualité d'exécution par une maîtrise des soudures et de la géométrie de l'ensemble. La réussite du travail contrôlé se traduit par une meilleure durabilité de l'ouvrage.

Les deux ouvrages privilégient la soudure pour presque la totalité des assemblages. Ceci conditionne la subdivision des structures en tronçons qui seront ensuite assemblés en atelier ou sur site.

Cette conception est aussi due aux volontés architecturales et de respect du site de chacun des ouvrages que nous rappelons ci-après :

PASSERELLE SIMONE DE BEAUVOIR, PRÉSENTATION

La nouvelle passerelle Simone de Beauvoir franchit la Seine pour relier les quartiers de Tolbiac à Bercy, la Bibliothèque nationale François Mitterrand au Parc de Bercy. Le projet retenu en mars 1999 est le résultat d'un concours international anonyme organisé par la Ville de Paris. Il a été conçu par l'équipe d'architectes de l'agence Feichtinger Architectes, les études techniques ont été menées par RFR ingénieurs.

4 niveaux reliés

La nouvelle passerelle répond à la nécessité de donner à la Seine un rôle urbain central, comme au cœur de Paris. Elle est en continuité avec les promenades sur les quais et les berges et relie le parvis de la Bibliothèque nationale de France et le nouveau parc de Bercy au fleuve. En traversant la Seine, elle enjambe aussi les voies à grande circulation qui la bordent. Limitée par les deux ponts relativement distants de Tolbiac et de Bercy, la Seine forme ici un vaste plan d'eau. Pour ne pas encombrer cet espace dégagé exceptionnel à Paris, la passerelle franchit le fleuve et ses berges d'une seule traite sans pile intermédiaire.

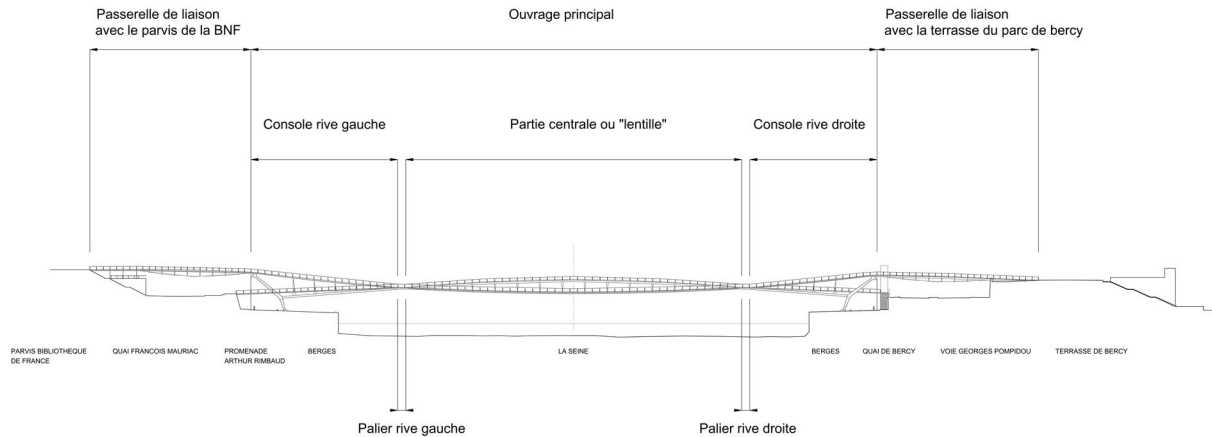


Entrelacs de cheminements en harmonie parfaite avec une structure arc-catène de grande portée

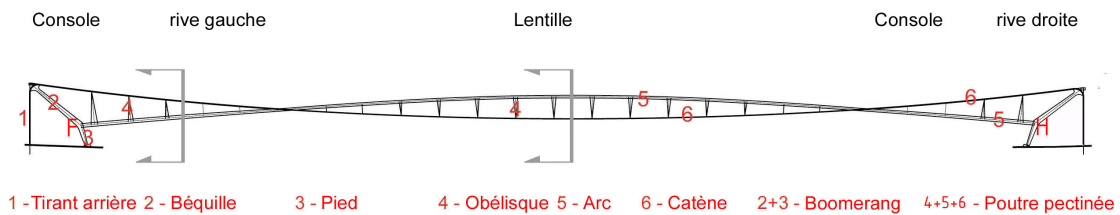
La passerelle lie d'une manière indissociable architecture et technique. D'une portée libre de 194 mètres elle est constituée de deux éléments synergiques, un arc très élancé et une suspente caténaire tendue qui collaborent et s'équilibrent. Cette structure a été retenue pour ses potentialités spatiales et pour son efficacité, gage de robustesse et de légèreté.



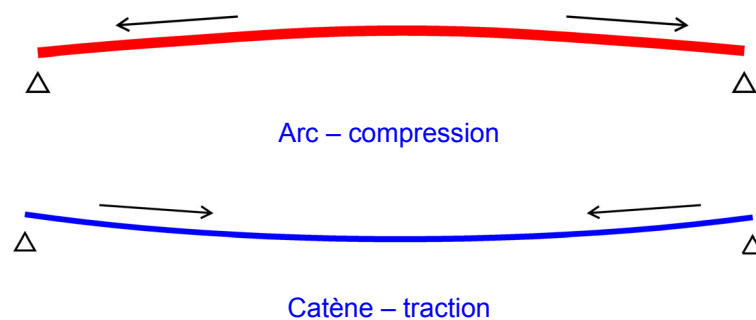
Ses courbes sont associées à trois tabliers parallèles, l'un s'élevant au centre avec l'arc, les deux autres suivant de part et d'autre la cambrure des caténaires. Au tressage des lignes de force répond l'entrelacs des cheminements. Une poésie s'instaure, qui laisse au passant la liberté de monter ou de descendre vers l'eau, de choisir des voies de traversée pour découvrir le site.



Le pont, d'une longueur totale de 304 mètres, est composé de la travée centrale franchissant la Seine et de deux passerelles secondaires traversant les voies.



La rencontre des deux courbes forme une partie centrale appelée lentille. La structure du franchissement principal est constituée de deux arcs et deux caténaires associés dans deux plans verticaux distants de 5,20 m.

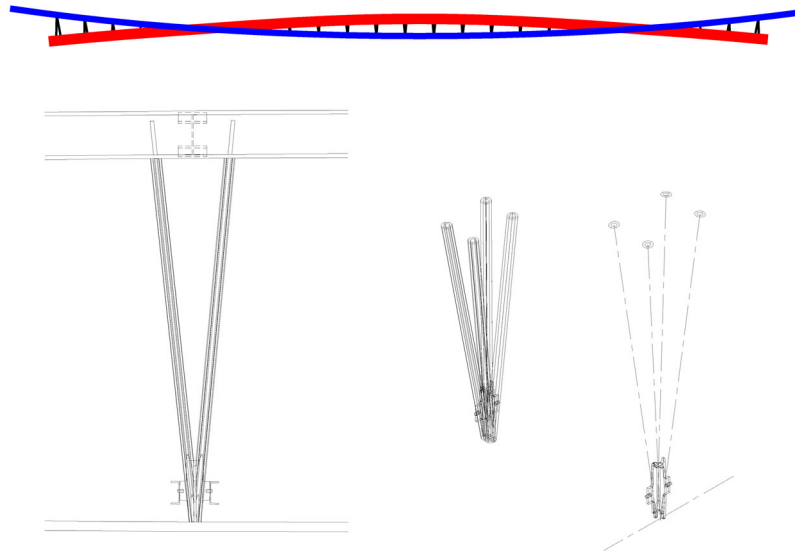


L'arc et le tirant se croisent au quart de leur portée définissant 3 séquences :

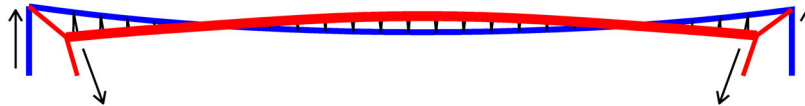
2 consoles latérales d'une longueur de 47m en Rive Gauche, de 41m en Rive Droite et la partie centrale centrée sur la Seine formant une lentille d'une longueur de 106m.



