Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 127 (2001)
Heft: 20

Artikel: Les plate-formes de Neuchâtel et Bienne
Autor: Allegri, Jean-Marc / Tournier, Yves / Dériaz, Christophe
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-80071

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: 21.11.2025

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

Jean-Marc Allegri,
Batigroup SA, Genève/Bâle
Yves Tournier,
Guscetti & Tournier SA (pilote), Genève
Christophe Dériaz,
Géotechnique Appliquée Dériaz SA, Petit-Lancy
Georges Joliat,
Dauner Ingénieurs Conseils SA, Aigle
Jean-Luc Sandoz, Dr es sc. tech.
Concept bois technologie, Saint-Sulpice

Les **plates-formes** de Neuchâtel et Bienne

Confiée à l'équipe pluridisciplinaire pilotée par l'entreprise générale *Batigroup* à l'issue du concours, la réalisation des plates-formes destinées à accueillir les manifestations d'Expo.02 est actuellement en voie d'achèvement.

L'enjeu portait sur l'ensemble des quatre sites retenus pour l'exposition nationale et consistait à élaborer un concept intégrant des contraintes difficiles à appréhender et parfois contradictoires, telles la qualité des sols, les exigences environnementales, l'exiguïté des délais et du budget, ainsi que l'ensemble des problématiques liées aux chantiers lacustres.

Basé sur les impératifs liés au développement durable, le cahier des charges du concours prévoyait en outre que toutes les constructions seraient démontées après la manifestation, les matériaux les constituant devant pouvoir être réutilisés dans des réalisations plus pérennes.

Pour répondre aux exigences du mandant tout en offrant une solution concurrentielle, les lauréats ont cherché à minimiser la différence entre le coût des travaux et la valeur résiduelle des éléments mis en œuvre. Cela impliquait un système constructif simple et le recours à des matériaux peu coûteux facilement récupérables. La solution adoptée a fait l'objet de nombreuses variantes, chaque fois remises en question de manière à optimiser le couple cohérence et innovation, tout en mettant l'accent sur la simplicité d'exécution et le développement durable.

Concept général

La solution finalement retenue par les responsables d'Expo.02 fut, dans les termes de ses concepteurs, la variante dite «légère». Avec 27 000 m^2 de plancher à Neuchâtel et 12 000 m^2 à Bienne, ces plates-formes n'en totalisent pas moins 2000 tonnes d'acier, 10 000 m^3 de bois scié et 22 000 m^3 de grume. Tout en minimisant le coût des travaux et des opérations nécessaires au réemploi, cette solution offre également un bilan écologique favorable en raison des faibles quantités d'énergie nécessaires à la fabrication de la matière utilisée.

Les pieux en acier sont implantés selon une trame régulière de 6,1 m par 12,2 m de manière à limiter les charges concentrées sur un sol de fondation de mauvaise qualité. La structure principale - constituée de profilés métalliques HEB 300 d'une longueur standard de 12,0 m, qui garantissent un réemploi facile - est recouverte par un tablier en bois, matériau également utilisé pour les garde-corps.

Infrastructure

Principes et géométrie

Avec une importante partie hors sol, les pieux sont constitués de tubes métalliques ROR 530/10. Outre leur disponibilité sur le marché en quantité suffisante et à des prix raisonnables, ces éléments offrent une résistance suffisante pour reprendre, au niveau du fond du lac, les efforts horizontaux importants auxquels les pieux sont soumis. Leurs principales caractéristiques sont résumées dans le tableau I.

Pour les deux plates-formes, ce sont donc 830 pieux, représentant 38 134 m, qui ont été mis en place. Leur longueur hors sol est mesurée entre le fond du lac et l'arase avant mise en place de la tête. Pour les pieux de base, il s'agit de la hauteur d'eau plus quatre mètres environ.

