

SESSION 2011

**AGRÉGATION
CONCOURS EXTERNE**

**Section : GÉNIE CIVIL
Option A : MATÉRIAUX, OUVRAGES ET AMÉNAGEMENTS**

ÉPREUVE PORTANT SUR L'INGÉNIERIE DE PROJET

Durée : 8 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

Matériel autorisé :

- NF EN 1990-1-1 Eurocode 0 bases de calcul des structures ;
- NF EN 1991-1-1 Eurocode 1. Actions sur les structures. Partie 1-3 : actions de la neige. Partie 1-4 : actions du vent ;
- NF EN 1992-1-1 Eurocode 2 Calcul des structures en béton
- NF EN 1993-1-1 Eurocode 3 : calcul des structures en acier.

L'usage de tout autre ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Chaque partie devra obligatoirement être traitée sur une copie distincte.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

Documents constituant le dossier :

Sujet :

A - Présentation générale de l'opération :	8 pages (1 à 8)
B - Etudes demandées :	2 pages (9 à 10)

Plans fournis en annexe :

- P1 : Pont en arc : élévation – vue en plan
- P2 : Pont en arc : coupes transversales
- P3 : Culée C0 : élévation
- P4 : Culée C0 : vue en plan
- P5 : Culée C0 : coupe transversale
- P6 : Pile P1 : élévation
- P7 : Pile P1 : pieux et chevêtre

Documents annexes supplémentaires : 7 pages (11 à 17)

- D1- Charges permanentes (étude encorbellement)
- D2- Charge d'exploitation (étude encorbellement)
- D3- Caractéristiques mécaniques des matériaux
- D4- Diagrammes et listings : sollicitations dans tablier
- D5- Données relatives au calcul d'étalement
- D6- Données relatives à la suspension du batardeau béton
- D7- Données relatives à la plate-forme de préfabrication du batardeau suspendu

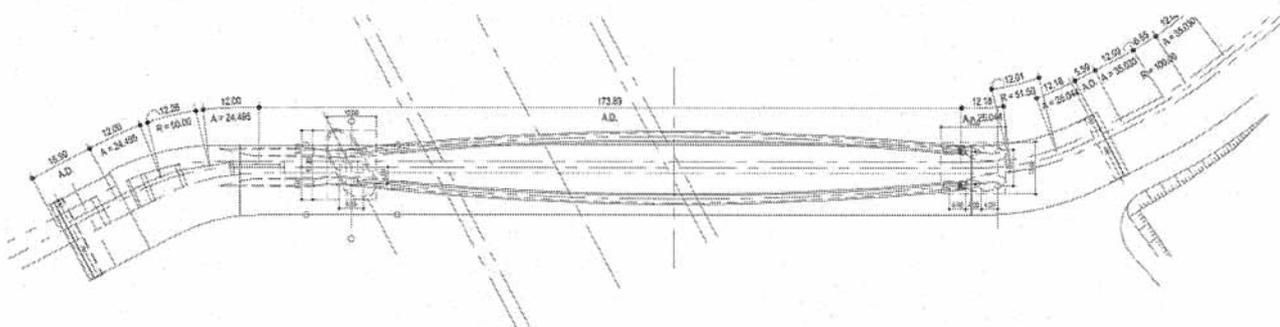
A – Présentation générale de l'opération

1. Caractéristiques géométriques

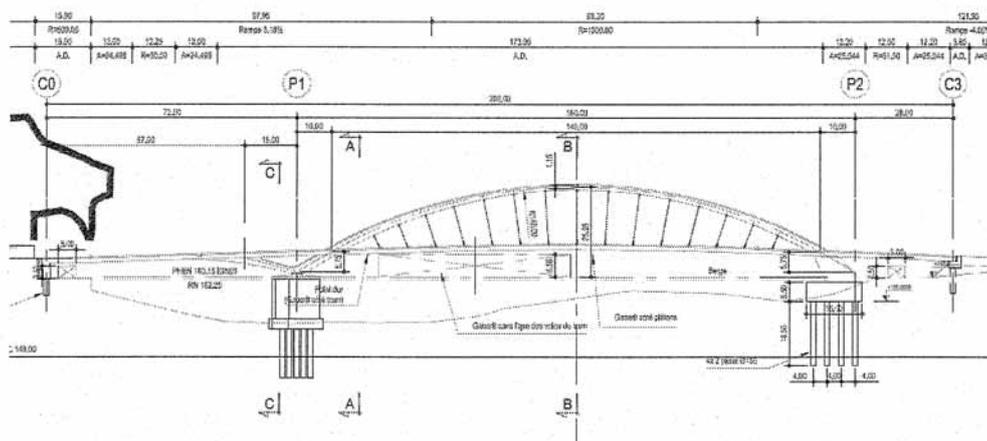
L'ouvrage étudié est destiné à recevoir un tramway ainsi qu'une circulation en modes doux (piétons et cycles). Il franchit un fleuve navigable.

L'ouvrage se positionne autour d'un axe longitudinal en S intégrant le minimum de courbes avec des rayons maximum et recherchant à optimiser les performances de circulation des tramways (vitesse et confort des usagers).

Le franchissement en plan se décompose d'une succession d'alignements et de rayons définis ci-dessous :



L'adéquation entre le gabarit de navigation et le respect de la pente maximale de circulation des PMR est difficile à obtenir. Elle conduit à un tracé qui utilise la pente de 4% sur seulement 120 m et reste limité à 3,18% sur 180 m. Le profil en long suit un rayon en creux de 500 m pour s'élever au plus vite au dessus du fleuve. Il suit ensuite une pente constante de 3,18% sur 97,95 m. Le profil s'engage alors sur un rayon de 1 300 m sur une distance de 93,3 m, avant de redescendre jusqu'en rive gauche avec une pente à 4%.



2. Conception générale de la structure

L'ouvrage est scindé en quatre types de structure en acier, chacune adaptée pour sa travée de franchissement.

- un premier franchissement en poutre cantilever au dessus d'une portée de 57 m depuis la culée C0.
- cette poutre repose sur un complexe en acier triangulé de 25 m, formant l'appui P1, encastré à sa base, et encastré dans le franchissement suivant.
- la troisième structure, d'une longueur de 140 m, est constituée d'un tablier et de deux arcs inclinés vers les extérieurs de 10° par rapport à la verticale, fonctionnant en arc auto-ancré, encastré dans l'appui sur P1 et simplement posé sur P2.
- le dernier franchissement se fait de manière isostatique, le tablier s'appuyant sur la pile en béton P2 et sur la culée C3.

Le tablier est régulier composé de deux caissons porteurs en acier à âmes inclinées de hauteur constante, un latéral et l'autre sensiblement central, encadrant la plateforme tramway. Ces deux caissons sont reliés par des entretoises en PRS de hauteur constante régulièrement espacées de 4 m ; ces entretoises supportent un platelage métallique orthotrope.