L'arc et la caténaire sont reliés par les «obélisques» - montants verticaux effilés encastrés sur l'arc – et forment ainsi une poutre de type demi-Vierendeel.



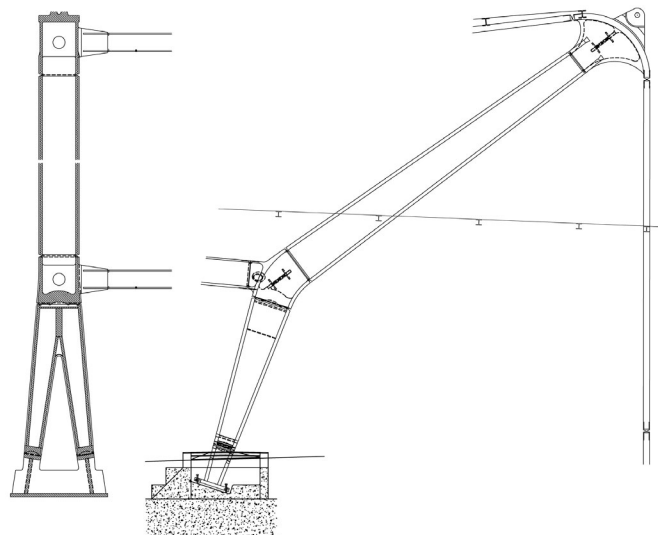
Cette poutre, encastrée sur les berges aux culées et articulée aux quarts de la portée, fonctionne comme un système Gerber, caractérisé par une réduction des inerties nécessaires.



Les culées sont composées de deux bielles et de deux tirants verticaux. La forme coudée des bielles permet de répartir les charges entre les fondations et l'arc.



Les culées sont sollicitées doublement, par les poussées générées par les arcs et par les tractions amenées par les catènes. Ce moment d'encastrement est transmis aux fondations par les deux boomerangs inclinés et par les deux tirants arrière verticaux.

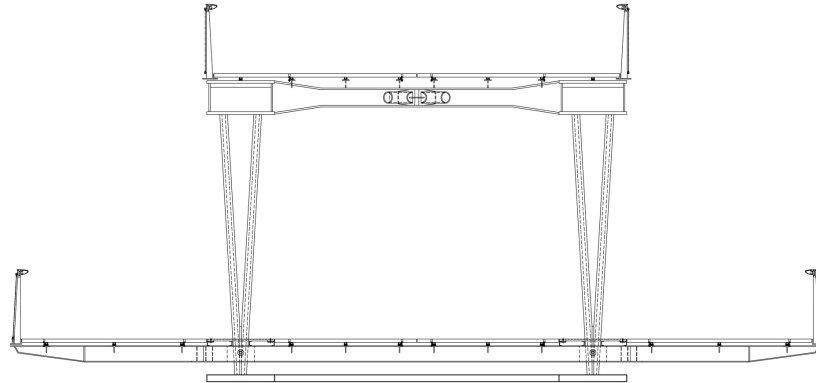


L'inclinaison du pied du boomerang dans le plan vertical a pour effet d'induire une traction globale dans l'ouvrage. Cette traction permet de soulager la compression dans les arcs.

En l'absence de poutre au vent horizontale dans le plan des catènes sur Consoles, la stabilité horizontale transversale des culées est assurée par le cadre portique constitué des béquilles et des traverses de boomerang.

Chaque caténaire est constituée des plats en acier d'une largeur de 100cm et d'une épaisseur de 10cm (pour la lentille) et de 15cm pour les parties latérales. Les deux arcs, ainsi que les «obélisques» et les bielles d'ancrage sont des caissons reconstitués soudés en tôle d'acier. Une structure secondaire porte les tabliers.

Les tabliers croisés de la passerelle se décomposent en trois bandes longitudinales, séparées par les deux plans des poutres semi-Vierendeel. Les deux bandes latérales sont donc en débord de 3,5 mètres environ par rapport à la structure porteuse, y induisant de ce fait des torsions importantes.



Pour y résister, les tabliers de la lentille sont contreventés dans leur plan et constituent ainsi un caisson avec les deux plans porteurs verticaux.

Sur les Consoles, seul le tablier entre arcs est contreventé, impliquant une résistance à la torsion non plus par un caisson, mais par une structure en U.

A l'articulation entre la lentille et les consoles, où la hauteur structurelle devient très faible, un caisson fermé faisant toute la largeur du tablier central vient pallier la faible inertie de torsion dans cette zone.

Les ouvrages de franchissement des quais sont pour l'essentiel indépendants de l'ouvrage central. Leur structure est composée de deux poutres isostatiques sur appuis simples portant sur environ 35 m. Chacune est composée d'une membrure comprimée dans le plan du tablier, sous-tendue par un tirant funiculaire.

Préfabrication de la passerelle

La préfabrication en atelier d'éléments ou de tronçons de l'ouvrage a été privilégiée, afin de minimiser les opérations de soudage et d'assemblage en place.



La lentille (longueur 106m, largeur 12m, poids 550t) a été préfabriquée entièrement en atelier à Lauterbourg en Alsace à partir d'un découpage en 9 tronçons.

Les passerelles de liaisons ont été préfabriquées en atelier en 4 tronçons, qui ont été ensuite expédiés sur le chantier, puis assemblées soit sur les berges.

Les étapes de fabrication de la passerelle ont été les suivantes :

1. Début du chantier novembre 2004. Réalisation sur site des fondations «spéciales» (tirants d'ancrage, barrettes d'appui). Assemblage des tronçons des consoles rive gauche et rive droite fabriqués à l'usine EIFFEL de Maizières-les-Metz et Secofab.
2. Travée centrale - la lentille. Fabrication à Lautembourg, Alsace et acheminement par bateau vers Paris, le 30.11.2005 (Rhin - Mer du Nord - Seine)
3. Mise en place de la lentille dans la nuit du 28 au 29.01.2006.
4. Etablissement de la continuité entre la travée centrale et les consoles par soudage, février 2006.
5. Mise en place des passerelles de liaison, de l'équipement de la passerelle (platelage bois, garde-corps, éclairage), des ascenseurs.
6. Ouverture au public : juillet 2006.

PASSERELLE SUR LE RHIN, PRÉSENTATION

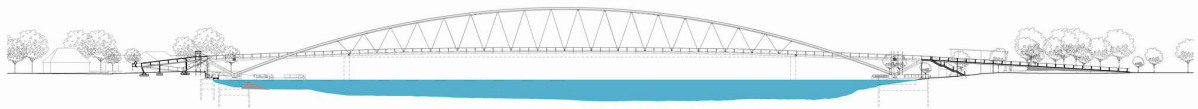


L'arc tendu entre la France et l'Allemagne est un acte symbolique qui affirme le lien entre les deux pays situés de chaque côté du Rhin. La passerelle pour piétons et vélos s'inscrit harmonieusement dans le paysage grâce à la finesse des éléments de sa structure.

