

01/21 steeldoc

Surfaces en acier



Passerelle piétonne au-dessus des rails

Maitre de l'ouvrage

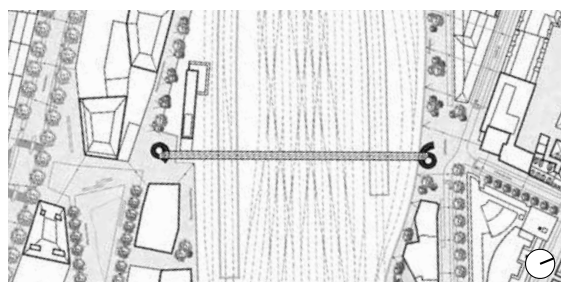
CFF Immobilier et Ville de Zurich,
Office des ponts et chaussées

Construction de la passerelle et architecture

Consortium Negrellisteg: Conzett Bronzini Partner;
Diggelmann + Partner; 10:8 Architekten

Achèvement

2021



Situation, échelle 1:4500.

Alois Negrelli, concepteur du canal de Suez, de ponts et de régulation de cours d'eau, a construit de nombreuses lignes ferroviaires dans la moitié de l'Europe, dont le Spanisch-Brötli-Bahn entre Zurich et Baden – la première sur le sol suisse. La passerelle piétonne de 213 m de long au-dessus des voies ferrées de la gare centrale de Zurich porte désormais son nom.

La Negrellisteg sera inaugurée en 2021. Elle franchit les voies de départ de la gare centrale de Zurich, entre l'Europaallee au sud et la Zollstrasse au nord. Il s'agit d'une passerelle en acier sur quatre poteaux montés sur les parois des rampes d'accès des gares souterraines Museumstrasse et Löwenstrasse. Elle repose également sur des appuis à pot au niveau des tours d'ascenseurs au centre des rampes d'escaliers. Les portées sont de 26-11-78-11-35 m, et les rampes d'escalier de 52 m (29 m + 23 m) hélicoïdales de part et d'autre. La construction s'est faite par poussage en cadence. Un tronçon d'environ 30 m de longueur – limitée par la surface d'installation disponible sur l'Europaallee – a été poussé la nuit au-dessus des voies ferrées.

Un long chemin jusqu'à l'actuelle passerelle

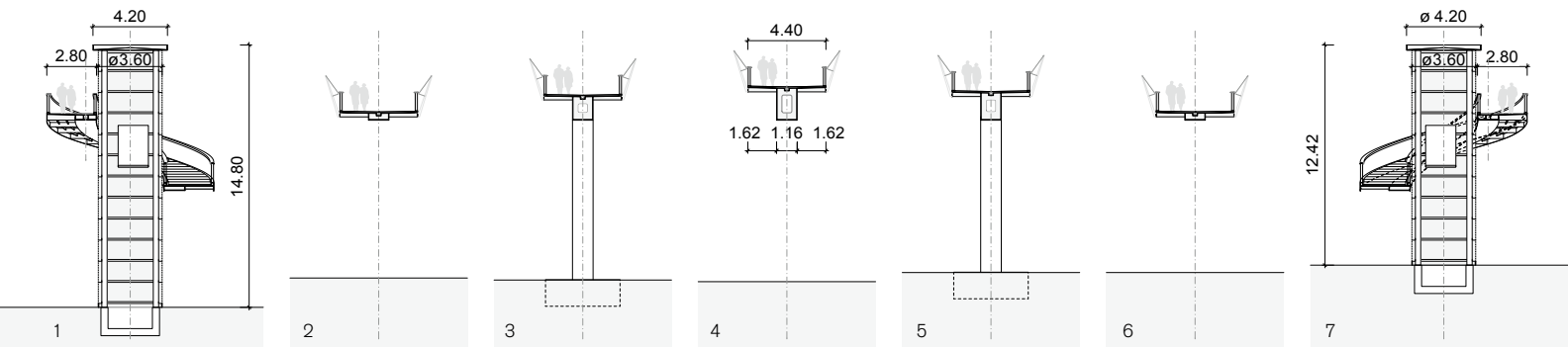
Le premier projet a été abandonné pour des raisons financières. Lors du second concours d'études de 2017, avec sélection par préqualification, le jury a été séduit par le projet «96» – une allusion à la forme des rampes en plan – de l'équipe du consortium Negrelli, composée des agences Conzett Bronzini Partner (Coire), Diggelmann + Partner (Berne) et 10:8 Architekten (Zurich). Les travaux ont démarré le 3 octobre 2019.