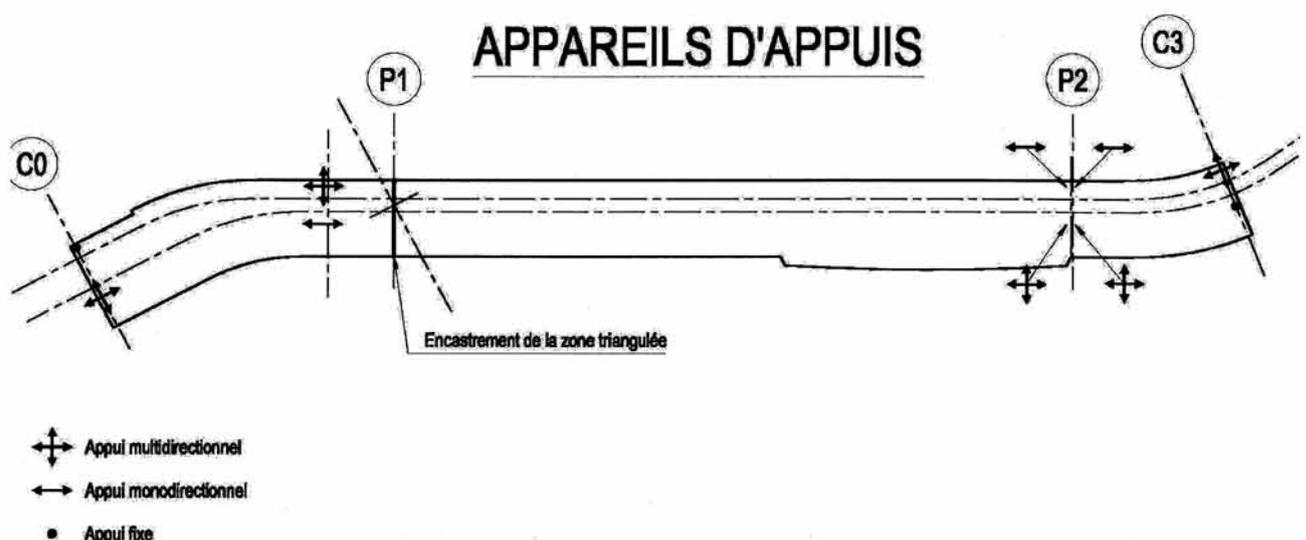
Un encorbellement latéral côté aval supporte les circulations des modes doux (piétons et cycles). Il est constitué de consoles en acier en PRS à hauteur variable venant s'encastrent dans le caisson aval et supportant des longerons recouverts par un revêtement bois pour la partie piétons et de tôle et revêtement type Kevigrip ou vegecol pour la partie cycle. Ainsi, le profil en travers présente une forme asymétrique.

Vis-à-vis de la flexion longitudinale, l'ouvrage est simplement appuyé sur les culées, et des appuis glissants (mono ou multi directionnels) sont prévus sur les appuis sur la pile P2 ainsi qu'au niveau du cantilever. Cela permet la libre dilatation de l'ouvrage sous variations uniformes de température, et de diminuer le risque d'écartement des rails par dilatation dans les parties courbes.

De par sa conception asymétrique transversale, les phénomènes de torsions sont importants au niveau des culées. Les appuis en extérieur de courbe sont en limite de décollement.

Vis-à-vis des efforts horizontaux (séisme et choc de bateau), le blocage s'effectue au niveau des piles P1 et P2. Au niveau des culées, il s'effectue par des butées sismiques situées de chaque côté de l'entretoise d'extrémité.

On peut donc résumer les conditions d'appui du tablier par le schéma suivant (ne sont pas représentés les encastremets des arcs dans le tablier et des piles P1 et P2 dans les fondations) :



2.1. Les arcs

Les arcs sont inclinés à 10° par rapport à la verticale, vers l'extérieur du tablier. Leur section qui optimise la répartition de matière vis-à-vis des efforts :

- le caisson démarre par des dimensions en hauteur largeur de 2,5 x 1,8 m à la naissance de l'arc, pour varier linéairement jusqu'à la flèche de l'arc où il atteint des dimensions de 1,15 x 2,5 m. Les épaisseurs de tôles varient entre 32 mm et 40 mm,
- des diaphragmes sont prévus dans les caissons, à chaque attache de suspentes pour reprendre le cisaillement amené par les fixations.
- les dimensions du caisson sont suffisantes pour éviter tout phénomène d'instabilité, et ainsi permettre une conception sans entretoisement des arcs.

Les arcs ont une forme en coupe longitudinale qui suit un rayon de courbure de 140 m. La hauteur maximale à la flèche est de 25,95 m jusqu'aux PHEN et de 16,00 m par rapport au tablier (à l'axe de symétrie de l'arc). En coupe transversale, les arcs ont une inclinaison constante de 10° par rapport à un plan vertical passant par l'axe de la voie de tramway. Les deux arcs se font face, évoquant une ouverture en ailes de papillon.

L'acier choisi pour les arcs est un acier à haute limite élastique (S460M), pour réduire la hauteur du caisson, pour des questions d'insertion urbaine comme pour des questions de légèreté de l'ouvrage

Les suspentes sont disposées régulièrement tous les 8 m en accroche sur les caissons du tablier. Leur accroche sur les arcs est déterminée pour que les suspentes présentent une forme rayonnante avec un centre du rayon de courbure situé au fond du lit du fleuve. Elles sont au nombre de 15.

2.2. Le tablier

Le tablier est divisé en deux zones fonctionnelles :

- la partie centrale (entre les deux poutres caissons longitudinales) destinée à la circulation des tramways, a une largeur variable permettant de conserver le gabarit latéral imposé par le programme de 6,55 m) et la largeur de plateforme tramway de 7,00 m,
- la plateforme latérale positionnée sur les encorbellements et permettant la circulation des modes doux prévus sur le pont : 2,50 m pour les piétons et 3,00 m pour les cycles.

La voie de tramway est portée par une dalle orthotrope, dont la tôle principale fait 14 mm d'épaisseur et sur laquelle dix augets sont soudés régulièrement.

Contrairement à sa fonction habituelle, la dalle orthotrope n'intervient pas dans la rigidité flexionnelle longitudinale. Elle porte d'entretoise à entretoise, sans jamais être fixée sur les caissons latéraux. De par sa forme relevée sur les côtés, elle sert également de coffrage pour la voie de roulement du tramway. Elle sert également de contreventement transversal. Elle est constituée par de l'acier S355M. Dans les parties courbes en plan, la dalle orthotrope est polygonalisée entre entretoises.

Les entretoises sont constituées de profilés en I reconstitués, de section constante et de hauteur 1.15 m, soudées sur les caissons latéraux. Elles sont également soudées à la dalle orthotrope. Leur espacement constant est égal à 4 m longitudinalement. Elles sont également constituées d'acier S355M. Des entretoises en caisson sont mises en place dans les zones de jonction avec les arcs.

Les caissons latéraux sont des parallélogrammes de dimensions constantes en acier. Ils sont constitués de 4 tôles d'épaisseurs variables sur la longueur du pont, de manière à optimiser le comportement des tôles sous les actions. Les dimensions sont de 1,80 m de largeur pour 1,50 m de hauteur. Les âmes ont des inclinaisons de 10° par rapport à la verticale, en suivant donc l'inclinaison des arcs sous lesquels elles sont situées dans la travée centrale du franchissement. Des diaphragmes en acier sont soudés dans les caissons tous les 4 m. Ces diaphragmes permettent la reprise sans dommages des efforts tranchant ramenés par les entretoises et les suspentes d'arc.

Sur le caisson aval sont soudés des encorbellements en acier, d'une longueur moyenne d'environ 6 m. Ces encorbellements sont constitués par des profilés reconstitués en I de hauteur variable. La hauteur à l'encastrement est de 0,85 m, reste constante sur environ 3 m puis se rétrécit de 0,45m par sa face inférieure jusqu'à son extrémité pour donner à l'ensemble du tablier une forme rappelant une aile d'avion. La longueur de ces encorbellements permet de faire circuler côte à côte les différents gabarits de mode doux, piétons et cycle. Par ailleurs, ces encorbellements s'allongent dans une zone située dans les 30 m sous l'arc proche de la pile P2. Ils se rallongent d'environ 1,5 m, permettant la création d'un belvédère.

Les encorbellements sont reliés par un système de solives simplement appuyées entre deux profils successifs, réparties de manière régulière, tous les 0,5 m. Ces solives servent à porter la tôle de la zone pour cycles et le platelage de la zone piétonne. Aux extrémités des encorbellements file un longeron en U reconstitué. Les encorbellements sont stabilisés longitudinalement par des câbles en croix de Saint André disposés entre chaque profil.

2.3. Les appuis

2.3.1. Culée rive droite (C0)

La culée rive droite est une structure fondée sur pieux. Les efforts apportés par le tablier sont transmis à la semelle de fondation via deux poteaux larges dotés chacun en tête d'un appareil d'appui à pot. Il est également prévu l'emplacement pour les vérins, alignés transversalement avec les appuis. La culée est creuse afin de pouvoir y incorporer les équipements nécessaires au pont (armoire électrique, réseaux). Les trous d'hommes permettant de pénétrer à l'intérieur ne figurent pas sur les plans à cette phase de l'étude.