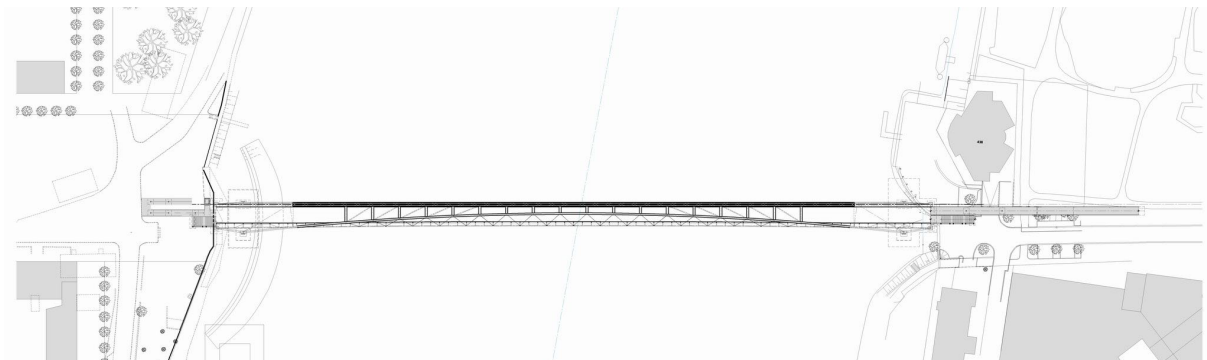
Cet exploit est fondé sur la volonté de :

- Respecter la largeur du bassin fluvial, particulièrement vaste à cet endroit, et préserver la beauté majestueuse que cette immensité confère au paysage. La hauteur totale de l'ouvrage au dessus de l'eau est de 24,75 m, pour 230 mètres de portée.
- Faciliter le passage et les manœuvres des bateaux à proximité immédiate du port de Bâle sans encombrer le fleuve avec des piles. Le chenal navigable à respecter est d'une largeur de 155 m pour une hauteur libre de 7,8 m.
- Créer un axe de circulation pour piétons et vélos entre les deux villes et favoriser un échange direct entre les populations des deux pays.

En élévation l'arc est symétrique par rapport au fleuve, c'est l'élément stable dans le paysage.



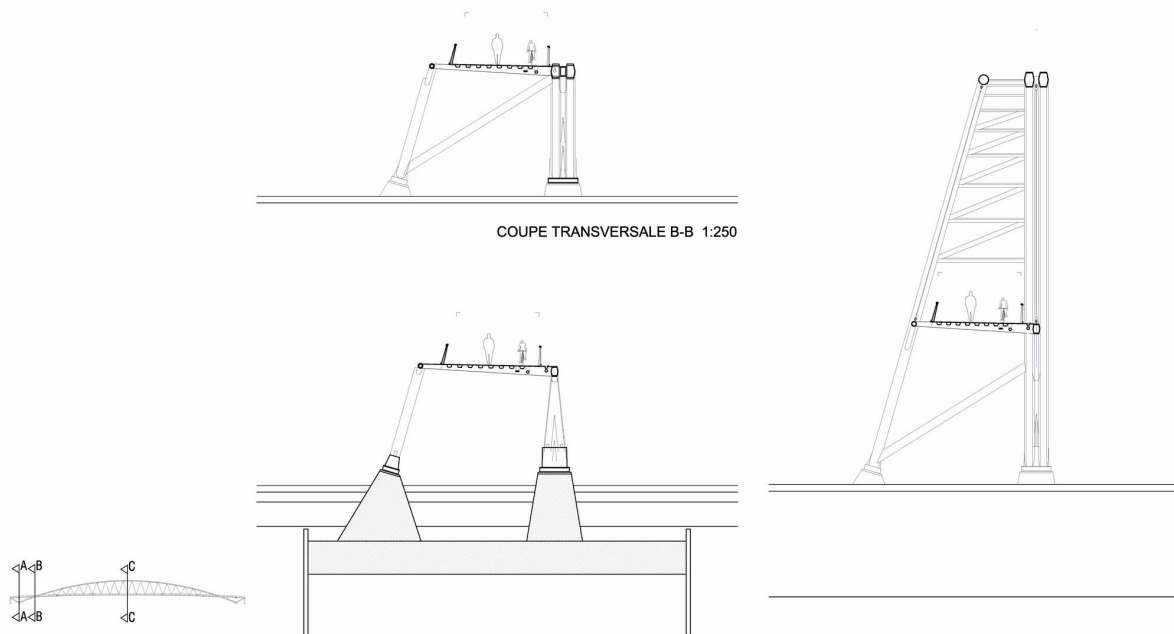
Elévation



Vue en plan

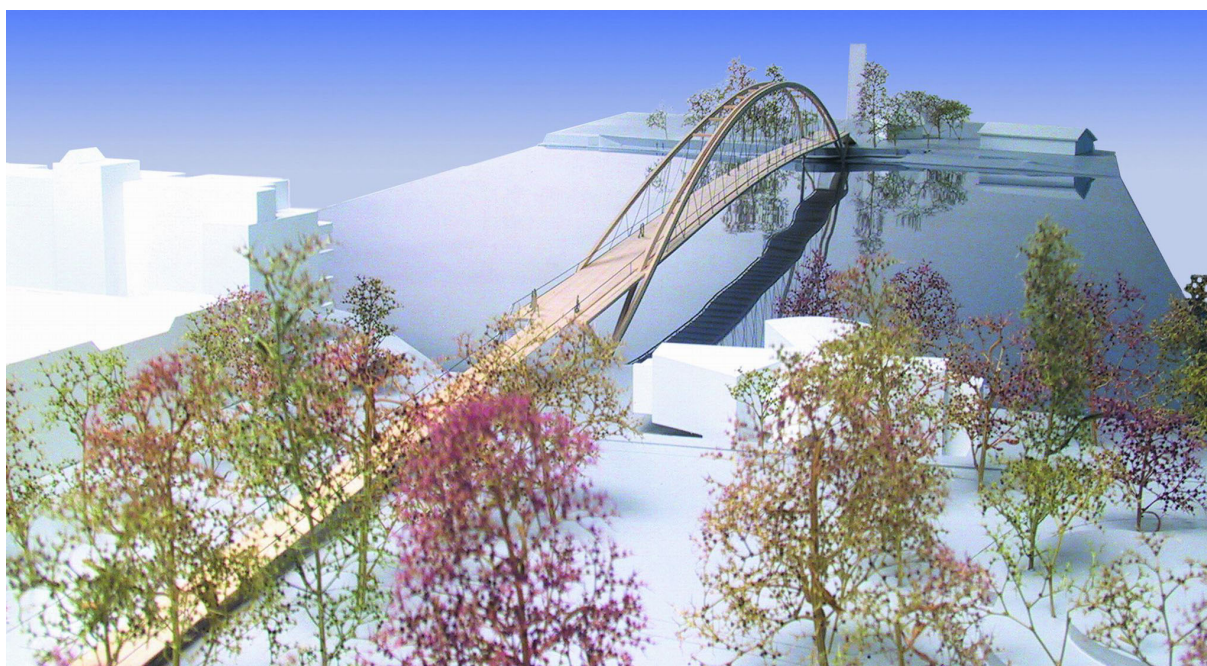
La structure est asymétrique en plan: le côté aval (Nord) est vertical et composé de deux profils hexagonales, tandis que l'arc en amont (Sud) est un tube rond qui s'incline d'environ 18° pour ouvrir l'axe visuel entre les 2 pays. La passerelle accompagne l'axe et crée le lien physique.