Données de l'appel d'offres

Lors de l'appel d'offres, les données à disposition comprenaient, pour chaque site, une étude géotechnique basée sur une campagne de sondages, des essais de laboratoire sur des échantillons de sol prélevés lors des sondages et des essais *in situ* (pénétromètres dynamiques SPT ou *Strassentest* et pressiomètres). Ces études ont été complétées par des essais de chargement dynamique (PDA) sur différents types de pieux (bois, HEB et tubes) mis en place à cet effet. Les résultats de ces essais et sondages sont récapitulés dans les tableaux II et III.

Interprétation des données

Au stade du concours, il était nécessaire de définir la relation fiche / portance pour les différents types de pieux (HEB, Gram, ROR, bois, diamètre variable), la charge ultime exté-

Fig. 1: Transport des decks depuis la place logistique de Cornaux

Tableau I: Principales quantités

rieure (Ra, SIA V192) étant fonction de la variante étudiée. L'entreprise étant appelée à remettre un prix plafond, il était crucial de définir le plus précisément possible la longueur de fiche nécessaire en raison du très grand nombre de pieux.

Pour la variante retenue, la charge ultime minimale (Ra) variait de 1100 à 1400 kN. Cette charge impliquant une mise en fiche dans la moraine à Neuchâtel, il convenait donc de définir au plus près la position du toit de cette dernière, ainsi que la part de la charge prise par frottement sur le manteau dans les couches qui la recouvrent. Lors du fonçage, la profondeur de moraine a été rencontrée plus bas que prévu, une différence illustrée par la figure 2.

À Bienne, où une seule couche géologique est présente, c'est essentiellement la relation fiche / portance qu'il fallait déterminer. Après analyse des données à disposition, il s'est avéré que seuls les résultats des essais de chargement PDA étaient exploitables. Les relations fiches / portances furent donc basées sur ces derniers et sur différents résultats d'essais et observations de chantier réalisés dans la Rade et le Petit-Lac à Genève. Ces expériences anciennes montraient essentiellement qu'après un délai de cicatrisation d'au moins quatre semaines, la charge de rupture augmentait fortement. Ces constats recoupent par ailleurs ceux fournis par la littérature et les essais PDA effectués sur les deux sites.

Essais avant travaux

Avant travaux, des essais de chargement statique verticaux conformes à la recommandation SIA V192 ont été réalisés, deux à Neuchâtel et quatre à Bienne. Dans ce dernier cas, il s'agissait de déterminer si des fiches de 36 m, plutôt que les 42 m initialement prévus, étaient envisageables. Chaque test statique a été complété par un essai dynamique PDA.

Les essais de chargement ont confirmé les relations fiche / portance retenues pour la remise de notre offre. Ils ont également montré que le battage du tube, avec bout fermé, n'apportait pas d'amélioration de la portance.

Pour définir une relation entre l'effort et la déformation horizontale afin de dimensionner les contreventements, des essais de chargement horizontaux ont également été menés. Ils se sont avérés difficiles. Pour 100 kN appliqués horizontalement au fond du lac, c'est une déformation horizontale de 1 à 2 cm qui a été mesurée; en conséquence, l'effort horizontal maximal à reprendre a été limité à 50 kN.

Chantier

Les pieux ont été mis en place à bout ouvert par vibrofonçage, à l'aide de deux installations comprenant chacune une barge d'environ 30 par 15 m et une grue d'une flèche de 50

1

PRINCIPALES QUANTITÉS

	Bienne	Neuchâtel
Pieux de base (pour les plates-formes)		
Nombre de pieux	228 pc	416 pc
Longueur totale	11 151 m	19 069 m
Longueur hors sol : min/moyenne/max	5,5 / 5,9 / 6,4 m	9,9 / 12,2 / 19,6 m
Longueur fiche : min/moyenne/max	42,0 / 43,0 / 44,2 m	21,5 / 27,5 / 37,4 m
Longueur totale : min/moyenne/max	47,9 / 48,9 / 49,9 m	33,5 / 39,7 / 55,0 m
Pieux particuliers (pour les structures sur les plates-formes)		
Nombre de pieux	118 pc	64 pc
Longueur totale	5490 m	2424 m
Longueur hors sol : min/moyenne/max	0,0 / 3,1 / 6,4 m	0,8 / 5,7 / 9,6 m
Longueur fiche : min/moyenne/max	42,2 / 43,4 / 44,5 m	26,7 / 32,1 / 35,3 m
Longueur totale : min/moyenne/max	43,7 / 46,5 / 50,1 m	28 / 37,8 / 43,5 m