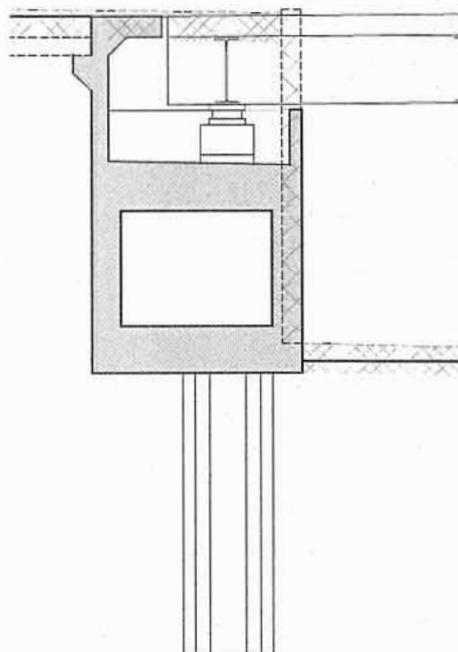
Elle se compose des éléments suivants :

- Une semelle de 3,35 m x 21,12 m, supportée par 3 pieux forés de 1,50 m de diamètre et 23 m de long. La base des pieux est calée à la cote +140,00 NGF ; un remblai en grave ciment est prévu à l'arrière de la culée afin de limiter au maximum les tassements et la poussée sur le mur frontal
- Un mur de front et un mur en retour côté Musée de 50 cm d'épaisseur environ
- Un mur garde grève reconstituant le profil du mur actuel du quai existant.
- Un chevêtre intermédiaire en béton reliant le mur garde grève au mur de front
- Un corbeau destiné à supporter le béton d'assise de voie du tramway

Le chevêtre est coulé contre la paroi clouée mise en œuvre pour permettre le terrassement et destinée à soutenir la plateforme routière. La proximité avec des fondations anciennes ont conduit à éloigner le pieu amont, qui n'est plus à l'aplomb du caisson de rive, et nécessiteront une procédure adaptée pour leur réalisation.

L'accès dans la culée se fait par une porte de service incluse dans le garde grève

La construction de la culée nécessitera le déplacement de l'escalier existant permettant l'accès au quai. Son positionnement reconstruit devra être validé par la maîtrise d'œuvre.



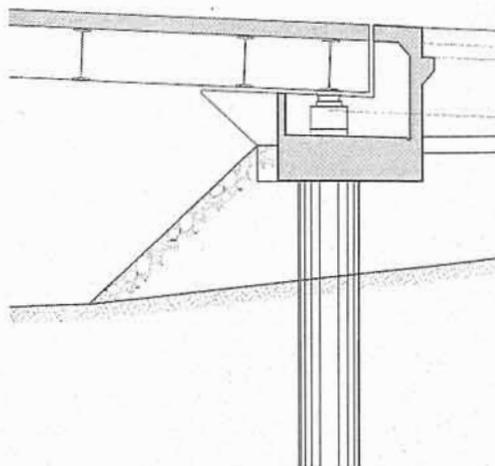
2.3.2. Culée rive gauche (C3)

La culée en rive gauche est une structure fondée sur pieux, alignée au perré existant.

L'assise du tablier est la même que celle sur culée C0.

Elle se compose des éléments suivants :

- Une semelle de 3,55 m x 17,20 m, supportée par 3 pieux forés de 1,50 m de diamètre et 23 m de long. La base des pieux est calée à la cote +140,00 NGF.
- Un perré empierré suivant la pente de l'existant du parking
- Un mur en retour côté aval de 30 cm d'épaisseur, positionné dans la continuité du mur de soutènement bordant la rampe d'accès pompiers au fleuve.
- En guise de garde-grève, on reconstitue un perré dans l'alignement du perré existant
- Au dessus du perré, un muret protégeant l'accès à la cavité des appuis.



L'accès aux appareils d'appui se fait par une porte située au dessus du perré.

Il est également prévu, sur cette rive, un mur en L de 35 m de longueur soutenant les remblais de la plateforme tramway et circulations douces vis à vis de la rampe d'accès pompier.

2.3.3. Pile P1

La pile P1 se situe dans le creux du lit du fleuve.

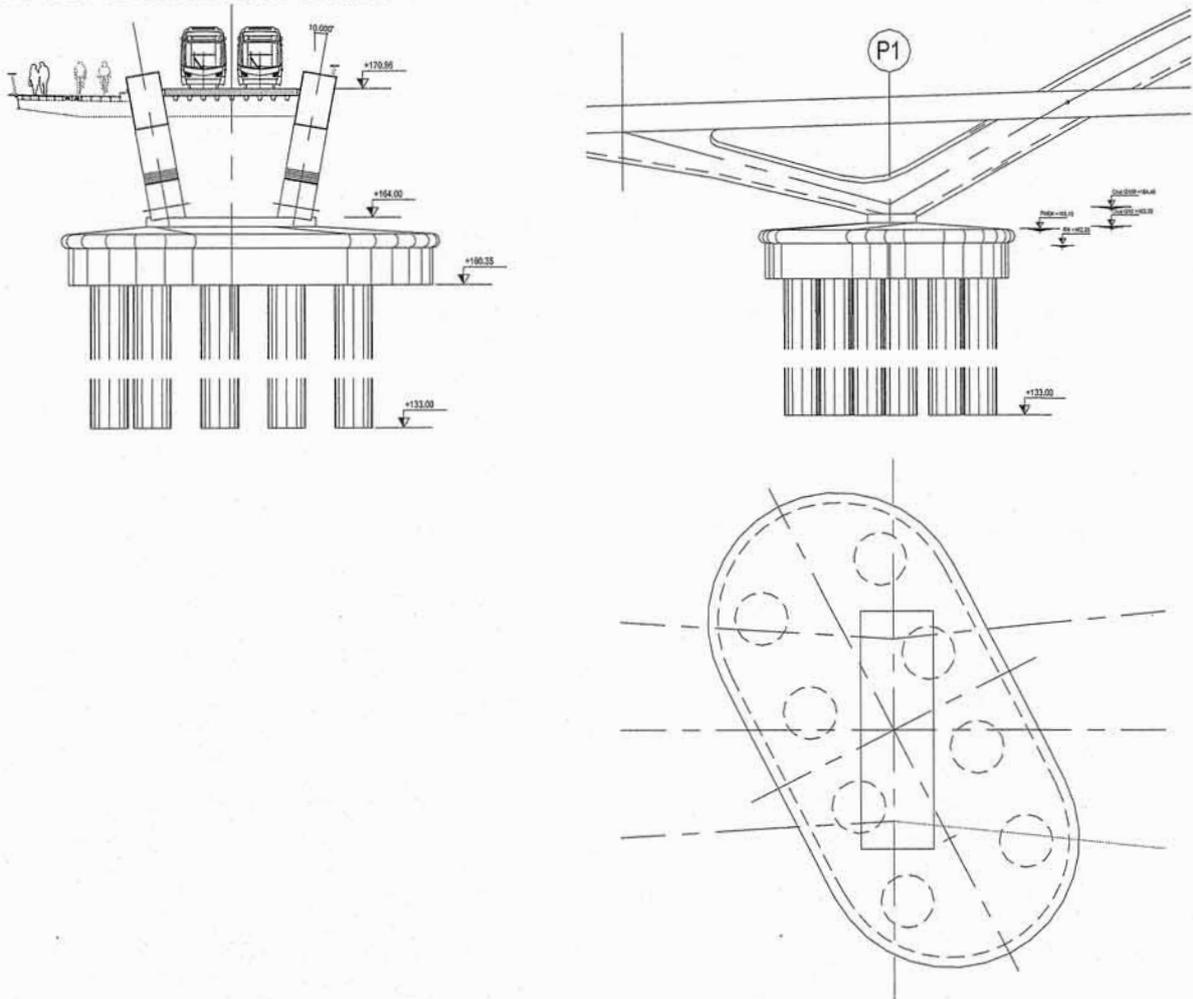
Elle est constituée de :

Un chevêtre oblong en béton plein supporté par 8 pieux forés de 2.00 m de diamètre et 27,35 m de long. La base des pieux est calée à la cote +133,00 NGF.