Le tablier du pont d'une largeur moyenne de 5m est constitué d'une structure en tôle d'acier aussi asymétrique, tenue par des traverses allant de 5,5 à 7 mètres. La poutre côté aval est un profil hexagonal comme ceux qui conforment l'arc. La poutre côté amont est un tube rond de 250mm de diamètre.



Les conditions d'accès au pont sont différentes des 2 côtés et répondent à des situations urbaines distinctes.

Côté allemand (Weil am Rhein) une longue rampe relie naturellement la passerelle à la ville et au parc, accompagnée d'un escalier pour un accès à la berge du Rhin.



Côté français (Huningue) une grande place urbaine sera aménagée, la « Place Weil ». L'accès au pont se fait par un escalier, et une rampe courte pour les cyclistes. Un ascenseur donne accès aux personnes à mobilité réduite.

Cette passerelle de mille tonnes d'acier aux lignes épurées se fond dans le paysage grâce à la finesse de sa structure et s'impose comme un lien tangible entre les trois communes Huningue en France, Weil-am-Rhein en Allemagne, et Bâle en Suisse, grâce à l'élégance et la force de son dessin.

La passerelle a été conçue par l'équipe d'architectes de l'agence Feichtinger Architectes, les études techniques ont été menées par les ingénieurs de Leonhardt, Andrä und Partner à Berlin.

La société Max Bögl est le constructeur de la nouvelle passerelle.



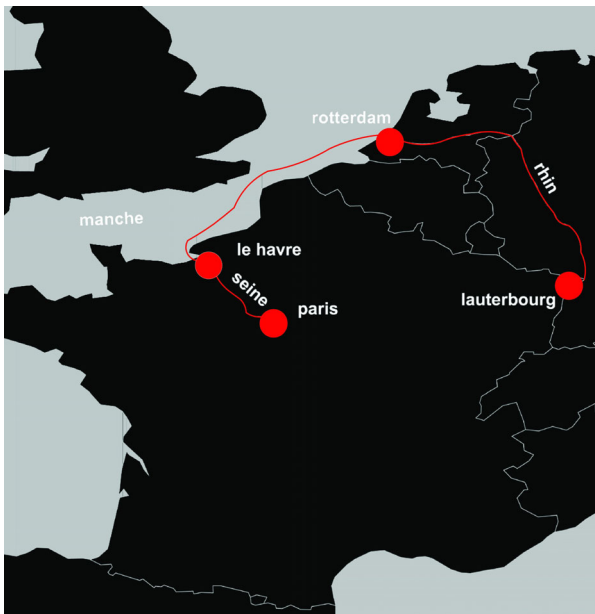
La préfabrication a été réalisée dans les ateliers de Neumarkt en Allemagne, avec la fabrication d'un ensemble de pièces en acier moulé pour les nœuds complexes dans la jonction entre arcs et tablier. Ces éléments ont permis d'assurer la géométrie finale de l'ouvrage tout en diminuant les assemblages complexes de l'ensemble.

2. TRANSPORT

Les pièces maîtresses des deux ouvrages ont été acheminées sur les chantiers en grande partie par voie d'eau, transport beaucoup moins polluant et dangereux qu'un transport par la route.

Dans le cas de la Passerelle Simone de Beauvoir la lentille (longueur 106m, largeur 12m, poids 550t) a été préfabriquée entièrement en atelier à Lauterbourg en Alsace et amenée sur site sur 2 barges articulées en longueur complète avant levage. Le transport a été confié à l'entreprise Belge Sarens.

Trajet : descente du Rhin en traversant l'Allemagne et les Pays Bas, passage de la Mer du Nord entre Vlissingen (Pays Bas au sud de Rotterdam) et Le Havre, remontée de la Seine en passant des écluses notamment l'écluse de Notre Dame de la Garenne d'une largeur de 12m, traversée de Paris et accostage à quai.



Durée du trajet : 1 mois suite à l'attente d'une houle acceptable pour le passage de la Mer du Nord (houle admissible maximale de 1m20).

Période : Novembre 2005

Départ de la lentille de Lauterbourg le 19 octobre 2005.

Arrivée à Vlissingen le 31 octobre 2005.

Passage écluse Notre Dame de la Garenne le 26 novembre 2005.

Arrivée à Paris le 30 novembre 2005.



Dans le cas de la Passerelle sur le Rhin, l'ensemble des tronçons ont été transportés par la route jusqu'au Rhin, et ensuite remontés par voie d'eau jusqu'au chantier même.

Le transport par voie fluviale a permis d'alimenter facilement le chantier situé au bord du fleuve, en évitant les contraintes dues aux convois exceptionnels et blocages des routes avoisinantes.



Manutention des éléments en usine



Tronçons prêts à être expédiés



Assemblage des tronçons sur chantier sur échafaudage

3. ASSEMBLAGE SUR SITE, MONTAGE DES TRAVÉES PRINCIPALES

La préfabrication dans le cas des deux passerelles a aussi comme conséquence un faible impact sur le chantier. Elle permet de minimiser les nuisances réduisant l'encombrement sur le site. Les activités des riverains peuvent se poursuivre pendant le chantier.

Une autre particularité du montage de ces passerelles est que la mise en place des pièces principales se fait seulement dans quelques heures.

Ces méthodes permettent de réduire l'impact sur la navigation qui dans les deux cas est très importante. La Seine à hauteur de la passerelle Simone de Beauvoir présente un fort passage de bateaux mouches et des péniches de transport. La Passerelle sur le Rhin se trouve proche du Port de Bâle desservant 3 pays : la France, l'Allemagne et la Suisse.

Passerelle Simone de Beauvoir, montage de la structure de la passerelle principale et des passerelles de liaison

Le montage de la travée centrale de la passerelle a été effectué en tenant compte de la séquence suivante :

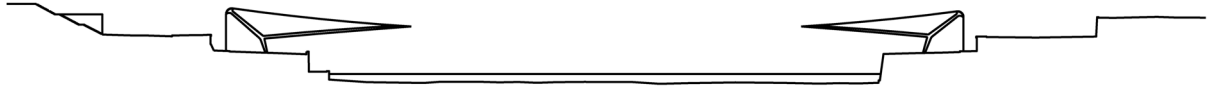
Mise en place du fléau de transfert de charges, du tirant arrière à la fondation, au fond de la chambre de visite avant coulage de la chape béton supérieure.



Mise en place des ancrages des pieds de boomerang.

Montage et assemblage aux ancrages des culées, avec mise en place de butons de stabilisation provisoire des pieds de boomerang en rive gauche (blocage de la double articulation).

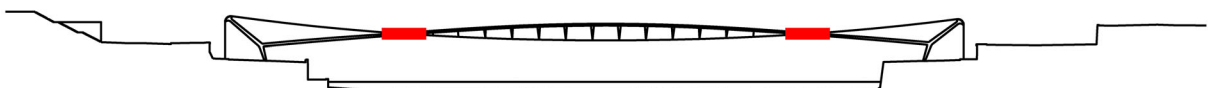




Montage, soudage et réglage des consoles. Le réglage est effectué au moyen d'un système de vérins situé en base des tirants arrières (dans la chambre de visite de chaque fondation).