Près de 10% d'acier inoxydable

Quelque 360 t d'acier de qualité S 355 J2 ont été mises en œuvre pour le corps de passerelle (poutre-caisson avec nervures en porte-à-faux et tablier), poteaux, escaliers et tours d'ascenseurs. Sans oublier 32 t d'acier résistant à la corrosion pour les escaliers, marches, pieds de poteaux, flancs, et le

La passerelle Negrelli franchit la zone de voies de la gare centrale de Zurich entre l'Europaallee au sud (gauche) et la Zollstrasse au nord. L'environnement fortement corrosif exige une conception précise et différenciée de la protection des surfaces selon l'emplacement et l'exposition.





dispositif antisuicide. Il s'agit d'acier austénitique inoxydable de type 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2). Cet acier à base de chrome, nickel et molybdène – le terme «austénitique» signifie que les atomes forment une structure cubique – présente une excellente résistance à la corrosion, une remarquable aptitude au soudage et une bonne aptitude au forgeage. La poutre-caisson de hauteur variable, avec ses consoles latérales à porte-à-faux constant, a été réalisée en acier S 355 J2 sous forme de plaque orthotrope. La largeur utile est de 4,10 m, celle des volées d'escalier varie entre 2,50 m et 3,50 m. Au centre, la hauteur de la poutre-caisson culmine à 1600 mm et diminue jusqu'aux appuis pour atteindre 700 mm. La sous-face du caisson, large de 1,16 m et horizontale, se situe à au moins 8,40 m au-dessus de l'arête supérieure des rails. La construction est insérée dans les poteaux – de 1,16 m de large et de section rectangulaire comme la poutre-caisson. La poutre continue présente un caractère monolithique sur toute sa longueur totale de 250 m. Les déformations liées aux températures peuvent être reprises par les escaliers.

Protection longue durée

Conformément aux conditions d'utilisation, l'ossature porteuse en acier doit avoir une durée de vie de 100 ans. Une attention toute particulière a donc été accordée à la protection anticorrosion. La catégorie de corrosivité C4 a été affectée au site

de la passerelle. Elle correspond aux zones industrielles intérieures soumises aux pollutions de dioxyde de soufre ou de gaz d'échappement. La protection anticorrosion a été très largement prévue avec une durée minimale de 40 ans conformément aux prescriptions de réalisation et de qualité des CFF. Le degré de préparation P5 – «très soignée» – s'applique à l'acier de construction et inoxydable; toutes les surfaces, arêtes et cordons de soudure ont donc dû être traités avant l'application du revêtement. L'opération s'est faite par ponçage et projection à air comprimé.