Deux encastresments des caissons métalliques reliés au tablier sont réalisés sur le chevêtre en béton. La tête du chevêtre émerge suffisamment pour assurer une mise hors eau du dispositif d'encastrement par rapport aux PHEN.

Après réalisation des pieux depuis une barge, le chevêtre est réalisé à l'intérieur d'un batardeau préfabriqué en béton. Le chevêtre est donc réalisé à sec.

Les éléments en béton sont dimensionnés pour reprendre l'intégralité des cas de charge accidentels de choc de bateau et de séisme.



2.3.4. Pile P2

La pile P2 se situe proche du quai.

Elle est constituée de :

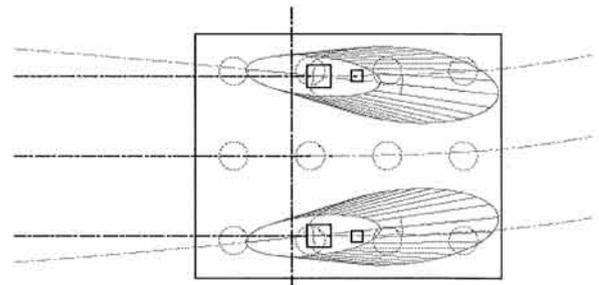
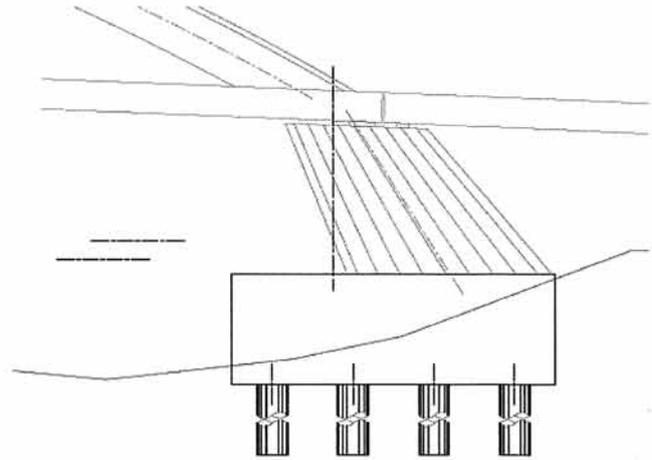
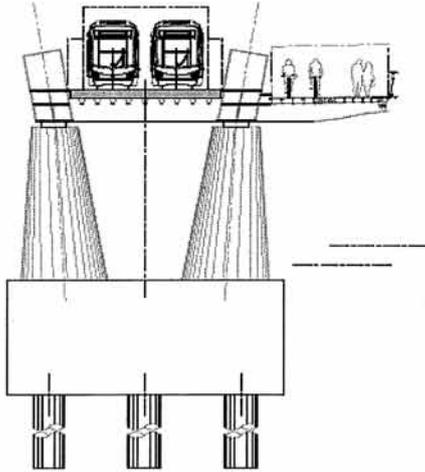
Une semelle de 13 m x 4 m x 16 m, supportée par 12 pieux forés de 1,50 m de diamètre et 23 m de long. La base des pieux est calée à la cote +140,00 NGF

Deux fûts elliptiques inclinés longitudinalement vers le centre du pont, et transversalement suivant les 10° des arcs. Les chapeaux des fûts servent à accueillir les appareils d'appuis de l'arc autoancré et de la travée de rive isostatique.

Elle est réalisée à l'intérieur d'un batardeau en palplanche se refermant sur les quais, ancré dans la couche de marnes et galets. Le terrassement et le gros béton sont réalisés sous l'eau. L'enceinte est alors vidée de son eau et la semelle et le fût de la pile sont coulés.

Les fûts supérieurs sont coulés en deuxième phase à sec.

Ces éléments en béton ont également été dimensionnés pour reprendre les cas de charge accidentels de choc de bateau et de séisme.



3. Construction du tablier

La travée rive droite pèse environ 170 tonnes, la pièce triangulée 330 t, l'arc central 1600 t (charpente seule) et la travée rive gauche 220 t.

3.1. Mode de construction

Le mode de construction présenté est le résultat d'une analyse prenant en compte :

- le type de structure projetée
- les caractéristiques de la structure (longueur, masse...)
- Les contraintes d'emprise et de planning

Les enjeux environnementaux : chantier « propre » et protection du fleuve

3.1.1. Méthode privilégiée

La mise en place du pont par l'utilisation de barges et de « kamags » est la solution la plus adaptée aux contraintes du projet.

L'ouvrage devra être assemblé à proximité. Ainsi, le peu d'emprise disponible sera entièrement dédié à la réalisation des piles et culées.

Préfabriqué en usine et monté à proximité, le chantier de charpente limite ses nuisances et pollutions. La construction des piles et culées est réalisée en temps masqué sur le montage du tablier. Cela réduit la durée des travaux.

3.1.2. Phasage de l'opération

La cinématique retenue pour la réalisation de l'ouvrage est la suivante :

- Phase 1 : réalisation des culées, de la pile P2 et de la plateforme provisoire en P1
- Mise en place d'une plateforme provisoire en P1 qui a pour fonction de reprendre provisoirement les charges lors de la pose des différents éléments sur P1 afin d'éviter d'appliquer d'importants moments

de flexion en tête de pile. Réalisée seulement sur sa partie périphérique, elle constitue une plateforme de travail pour la réalisation de la pile.

Mise en place d'une plateforme support provisoire au droit du cantilever

Mise en place d'une passerelle reliant la plateforme en P1, la plateforme au droit du cantilever et le quai ; cette passerelle est destinée à supporter les tuyaux d'amenée de fluides, énergie, béton,... et constituer un accès piétons.

Tous ces éléments provisoires sont fondés sur pieux de 1.50 m de diamètre et sont constitués d'entretoises et d'un platelage métal.

- Phase 2 : Réalisation de la pile P1 depuis la plateforme provisoire

- Phase 3 : Pose de la structure métallique triangularisée en P1

Mise en place sur la plateforme provisoire de poutres support au niveau de la pile P1. Ces poutres transfèrent la charge de la structure métallique triangulaire à la plateforme et non à la pile P1.

Pose à la grue de la structure triangularisée sur la plateforme, à sa position géométrique, sensiblement définitive.

- Phase 4 : Mise en place des travées de rive

Démontage des passerelles de l'estacade

Pose, par grue, de la structure de la travée indépendante (P2 – C3), contreventée provisoirement.

Pose, par barge et « Kamags », de la structure de la travée cantilever (C0 – P1), contreventée provisoirement

Les travées comprennent les poutres longitudinales, les entretoises et la dalle orthotrope.

- Phase 5 : Mise en place de l'Arc autoancré

Le tablier y compris la dalle orthotrope est en place.

Pose de la structure par l'intermédiaire de barges et de « Kamags ». L'arc est posé sur des appuis provisoires mis en place sur la plateforme coté P1. Coté P2, il est posé directement sur la pile. Réglage fin de la géométrie (vérinages)...

Soudage des arcs et du tablier-tirant en P1 et reprises de peinture.

- Phase 6 : Mise sur appuis définitifs

Sur P1, coulage de l'encastrement (pièce métallique solidarisée à la pile béton) puis transfert des charges supportées par la plateforme sur celui ci.

Dévérinage du reste de la structure et mise sur appuis définitifs.