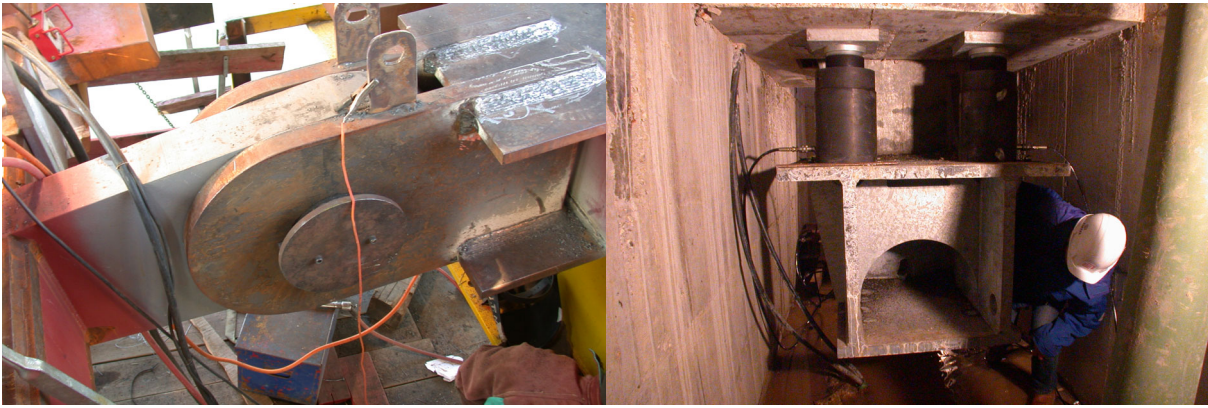


Levage et fixation par articulation de la lentille sur les consoles en attente. Cette opération a été accomplie la nuit du 29 janvier 2006 avec coupure du trafic fluvial. L'opération a été menée par l'entreprise Eiffel et Sarens.

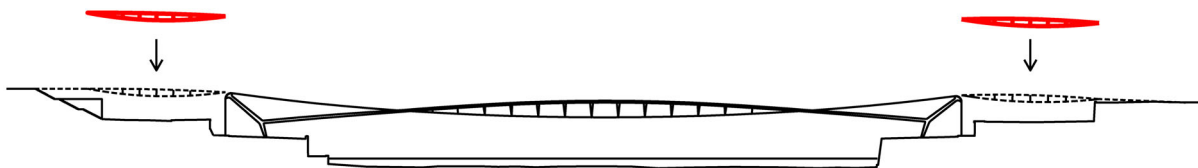


Enlèvement des boutons de stabilisation provisoire des pieds de boomerang en rive gauche.

Une fois la charpente de la passerelle principale intégralement mise en place, y compris la structure secondaire, réglage définitif au moyen de vérins en base des tirants arrières. Après réglage, soudure définitive des paliers entre lentille et console.



Les vérins utilisés au niveau de l'ancrage des tirants arrières sont prévus pour le réglage fin de la géométrie des consoles en phase de montage et de l'ensemble de la passerelle avant soudage des paliers. Une fois la géométrie réglée, les vérins sont remplacés définitivement par des cales



Levage et montage des passerelles de liaisons : ces opérations ont été accomplies en l'espace d'une nuit avec coupure du trafic routier.



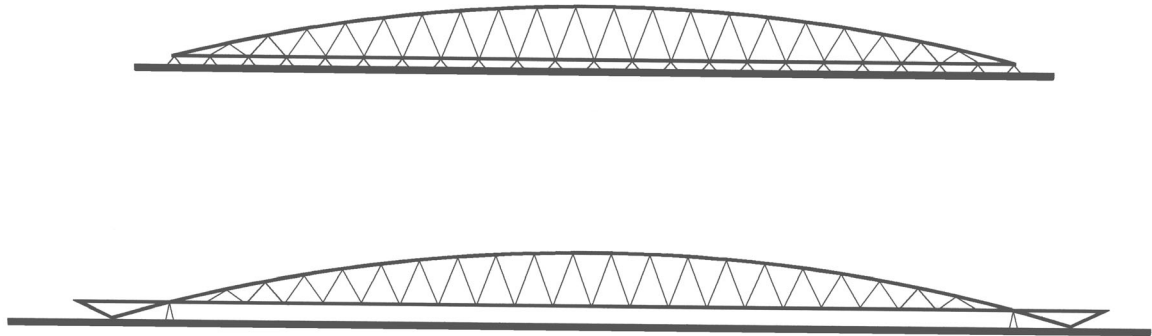
Pose du platelage et des garde-corps comprenant l'éclairage

Pose des amortisseurs et réglages.

Passerelle sur le Rhin, montage de la travée principale

La structure en acier de la passerelle a été assemblée sur son site de montage – le port de la chambre de commerce à Huningue, en amont du pont du Palmrain.

Des appuis provisoires ont permis la mise en place successivement du tablier, des arcs et les 805 m de suspentes (câbles de section entre 30 – 60 mm).



Avant sa mise en place, la passerelle était équipée de son garde corps, protégé par une bâche, et peinte avec le système 3 couches définitif.



Les fondations ont été exécutées sur des emprises réduites sur les deux rives. Les 2.890 m³ de terrassements ont été délimités par des palplanches. Les fondations en béton armé 1.798 m³ ont été exécutées pendant la fabrication et montage de la structure. Un système de vérins et calages a permis le rattrapage de tolérances de fabrication du béton, des scellements ont été réalisés après la pose de l'ouvrage.



Massifs de fondation, chapes et vérins

C'est la même entreprise SARENS qui a été missionnée par Max Bögl pour le « ripage », le transport et la mise en place sur ses appuis de la nouvelle passerelle. Elle a été transportée depuis son site de montage à son emplacement définitif sur le Rhin. Le parcours, qui représente environ 1km, a été effectué le dimanche 12 novembre suivant le programme que nous détaillons :

Jeudi 09/11/2006 et vendredi 10/11/2006

Mise en place de la passerelle sur barges (« ripage »).



La passerelle était posée sur des appuis spéciaux, le déplacement a été réalisé à l'aide de camarteaux pilotés en simultanée pour rentrer dans les deux barges.