Protection anticorrosion spécifique au site

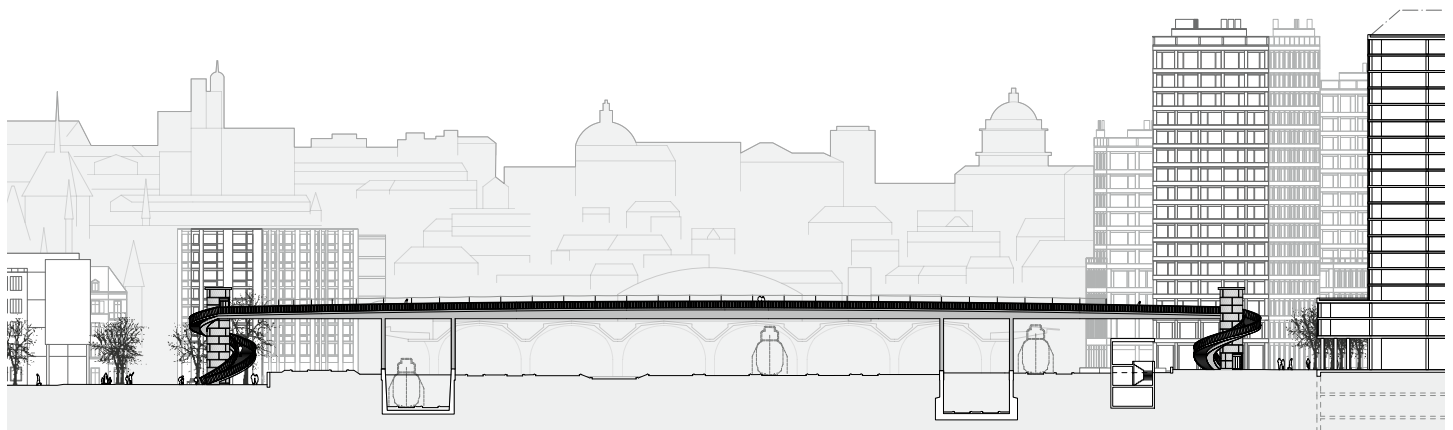
Concernant la protection anticorrosion, une distinction devait être faite entre l'acier de construction et l'acier résistant à la corrosion, mais aussi selon l'emplacement. La plaque de trottoir reposant sur le mastic d'asphalte a ainsi reçu une protection différente de celle de la construction porteuse. Sur cette dernière, l'épaisseur minimale de la couche sur l'acier S 355 J2 devait être de 250 µm. Cette épaisseur a été atteinte par l'application d'une couche de fond de 50 µm avec un revêtement bi-composant à base de résine époxy et poussière de zinc, complétée par deux applications d'une couche intermédiaire bi-composant d'oxyde de fer de 80 µm à base de résine époxy; la couche de finition colorée à base de polyuréthane a une épaisseur de 70 µm, appliquée en deux fois à certains endroits.

Le corps de la passerelle se compose d'une poutre-caisson à hauteur variable et de consoles latérales avec porte-à-faux constant. Au niveau des escaliers, il se transforme en poutre-caisson d'un seul côté avec console latérale.

Coupes transversales, échelle 1:420.

- 1 Escalier / ascenseur Zollstrasse
- 2 Zollstrasse
- 3 Poteau central Zollstrasse
- 4 Milieu de la passerelle
- 5 Poteau central Europaallee
- 6 Europaallee
- 7 Escalier / ascenseur Gustav-Gull-Platz

Élévation de la passerelle devant la gare centrale (Europaallee à droite). Les poteaux insérés dans la construction s'appuient sur les parois des départs des gares souterraines. Échelle 1:1200





Faible place disponible et trafic ferroviaire intense: un tronçon de 30 m a été déplacé la nuit, par poussage en cadence, au-dessus des voies.

Noblesse au-delà de la norme

La protection de l'acier inoxydable devait également tenir compte des différents lieux de mise en œuvre. L'acier résistant à la corrosion a été utilisé pour les marches d'escalier sous une couche d'asphalte coulé de 40 mm. Le revêtement ressemble ici à l'acier courant sous l'asphalte coulé. Selon le fabricant du revêtement et le bureau d'études de protection anticorrosion, la catégorie de corrosivité et la norme internationale de protection anticorrosion ISO 12944 pour aciers inoxydables ne seraient pas applicables. Sans recouvrement par l'asphalte de l'acier résistant à la corrosion – cela était le cas des caniveaux, de la bordure et des pieds de poteaux –, l'épaisseur de couche théorique a été fixée à 180 µm. Les mêmes revêtements ont été appliqués sur les aciers, avec une épaisseur moindre: 60 µm pour chacun des deux revêtements intermédiaires – également pour la finition. Il a été possible d'éviter la couche primaire.