Réglage des suspentes

Démontage de la plateforme provisoire

4. Calendrier étude & travaux

4.1.1. Planning général

Phases de maîtrises d'œuvre	
Avant-projet d'ouvrage d'art	: 4 mois
Projet	: 4 mois
Etablissement du DCE (ACT - première phase)	: 2 mois
Appel d'offres travaux de l'OA	: 6 mois
En ce qui concerne les travaux du pont :	
Période de préparation	: 3 mois
Délai global des travaux	: 25 mois
Libération de l'ouvrage pour pose de la plateforme tramway	: 22.5 mois
Essais après pose de voie	: 4 mois

4.1.2. Planning étude

Etudes d'exécution préalables aux commandes d'acier	: 3 mois
Descentes de charge	: 3 mois
Etude de détail du tablier	: 6 mois
Etudes du batardeau en P1	: 1 mois
Etudes du batardeau en P2	: 1 mois
Etudes de la pile P1	: 2 mois
Etudes de la pile P2	: 2 mois

Etudes de la culée C0	: 2 mois
Etude de la culée C3	: 2 mois
Etude de la plateforme provisoire	: 2 mois

4.1.3. Planning travaux

Période de préparation de l'entreprise	: 3 mois
Réalisation de la culée C0	: 15 semaines
Réalisation de la culée C3	: 16 semaines
Réalisation de la pile P2	: 21 semaines
Réalisation de la pile P1	: 17 semaines
o Dont réalisation des plateformes métalliques :	9 semaines

Commande des aciers	: 6 mois
Réalisation du tablier en acier en atelier	: 6 mois

Montage des éléments	: 25 semaines
Mise en place des éléments	: 6 semaines
Retrait des structures provisoires	: 1 mois
Pose des superstructures, garde-corps, bancs, réseaux	: 3 mois
Montage de l'éclairage – Branchements	: 1 mois
Finitions, essais	: 1 semaine
Epreuves de l'ouvrage	: 2 jours
AOR	: 2 semaines

Intempéries

2 mois d'intempéries prises en compte sur l'ensemble du chantier (1 mois par an).

Aléas « kamags »

L'expérience montre qu'il peut être certaines fois assez difficile de mobiliser aux dates désirées les entreprises spécialisées dans l'utilisation de « kamags » ou de barges, une marge de un mois sur le fil rouge à été prise en compte pour s'affranchir de ce risque.

B – Etudes demandées

Partie B1- Etudes techniques

1.1- Etudes des sollicitations dans un arc

Nous allons analyser un des 2 arcs en négligeant l'inclinaison dans le plan perpendiculaire au tablier.

Nous simplifions la géométrie de l'arc de la façon suivante :

longueur entre appuis : 140m,

flèche : 16m,

section en rectangle de largeur 2,10m x hauteur 1,80m x ep tôles 40mm

On considère uniquement les charges apportées par les suspentes et on les assimile à une charge linéaire répartie d'intensité suivante :

- poids propre : 47,5 kN/ml
- surcharge de tram : 29 kN/ml
- uniformément réparties sur toute la longueur du tablier.

On considère l'arc articulé en pied.

- **Donner la valeur des réactions d'appui en pieds de l'arc, sous sollicitation ELS et ELU,**
- **Indiquer le moment le long de l'arc et la valeur maxi, sous sollicitation ELU.**

Rappels : $\sin a \cdot \cos b = \frac{1}{2} [\sin(a-b) + \sin(a+b)]$ $\cos a \cdot \cos b = \frac{1}{2} [\cos(a-b) + \cos(a+b)]$

$\sin a \cdot \sin b = \frac{1}{2} [\cos(a-b) - \cos(a+b)]$

1.2- Etude du tirant de l'arc

On constate que les efforts sont très importants pour solliciter la tête de pile. Aussi, on propose d'utiliser le tablier comme tirant de l'arc et de réaliser un système autoancré, c'est-à-dire qu'on relie les pieds de l'arc par le tablier. La liaison tablier – arc est un encastrement côté gauche et une articulation côté droit.

Les diagrammes et listings (annexe D4) donnent les sollicitations dans le tirant aux ELU sous charge de foule.

Le tirant est modélisé par des nœuds disposés sur chaque entretoise. Les éléments sont numérotés de 2027 (nœud gauche de l'élément = encastrement) à 2060 (nœud droit de l'élément = articulation). Il y a une suspente toutes les 2 entretoises.

- **Indiquer les sollicitations du tirant (M, N, T) au point de moment positif maximum**
- **Calculer les contraintes (normales et tangentés) dans la section de tablier de largeur 2,50m x hauteur 1,15m x ep tôles 40mm**
- **Faire les vérifications réglementaires**

1.3- Etude du PRS de l'encorbellement

On s'intéresse dans cette question au dimensionnement du PRS en encorbellement supportant la plateforme latérale en rive de tablier (voir plan P2). Les données complémentaires sont fournies dans les annexes D1 à D3.

La seule charge d'exploitation retenue pour cette étude est l'action de la foule. Les autres hypothèses effectuées doivent être clairement énoncées et justifiées.

Pour limiter l'étude, il est demandé de se concentrer sur la section d'encastrement du PRS en définissant en particulier :

- la sollicitation de calcul,
- les dimensions de la section droite (on prendra un PRS à ailes égales, c'est-à-dire doublement symétrique),
- les justifications principales selon l'Eurocode 3.

Partie B2- Etudes de réalisation

2.1- Réalisation de la Culée C0

Dans la phase de la réponse à l'appel d'offre, on vous demande d'étudier la réalisation de la culée C0.

En tenant compte des plans numérotés P3 à P5 :

- **rédiger le quantitatif du coffrage et du béton de la culée C0** entre les niveaux 162.45 et 168.50. Vous ne prendrez pas en compte les bossages et cales de vérinage.
Compte tenu des données du document D5 :
- **Concevoir et calculer l'étaie** du plancher de hauteur variable de la cellule 6.72 x 2.55 m de la culée C0.
- **Proposer plans et coupes** de l'étaie et du coffrage de la dalle en prenant en compte les principes généraux de prévention.

2.2- Réalisation de la pile P1

L'entreprise titulaire du marché a proposé de réaliser le chevêtre de la pile P1 dans un batardeau suspendu préfabriqué en béton.

Compte tenu des dimensions de l'ouvrage, le batardeau sera préfabriqué, au dessus du fleuve, à la verticale de sa position définitive, puis descendu dans sa position définitive

Vous êtes, dans l'entreprise, chargé d'établir les méthodes ; en tenant compte des plans numérotés P6 à P7 et des documents annexes D6 et D7, on vous demande de :

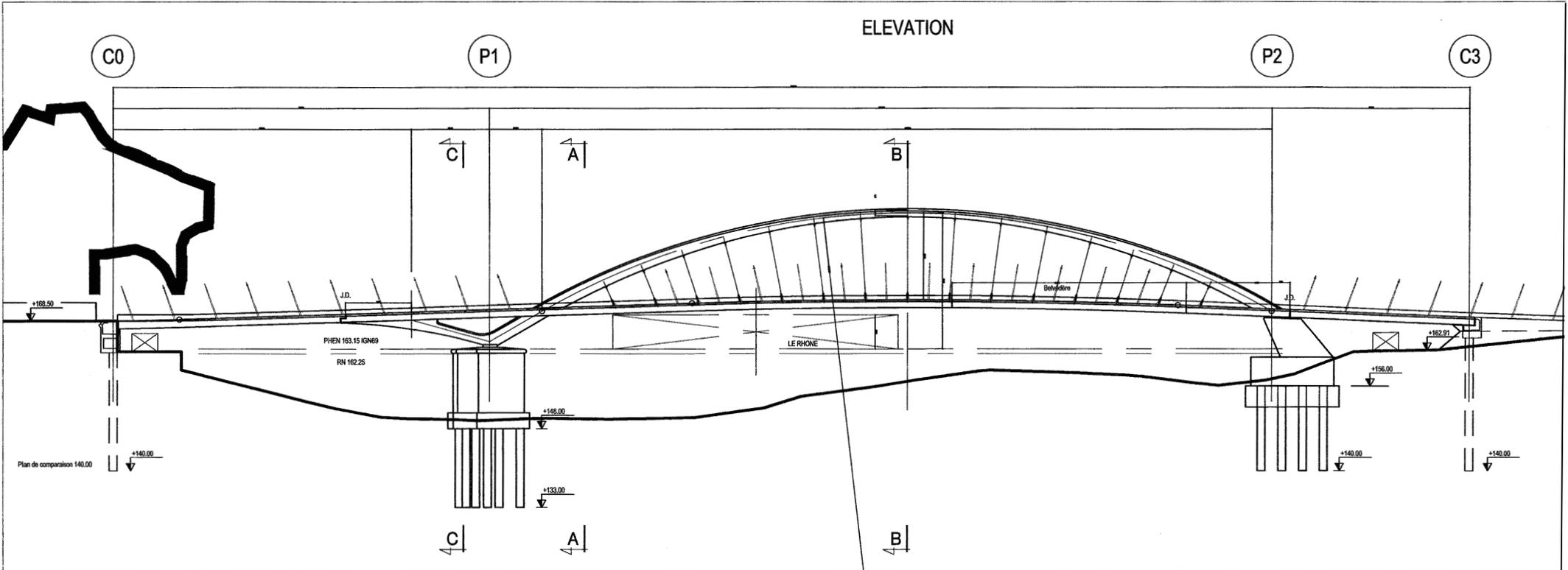
- **Définir le phasage de l'ensemble des travaux** de réalisation de la pile P1
- **Définir le mode opératoire de réalisation du chevêtre** à partir de la fin du forage des pieux.