Ripage de la passerelle sur les barges

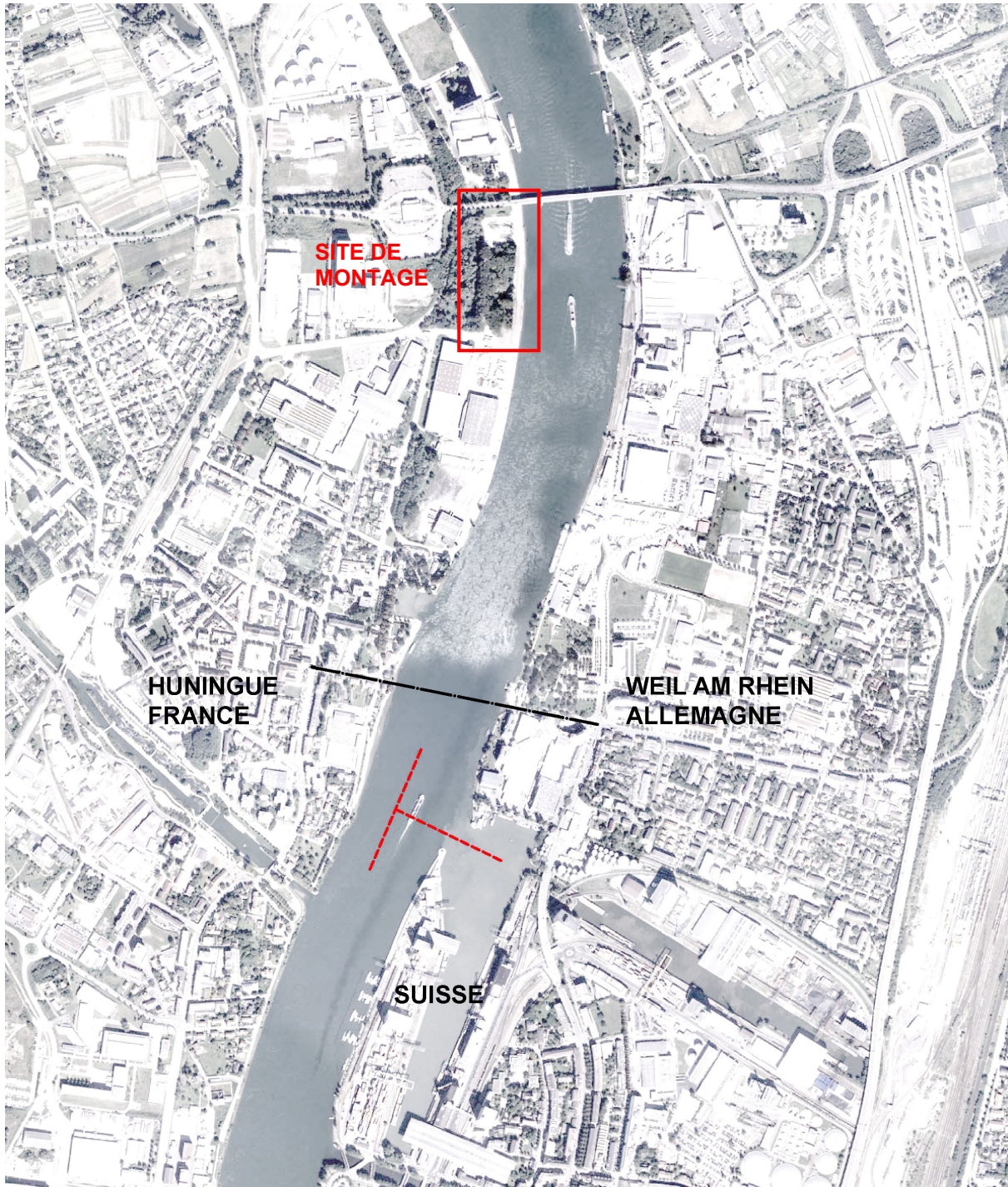


Appuis provisoires et définitifs de la passerelle

Dimanche 12/11/2006

00 h 24 h

Barrage complet du Rhin pour toute navigation



De 6h à 8h du matin :

Transport de la passerelle sur deux barges/pontons du site de montage à l'emplacement définitif au milieu du Rhin. Déplacement des deux barges en simultané par un pousseur – remorqueur.