Protection anticorrosion en laboratoire

Le recouvrement d'acier inoxydable est inhabituel. L'échec de tels procédés tient toutefois non pas à la faisabilité technique, mais plutôt à la garantie d'exécution. En l'absence du côté du fabricant de

À droite: coupe transversale passerelle, échelle 1:65.

- 1 Filet de protection
- 2 Main courante bois Accoya, planches collées
- 3 Lame pour fixation filet de protection, tous les 5 m
- 4 Poteau ROR Ø 38 mm
- 5 Bord acier plat
- 3-5 Acier résistant à la corrosion 1.4404, teinté et passivé
- 6 Bord, acier résistant à la corrosion 1.4404, revêtu
- 7 Tablier, acier S355 J2, revêtu
- 8 Revêtement de passerelle: asphalte coulé 2x 35 mm
- 9 Caniveau, acier résistant à la corrosion 1.4404
- 10 Acier S355 J2, revêtement extérieur (drainage secondaire)
- 11 Cloison
- 12 Bandes, au centre de la passerelle Préparation de bandes pour pose ultérieure d'un amortisseur
- 13 Poutre-caisson soudée étanche à l'air, acier S355 J2, intérieur non revêtu, extérieur revêtu.

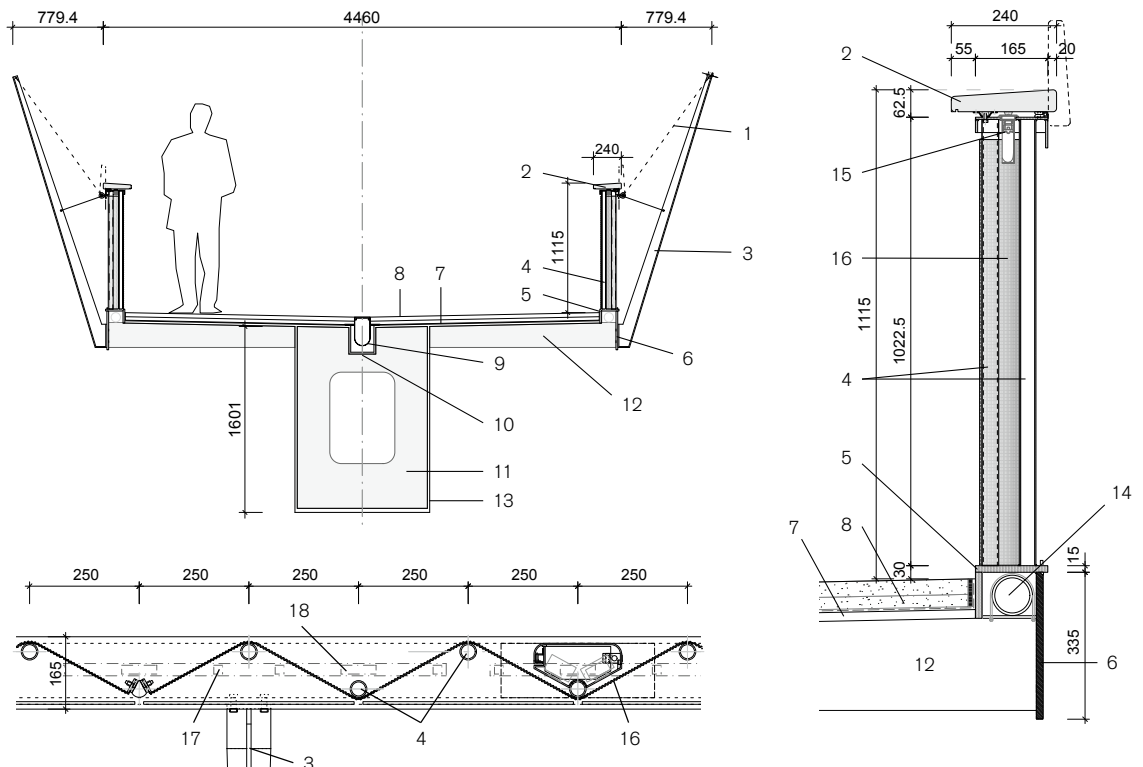
Une couche de fond bi-composant en résine époxy à base d'oxyde de fer, d'une épaisseur théorique de 80 µm, a été appliquée sur le tablier. L'étanchéité sous l'asphalte coulé devait avoir une épaisseur d'environ 1000 µm répartie sur une couche d'adhérence et une couche de collage. Les couches primaire et d'adhérence sont résistantes à l'eau, aux intempéries, aux sels et aux carburants. L'épaisseur totale de couche est d'environ 1100 µm. Le revêtement se compose de deux couches d'asphalte coulé de 35 mm chacune.