I

Fig. 2: Coupe schématique du toit de la moraine, théorique et tel que relevé lors des travaux pour la plate-forme de Neuchâtel

Fig. 3: Relation fiche portance et résultats d'essais pour Bienne

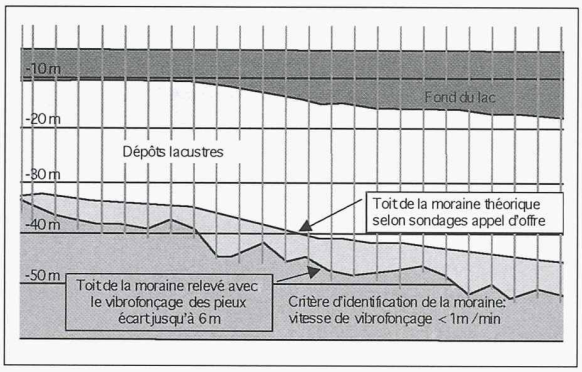
Fig. 4: Principe structurel des plate-formes

Fig. 5: Structure du plancher bois

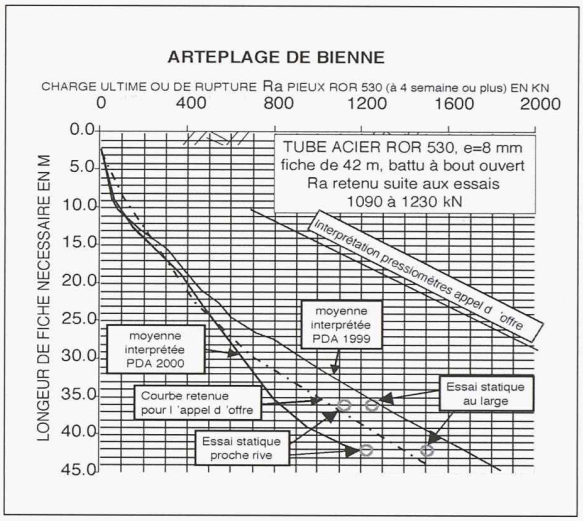
Tableau II: Récapitulation schématique des résultats des essais hydro-géologiques

Tableau III: Récapitulation schématique des résultats des essais de chargement dynamique sur pieux

2



3



à 55 m. Le vibrofonceur pesait 4370 kg pour une masse vibrante de 2970 kg, d'une amplitude maximale de 19 mm à une fréquence de 29 Hz.

La tolérance d'implantation était de +/- 10 cm en tête de pieux avec un défaut de verticalité maximal admissible de 2 %; dans l'ensemble, un écart de moins de 5 cm a été atteint. Les pieux furent mis en place d'un seul tenant sans enture sur le site, ce qui en limitait pratiquement la longueur à quelque 52 m.

Les travaux de fonçage se sont déroulés du 30 août au 14 novembre 2000 à Bienne, et du 16 septembre 1999 au 26 janvier 2000 à Neuchâtel.

Superstructure

La structure métallique

La superstructure métallique combine des poutres primaires à sous-tirants reposant sur des poutres secondaires en profilés HEB appuyées sur les pieux. Rationnelle et économique, cette grille de poutres métalliques forme le squelette des decks sur une trame de 12,20 m par 24,40 m. À l'emploi du profilé standard le plus demandé sur le marché européen, on apporte donc la valeur ajoutée d'une poutre à sous-tirant performante, ce qui permet d'augmenter encore l'économie de l'ouvrage sans déprécier la matière (absence de soudures et de percements).