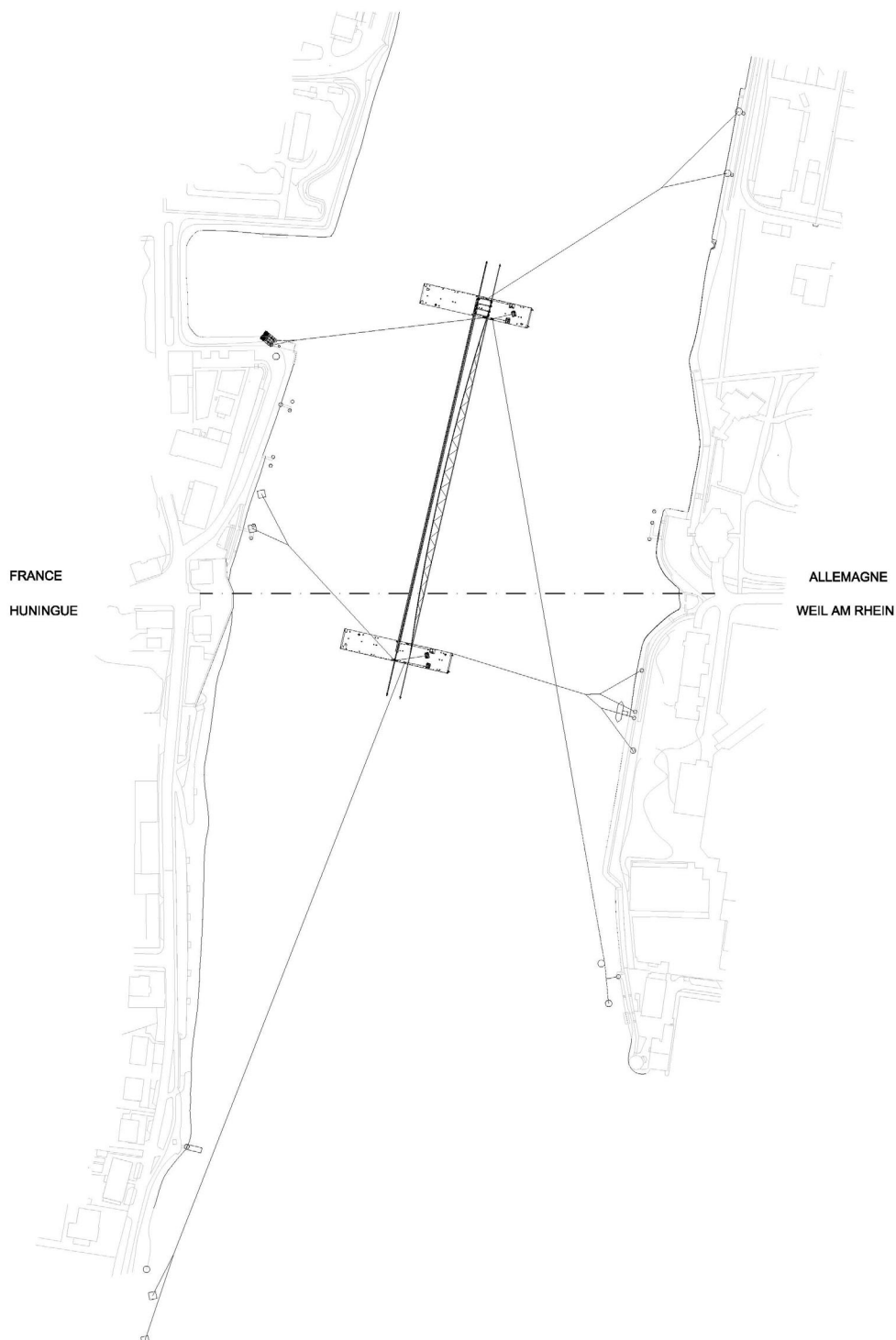


Arrée de la passerelle sur son axe

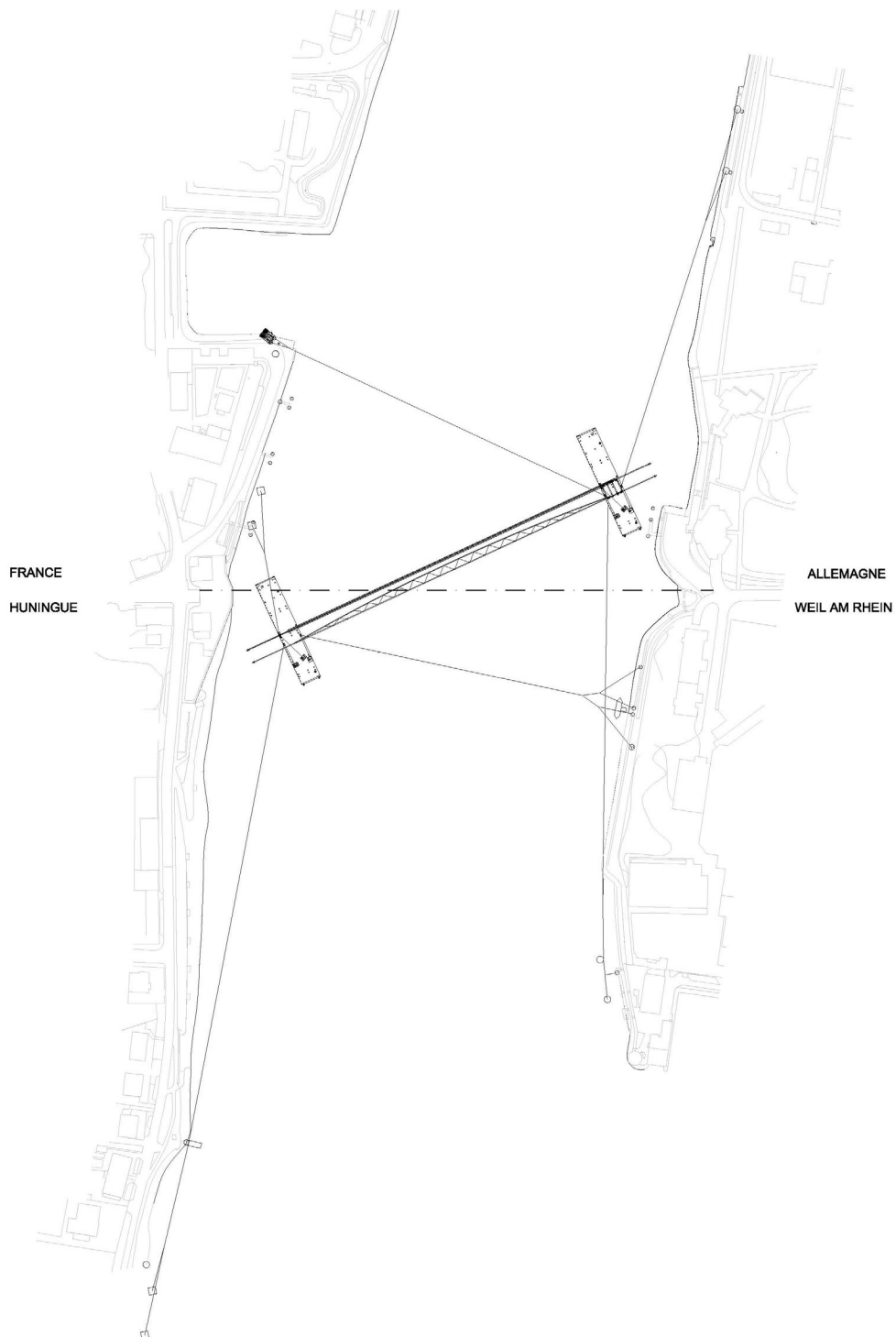
De 8h à 10h :

Mise en position de la passerelle dans son axe perpendiculaire au fleuve à l'aide des amarres fixées aux berges, 4 phases.