Ce mode opératoire prendra en compte les contraintes (QSE) liées à la qualité, à la sécurité, et à la protection de l'environnement,

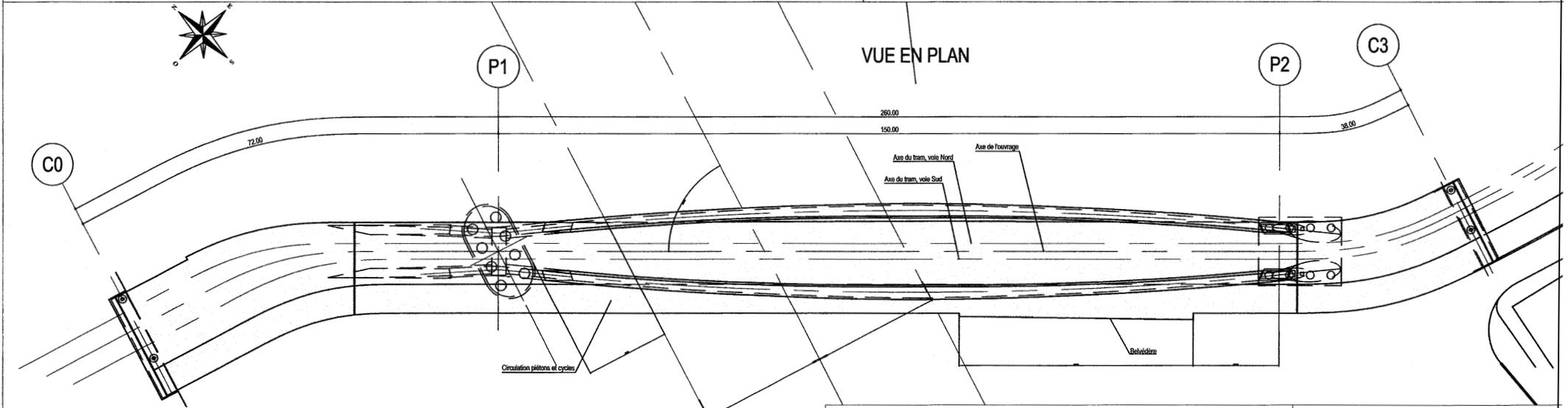
Dans un premier temps vous ferez la liste chronologique détaillée des tâches à réaliser, puis, sur des copies d'examen utilisées en format A3H, vous rédigerez le mode opératoire en respectant la présentation suivante :

Description détaillée des tâches et croquis	Matériel et matériaux nécessaires	Risques	Mesures de prévention ou contrôles
		Q	
		S	
		E	
		Q	
		S	
		E	

ELEVATION

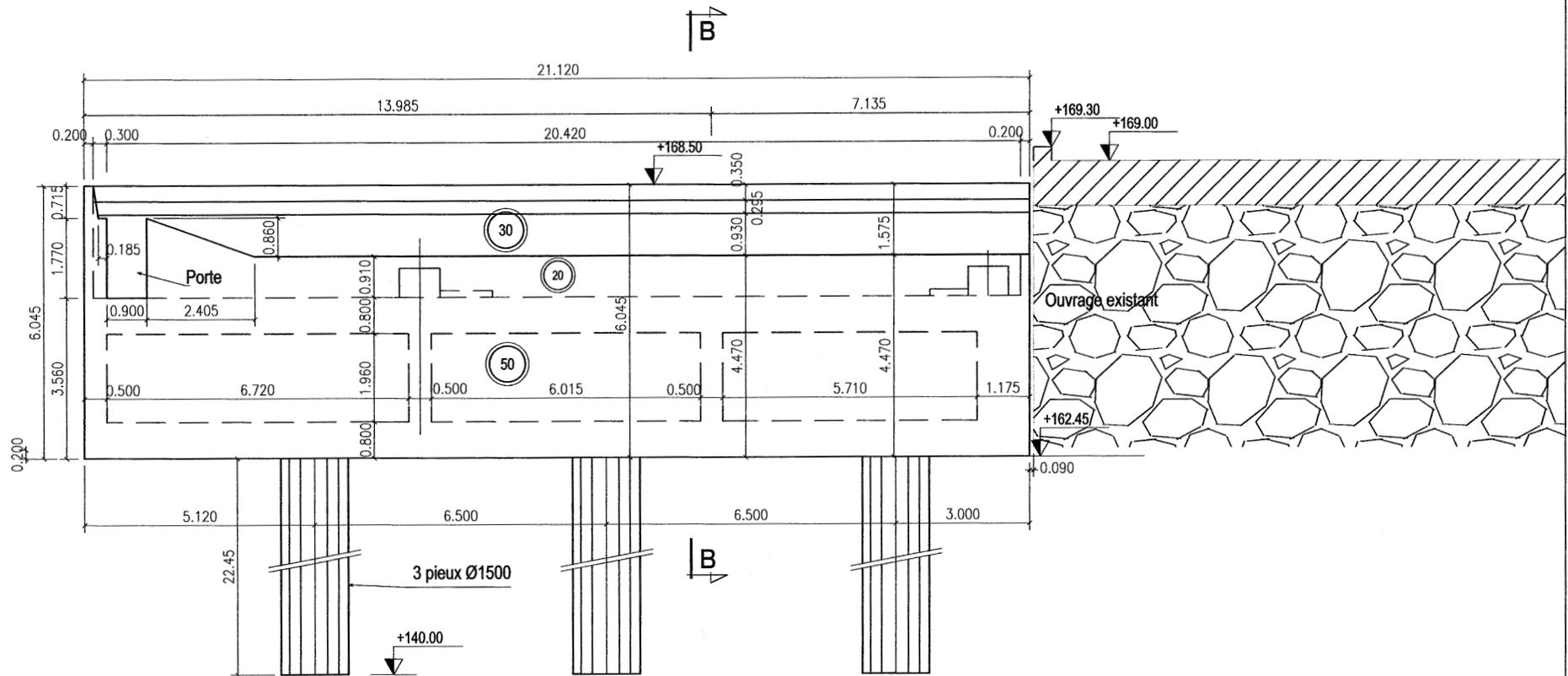


VUE EN PLAN



Concours externe de recrutement de professeurs agrégés	Section Genie Civil	Session : 2011
PONT en ARC	Option A	Ingenierie de Projet
Elevation - Vue en plan	Echelle : 1/750	P1