Tout à droite: coupe détaillée garde-corps, échelle 1:17.

- 14 Alimentation électrique
- 15 Système main courante LED
- 16 Tissu métallique, acier inoxydable

En bas à droite: montants de division du garde-corps, échelle 1:17.

- 17 LED extérieure
- 18 LED intérieure



valeurs expérimentales pour un comportement dans le temps d'aciers inoxydables revêtus, notamment en association avec les fortes températures de pose de l'asphalte coulé, des essais ont été menés en laboratoire pour la passerelle Negrelli. Les conséquences des intempéries et de la température ont été examinées au moyen d'essais de résistance à l'arrachement sur des échantillons avec différentes épaisseurs de protection anticorrosion. La température de mise en œuvre de l'asphalte coulé a été limitée à 230° C pour éviter les vapeurs nocives. Cela aurait pu déjà être trop élevé pour le revêtement anticorrosion. Les essais ont donc été menés aussi bien pour l'acier normal que pour l'acier inoxydable, à des températures normales, mais également en portant l'asphalte coulé à une température maximale de 220° C. Un essai a également été réalisé à une température de -20° C et dans un brouillard salin pulvérisé. Les essais concluants de résistance à l'arrachement ont validé le concept d'aciers inoxydables revêtus. La couleur du projet – une teinte anthracite plus chaude – n'a finalement pas été retenue. Le fabricant de la protection anticorrosion n'ayant pu apporter la garantie exigée en l'absence d'expérience avec la teinte, la passerelle est légèrement plus claire que prévu.

Protection des surfaces Acier revêtu (ossature porteuse), acier inoxydable revêtu (éléments secondaires)

Catégorie de corrosivité C4

Sollicitations à la corrosion Gaz d'échappement, sollicitation saline moyenne (prescriptions CFF Infrastructure: salage uniquement sur la passerelle avec agent de dégel «SNO-N-ICE»; le sel de déneigement courant est trop agressif). Sollicitations mécaniques: impact par véhicules ferroviaires

Durée de la protection anticorrosion

40 ans selon prescriptions CFF

Mesures constructives de protection contre l'incendie associées à la protection anticorrosion Non

Composition du revêtement

Construction porteuse acier:

- Revêtement de base 50 µm (revêtement bi-composant à base de résine époxy et poussière de zinc)
- Deux couches à 80 µm (bi-composant, revêtement intermédiaire contenant de l'oxyde de fer à base de résine époxy)
- Finition colorée bi-composant à base de polyuréthane 70 µm

Acier inoxydable:

acier inoxydable austénitique 1.4404

(X2CrNiMo17-12-2)

Revêtement comme ci-dessus sans couche de fond; épaisseur 60 µm chacun

Absence de protection sur de grandes surfaces

D'importantes parties de la passerelle Negrelli ne présentent pas de protection anticorrosion du fait de la construction. La poutre-caisson et les poteaux rectangulaires creux étant soudés et étanches à l'air, il devenait inutile de recouvrir les faces intérieures des parties creuses. Alors que cette construction étanche à l'air diminue nettement les travaux de revêtement, le vandalisme nocturne les augmente en revanche nettement. L'ensemble des éléments, rampes d'escaliers et poteaux dans le champ de voies ont été recouverts d'une protection antigraffiti sur une hauteur de 5 m.