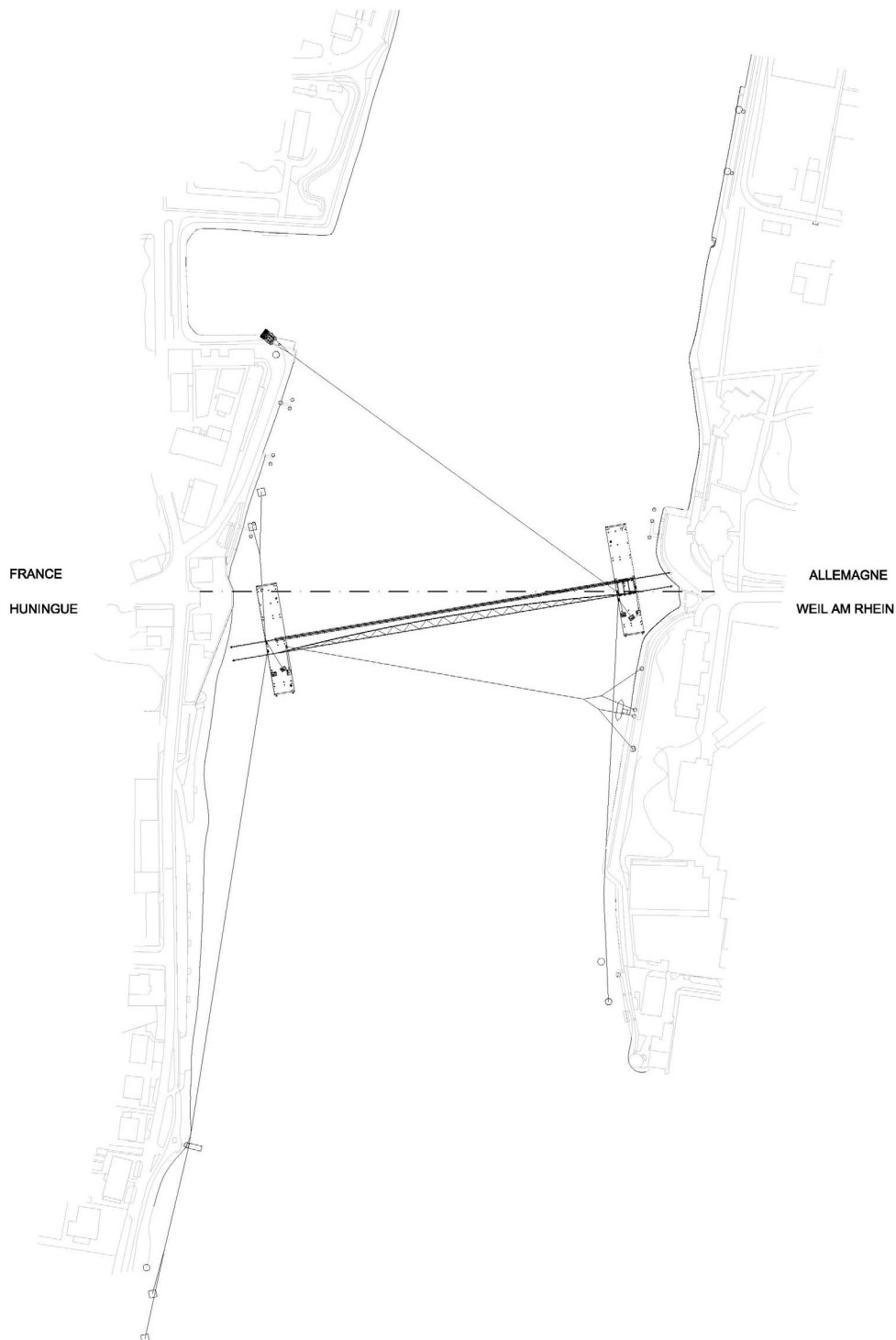
Phase 1



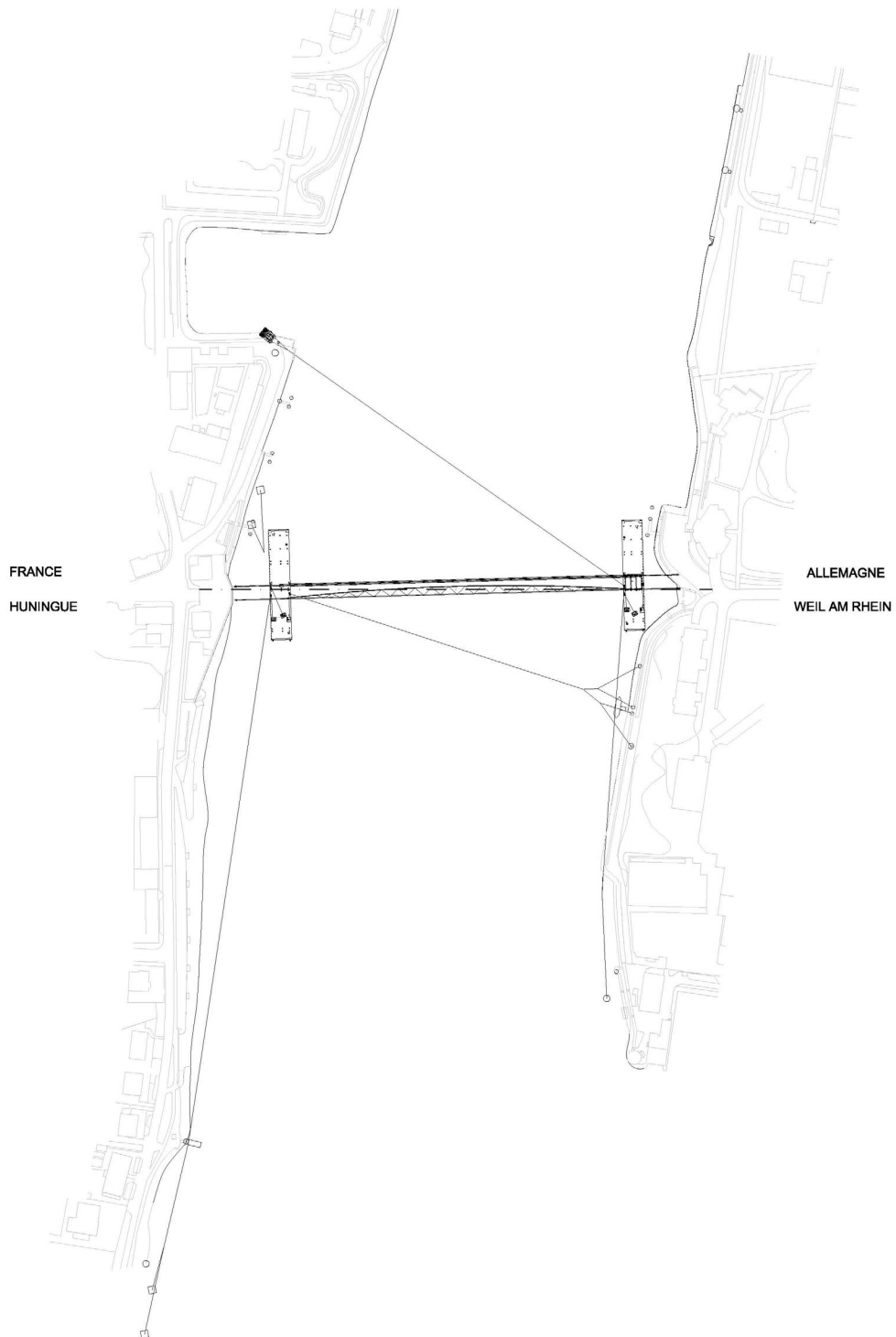
Phase 2



Phase 3

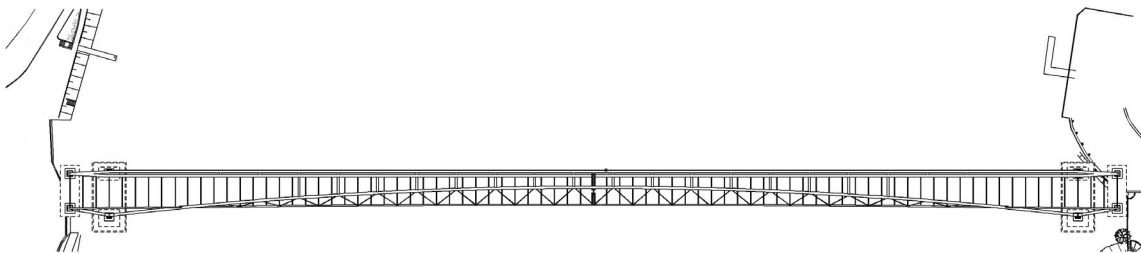
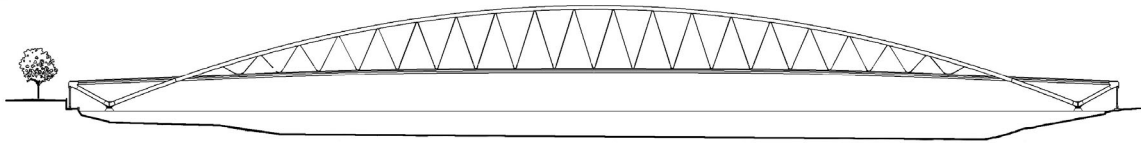
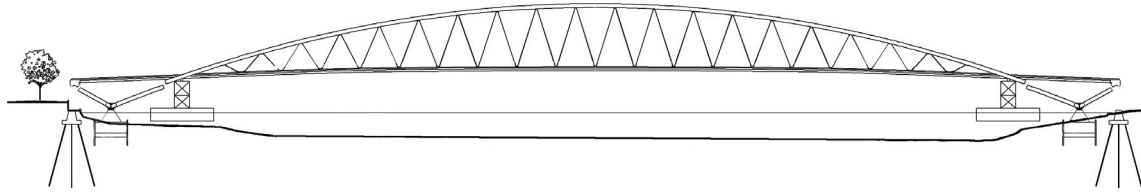


Phase 4



De 10h à 16h :

Fixation des amarres, descente de la passerelle sur ses appuis.



Suite des travaux

Après la mise en place de la passerelle ont démarré l'installation des passerelles et rampes d'accès, la mise en place des escaliers, de l'ascenseur coté Huningue et la réalisation des aménagements des accès. La mise en place de l'éclairage intégré dans la min courante de l'ouvrage précédera les dernières retouches à la peinture.

La passerelle sera officiellement inaugurée le 30 juin 2007.

La mise en service est prévue prochainement.



CONCLUSIONS

L'excellent compromis entre le poids et la résistance de l'acier permet la création de structures légères et fines, s'intégrant d'une manière à la fois discrète et efficace dans le site. Le choix constructif permet de créer des structures très transparentes, qui dessinent la tension des efforts que les définissent.

L'acier permet les choix constructifs les plus conformes au respect de l'environnement au sens large, à toutes les étapes du cycle de vie d'un ouvrage. Non seulement l'acier est facilement récupérable (il est indéfiniment recyclable et effectivement recyclé de façon économique), mais il permet de lier des atouts d'économie et sécurité à l'esthétique et la préservation des ressources.