ÉLÉVATION SUIVANT A-A



Concours externe de recrutement de professeurs agrégés

Section Genie Civil Session : 2011

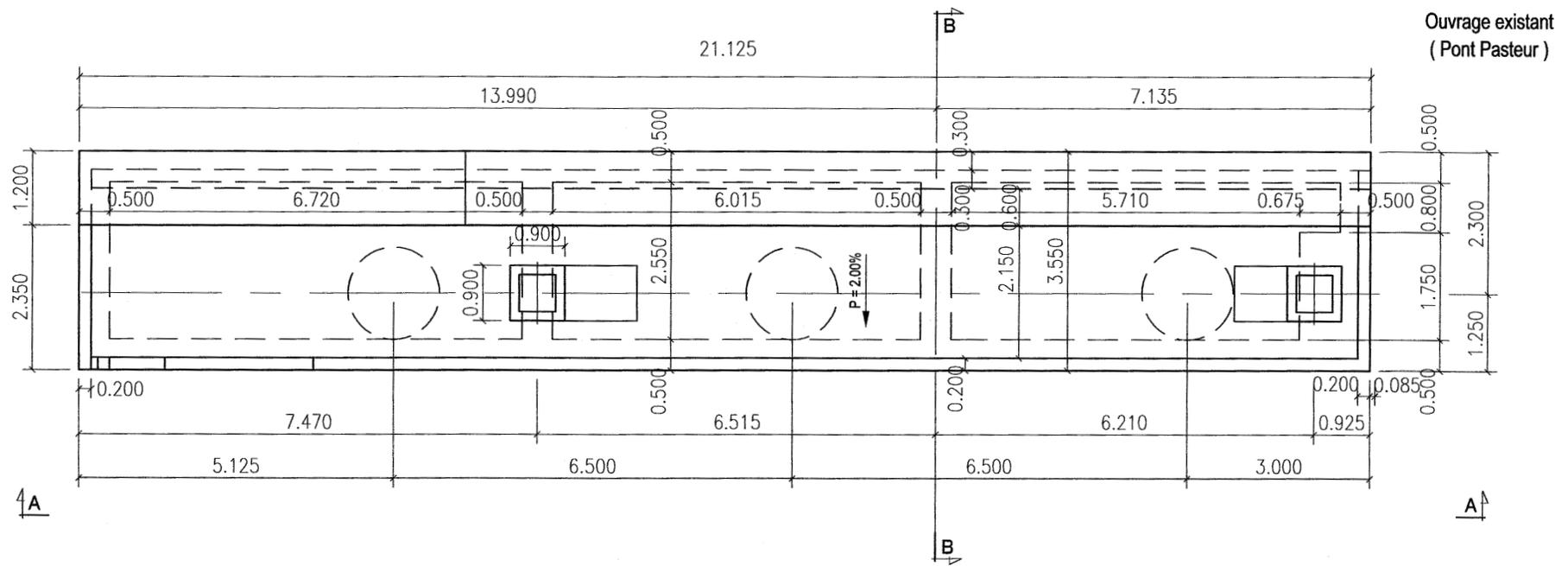
PONT en ARC
CULEE C0 - Elévation

Option A Ingenierie de Projet

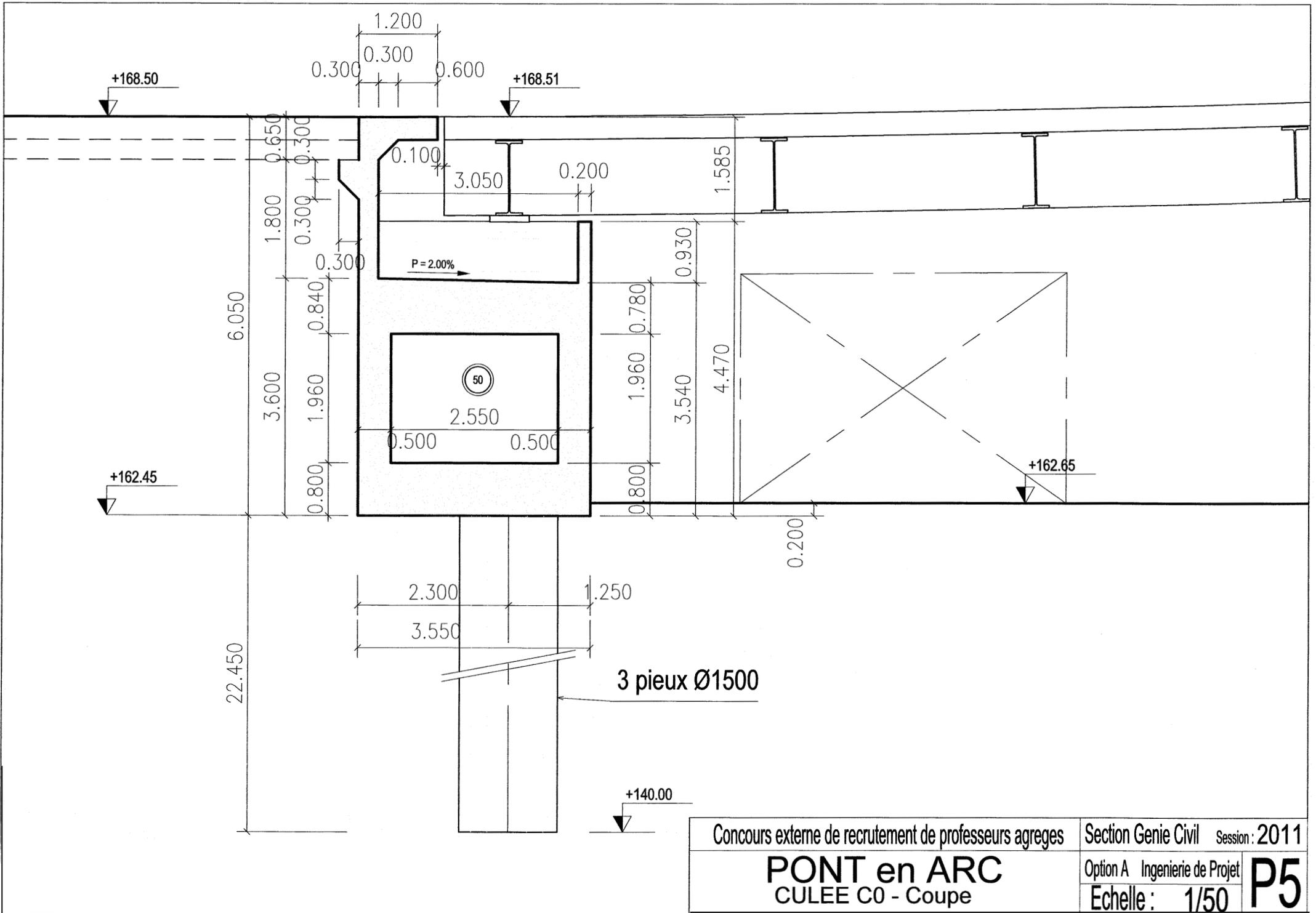
Echelle : 1/100

P3

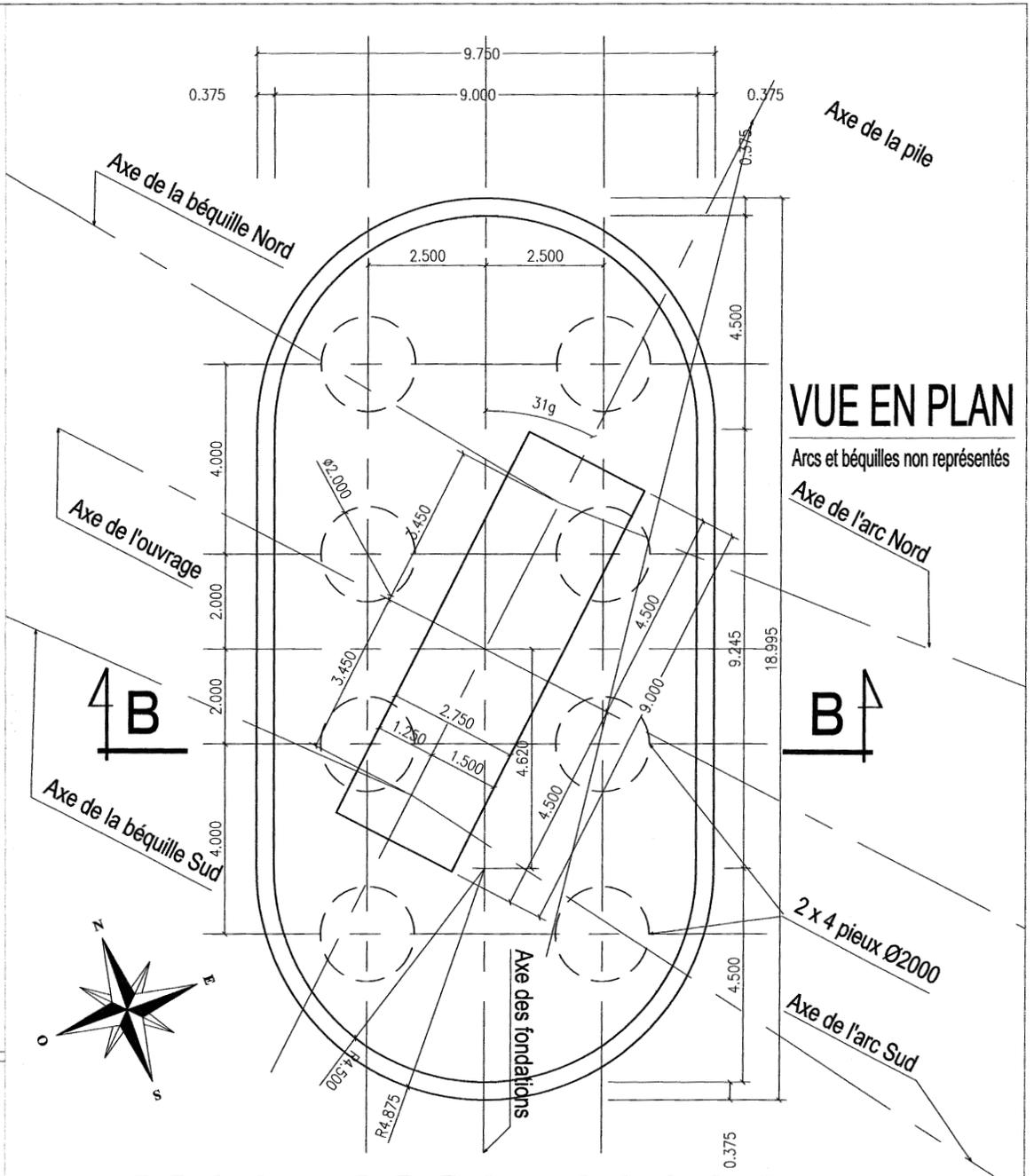
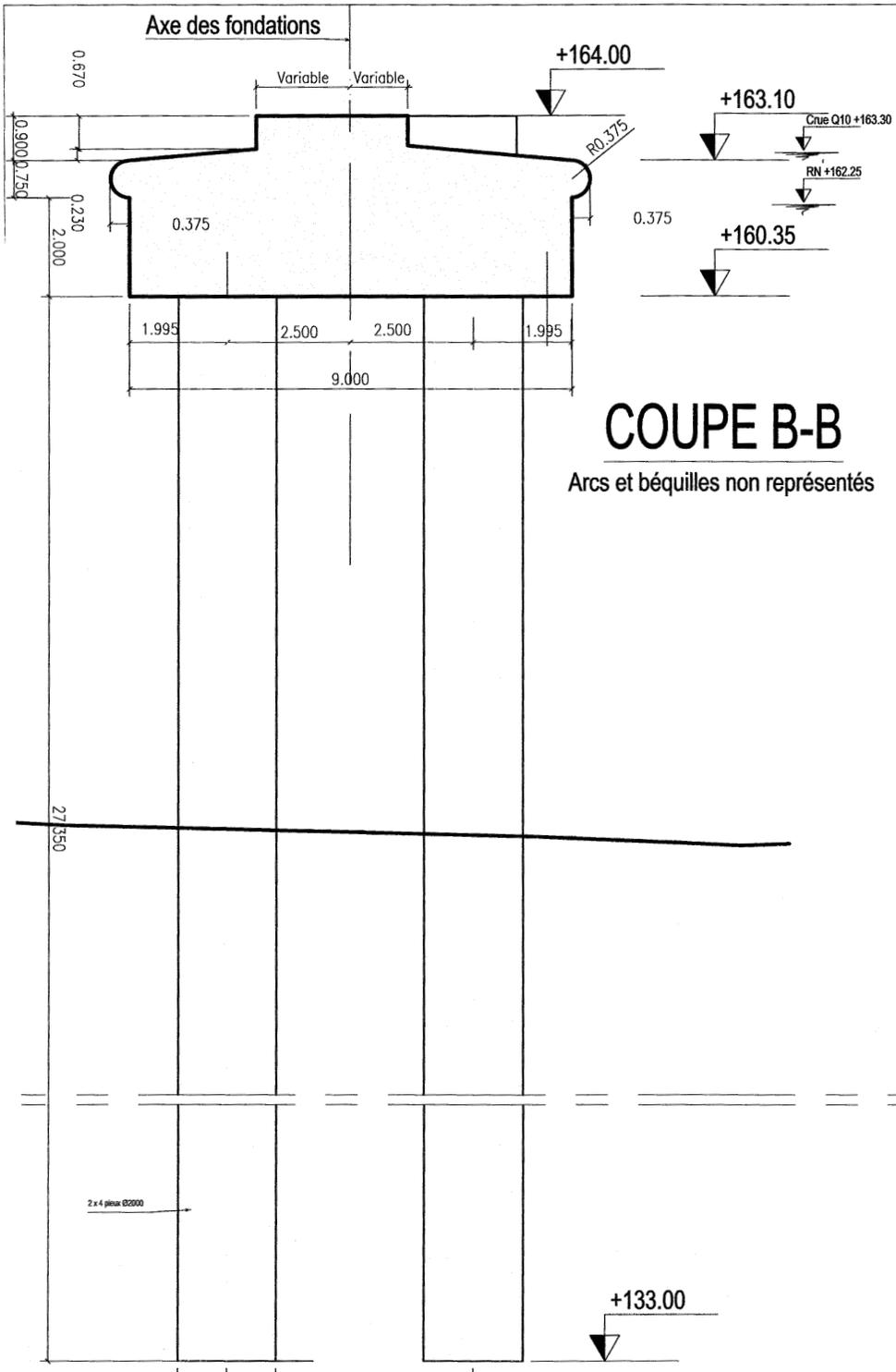
VUE EN PLAN



Concours externe de recrutement de professeurs agrégés PONT en ARC CULEE C0 - Plan	Section Genie Civil Session : 2011 Option A Ingenierie de Projet Echelle : 1/75	P4
---	---	-----------



Concours externe de recrutement de professeurs agrégés	Section Genie Civil	Session : 2011
PONT en ARC		Option A Ingenierie de Projet
CULEE C0 - Coupe		Echelle : 1/50
P5		



Concours externe de recrutement de professeurs agrégés	Section Genie Civil	Session : 2011
PONT en ARC		P7
PILE P1 - Pieux et Chevêtre		
Option A Ingenierie de Projet		Echelle : 1/100

D – Documents annexes supplémentaires

D1- charges permanentes (étude encorbellement)

Les valeurs nominales des charges permanentes sont évaluées sur la base des plans et des poids volumiques γ_{nom} des éléments.

Les valeurs caractéristiques inférieures et supérieures des charges permanentes sont déduites des valeurs nominales en prenant en compte les écarts spécifiés dans l'Eurocode 1 partie 1-1.