Les poutres à sous-tirants

La membrure supérieure de ces poutres est un profilé HEB 300 Fe E 275 d'une longueur standard de 12 000 mm, tandis que le sous-tirant fait appel à deux aciers d'armatures à béton de 40 mm de diamètre, avec un axe situé à 2,50 m de l'axe de la membrure supérieure.

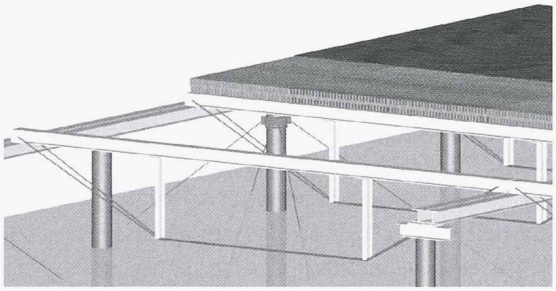
La particularité de cette poutre à sous-tirants réside dans les boîtes d'attaches placées aux deux extrémités, de façon

ESSAIS HYDRO-GÉOLOGIQUES

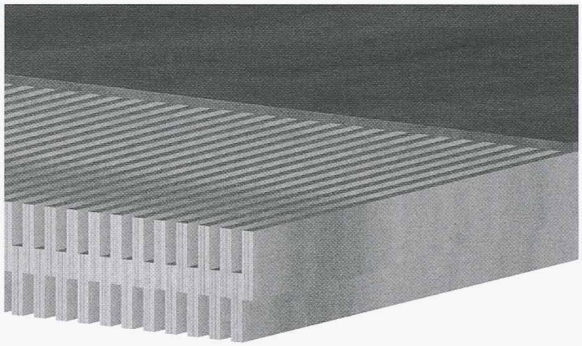
II

	Bienne	Neuchâtel
Sondages	5 sondages carottés de 24 à 46 m	7 sondages carottés de 25 à 30 m
Stratigraphie	Une seule couche géologique jusqu'à une profondeur max reconnue de 46 m constituée de sédiments lacustres post-glaciaires: limons argileux varvés, très peu consolidés, mous, très compressibles.	a : Sur 2 à 3 m, dépôts vaseux, un peu organiques, crayeux, lâches. b : Puis jusqu'à 22 à 26 m, limons lacustres, argileux, tendres à mous, ou alluvions sablo-graveleuses à proximité de la rive. c : Dès 22 à 26 m, moraine argileuse à limoneuse à cailloux.
Essais en labo	w=27,3 %, r=1,93 t/m^3, wl=26,4%	a : néant b : w=26,2 %, r=1,96 t/m^3, wl=35,65% c : w=25,2 %, r=2,06 t/m^3
SPT cps/30 cm	0 à 1	a : 0, b : 0 à 15, c : ≥15

4



5



éviter toute soudure ou percement sur le profilé HEB 300. Distantes de 6,10 m, les poutres à sous-tirants reprennent les charges du plancher *O'Portune* pour les transmettre sur les sommiers.

Les sommiers

Composés de profilés HEB 300 Fe E 275 d'une longueur standard de 24 000 mm posés les uns à la suite des autres, les sommiers reposent sur des pieux espacés de 6,10 m, entraxe identique à celle des poutres sous-tendues posées exactement au milieu de leur travée.

Ce principe permet de diviser toute charge ponctuelle par deux pour dimensionner l'infrastructure et les fondations. Toutes les attaches et fixations entre les poutres à sous-tirant et les sommiers, ainsi qu'entre les pieux et les sommiers sont assurées par des éléments *Lindhapter* afin de laisser intacts les profilés HEB 300.

Le tablier bois

Si le choix du bois pour le tablier des plates-formes de Bienne et de Neuchâtel était avant tout dicté par des arguments écologiques, les solutions techniques proposées se sont aussi révélées économiques grâce à la légèreté du système.