Projet Passerelle Negrelli

Lieu Zurich

Maître de l'ouvrage CFF immobilier et Ville de Zurich, Office des ponts et chaussées

Construction de la passerelle et architecture ARGE Negrellisteg: Conzett Bronzini Partner AG, Coire; Diggelmann + Partner AG, Berne; 10:8 Architekten GmbH, Zurich

Construction métallique Officine Ghidoni SA, Riazzino TI

Protection anticorrosion Marty Korrosionsschutz AG, Rapperswil-Jona

Préfabrication et montage Travaux de construction acier Superstructure / avancée

- Surface d'installation et de montage construction acier côté Europaallee
- Montage de l'équipement pour avance / insertion de passerelle (étayage provisoire dans zone de voies, appuis, pressage, etc.)
- Avancée par phase superstructure

Système porteur Poutre-caisson centrale avec consoles latérales (passerelle), poutre-caisson sur un côté avec console latérale (escaliers)

Types d'acier Acier S 355 J2: corps de passerelle, poteaux, poutre-caisson escaliers et tours ascenseurs; acier inoxydable austénitique (matériau 1.4404): bords passerelle et escaliers, marches, pieds de poteaux et dispositif antisuicide

Tonnage Acier S 355 J2: env. 360 t, acier inoxydable austénitique (matériau 1.4404): env. 32 t

Coûts de construction 11 mios CHF

Durée Novembre 2019 à mars 2021

Plusieurs matériaux, image homogène: la protection des surfaces des aciers de construction et inoxydable a été différenciée et optimisée en fonction de l'emplacement et de l'exposition. D'importantes parties – par ex. les faces intérieures de la poutre-caisson soudée – sont exemptes de protection anticorrosion.

Impressum

steeldoc 01/21, juin 2021

Surfaces en acier

Éditeur :

SZS Centre suisse de la construction métallique, Zurich
Isabel Gutzwiller, Myriam Spinnler

Rédaction et textes :

espazium – Les éditions pour la culture du bâti, Zurich

Direction de projet :

Franziska Quandt, Philippe Morel, Judit Solt

Clementine Hegner-van Rooden, pp. 4-9

Cornelia Froidevaux, pp. 10-13

Ulrich Stüssi, pp. 14-17

Peter Seitz, pp. 18-21

Clementine Hegner-van Rooden, pp. 22-25

Secrétaire de rédaction : Philippe Morel

Traduction allemand-français :

Yves Minssart, Michel Crisinel

Les descriptions des projets sont basées
sur les données fournies par les concepteurs.

Les plans proviennent des bureaux d'étude.

Mise en page :

espazium – Les éditions pour la culture du bâti, Zurich

Katrin Köller, Anna-Lena Walther

Photos :

Couverture : Roger Frei

Éditorial : Bundesamt für Bauten und Logistik BBL

pp. 4-9 : Hisao Suzuki, Coussée & Goris architecten,
Mouton cvba

pp. 10-13 : Damian Poffet

pp. 14-17 : Ney & Partners, English Heritage

pp. 18-21 : Keystone, Conzett Bronzini Partner AG

pp. 22-25 : Ruben Dario Kleimeer

Conception graphique :

Gabriele Fackler, Reflexivity SA, Zurich

Impression :

Stämpfli SA, Berne

ISSN 1662-2359

Abonnement annuel CHF 60.– / étranger CHF 90.–

Numéros isolés CHF 18.– / numéros doubles CHF 30.–

Sous réserve de changement de prix.

A commander sur www.szs.ch/steeldoc

Construire en acier/steeldoc© est la documentation d'architecture du Centre suisse de la construction métallique et paraît quatre fois par an en allemand et en français. Les membres du SZS reçoivent l'abonnement ainsi que les renseignements techniques du SZS gratuitement.

Toute publication des ouvrages implique l'accord des architectes, le droit d'auteur des photos est réservé aux photographes. La reproduction et la traduction, même partielles, de cette édition ne sont possibles qu'avec l'autorisation écrite de l'éditeur et l'indication de la source.

**Abonnement annuel à steeldoc pour CHF 60.–
(gratuit pour les étudiants) sur www.szs.ch/steeldoc**