Outre le poids des futurs pavillons, le tablier en bois devait pouvoir supporter - pendant la phase de montage des superstructures - la circulation d'auto-grues et de camions, soit des charges de 150 kN par essieu, majorées d'un coefficient dynamique de 1,2 portant ces valeurs à 2 x 180 kN. Le système retenu, composé de dalles *O'Portune*, a été développé par Jean-Luc Sandoz en partenariat avec la chaire de Construction en bois de Julius Natterer à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. La technique consiste à fixer ensemble par vissage des pièces de bois de 6 x 21 cm, disposées sur chant et décalées verticalement en conservant une

ESSAIS DE CHARGEMENT DYNAMIQUE SUR PIEUX (PDA)

III

		Bienne				Neuchâtel			
Type de pieu		Bois	Bois	ROR	HEB	HEB	HEB	HEB	HEB
Dimension	mm	315	315	430	300	300	300	300	300
Fiche dans terrain	m	6,0	7,6	29,5	44,2	25	32	25	32
Moraine dès la prof de	m	-	-	-	-	21	27	21	27
Portance ultime totale	kN	34	32	918	1145	830	1066	1560	1703
En frottement latéral	kN	34	32	879	925	445	850	1070	1473
En pointe	kN	0	0	39	220	385	216	490	230

Fig. 6: Alignement des pieux à Neuchâtel

Fig. 7: Plate-forme de Neuchâtel

Fig. 8: Poutres à sous-tirant appuyée sur les sommiers HEB 300

6

7

surface de contact d'environ un tiers de la hauteur de chaque planche. Grâce à ce décalage, la hauteur statique du tablier passe de 21 à 35 cm pour le même poids propre, ce qui augmente l'inertie en économisant de la matière.

Un panneau en *lamibois Kerto Q* de 27 mm d'épaisseur, fixé perpendiculairement sur les planches supérieures, travaille comme une membrane. Il permet la répartition transversale des charges et accroît l'isotropie du système, qui offre une meilleure performance mécanique. Le système a fait l'objet d'une validation technique à l'EPFL, basée pour l'essentiel sur des essais de charge poussés jusqu'à la rupture de la dalle *O'Portune*.

La dalle

La dalle *O'Portune* est fabriquée en trois étapes selon une logique industrielle favorisant la réduction des temps de montage: la réalisation d'un mètre carré de dalle demande moins d'une demi-heure de travail. Effectuée à la scierie, la première étape consiste à visser des planches de 2 m, 4 m et 5 m de long pour fabriquer des blocs de 12,20 m par 2,44 m, une largeur dictée par les contraintes de transport.

Pour la deuxième étape, ces blocs en bois sont acheminés en train sur le site de Cornaux, où ils sont fixés par lots de dix sur la structure métallique, afin de former les decks de 12,20 m par 24,40 m. Le vissage et les joints de continuité entre les blocs font de chaque deck un élément monolithique, sur lequel on visse le *lamibois Kerto*, en ménageant des ouvertures en périphérie pour l'assemblage sur le chantier. Afin de protéger les planches, qui doivent être récupérées à la fin de l'exposition, la discontinuité entre les panneaux est obturée par un joint d'étanchéité de type *Compribande*.

Une fois terminé sur la chaîne de montage de Cornaux, un deck atteint 60 tonnes. Il est alors glissé sur le quai d'embarquement et pris en charge par une barge spécialement équipée pour le transporter sur le chantier, où elle doit se faufiler entre deux rangées de pilotis avec une marge de manœuvre de 30 cm.

La troisième et dernière étape consiste à déposer le deck sur les têtes de pieux et à l'ajuster au centimètre pour que les charpentiers réalisent les derniers assemblages transversaux et longitudinaux avant de les recouvrir d'une plaque de *Kerto* qui rend la plate-forme monolithique. Mis en œuvre à 18 % d'humidité, le bois du tablier n'entre jamais en contact direct et prolongé avec l'eau, les têtes de pieux étant disposées à 4,50 m au-dessus de la surface du lac.

La conception de la plate-forme, assemblée par vissage, favorise un démontage partiel ou complet. Les blocs de 12,20 par 2,44 m peuvent être dévissés pour récupérer les planches

et les panneaux en *Kerto* ou réemployés directement en panneaux de plancher ou de toiture, en dalle de parking ou comme tablier de pont.

Le système de stabilisation

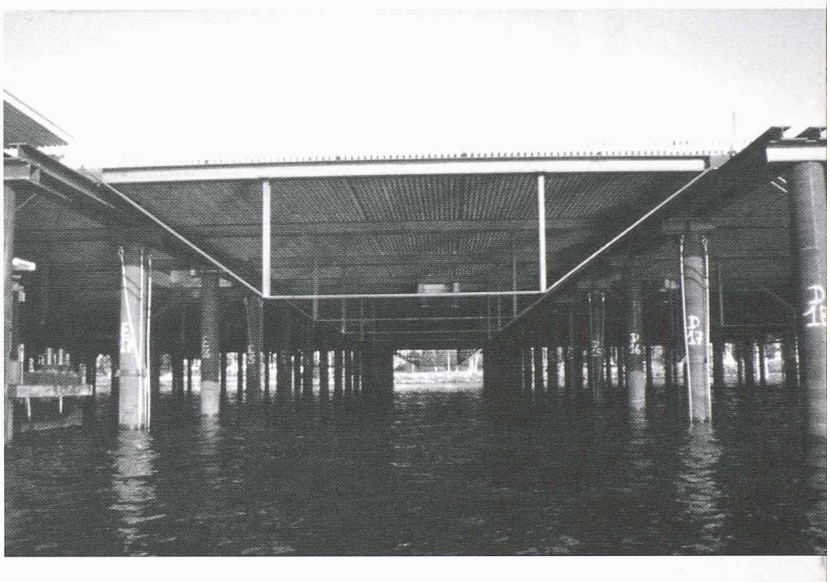
La stabilisation des plates-formes est conçue pour reprendre les charges horizontales provenant principalement de l'action du vent sur les superstructures qui seront réalisées. Ces charges ont été estimées par le maître d'ouvrage et confortées par les auteurs des projets.

La rigidité horizontale est assurée par le tablier bois, en particulier par la plaque de *Kerto*. De ce tablier, les efforts horizontaux sont reportés directement sur les pieux par des têtes spéciales sans solliciter la structure métallique intermédiaire. De ces têtes enfin, les efforts sont repris par des contreventements ancrés sur les pieux voisins au fond du lac. Pour la plate-forme de Neuchâtel, il s'agit de câbles précontraints et pour la plate-forme de Bienne, de cornières en L.

Ce système statique hautement contreventé exclut les concentrations d'importants efforts d'introduction dans le tablier en bois et dans les pieux. Très modulable, une telle conception permet en outre au maître de l'ouvrage de modifier la géométrie de la plate-forme sans devoir modifier le système.

À Neuchâtel, la rigidité de la plate-forme dans son plan horizontal dépend également du degré de mise en tension des câbles de contreventement. Hautement hyperstatique et complexe (interaction plate-forme - pieux - sol), ce système a été simulé par ordinateur afin d'obtenir une traction dans tous les câbles sous n'importe quel cas de charge.

Conclusion

La conception de ces plates-formes a révélé l'importance de la cohérence et de la complémentarité d'un groupe d'ingénieurs pluridisciplinaire pour trouver un concept structural logique, appliquant harmonieusement les lois de l'équilibre des forces, les performances des matériaux et les moyens de construction. La variante retenue pour l'exécution répond au cahier des charges édicté par l'organisation d'Expo.02, tout en offrant des avantages économiques importants grâce à l'optimisation de l'ensemble des éléments constituant la structure – pieux, charpente métallique, tablier bois. Pour conforter l'étude de ce prototype, toutes les parties déterminantes de l'ouvrage ont été vérifiées par des essais en laboratoire et *in situ*.

8