Acier :

$$\gamma_{nom} = 78.5 \text{ kN / m}^3$$

Écarts par rapport à la valeur nominale : -4%, +6%

Platelage bois pour la passerelle :

Le type de bois utilisé pour le platelage est un bois local issu d'une plantation durable.

Épaisseur de bois de 5cm apportant une charge de 0,5kN/m²

Écarts par rapport à la valeur nominale : -20%, +40%

Garde-corps métalliques:

La charge apportée par le garde corps est estimée à 1kN/ml

La valeur nominale est utilisée dans les calculs.

Rails :

Les rails apportent une charge de 0,55kN/ml

La valeur nominale est utilisée dans les calculs

Réseaux:

Les réseaux apportent une charge de 1 kN/ml

Écarts par rapport à la valeur nominale : -20%, +20%

Dispositifs d'éclairage :

La charge apportée par les dispositifs d'éclairage est estimée à 0.5 kN/ml

La valeur nominale est utilisée dans les calculs

Résine kevigrip :

La charge apportée par le dispositif de revêtement constitué de résine kevigrip a une valeur nominale de 1.2 kN/m²

Cette valeur est utilisée dans les calculs.

D2- Charge d'exploitation (étude encorbellement)

Charge de foule :

La charge de foule à considérer uniformément répartie sur le tablier, par zone de chargement en ligne d'influence aura une valeur de 5 kN/m² (NF EN 1991-2, 5.3.2.1) en vertical, et une charge horizontale dans le sens longitudinal avec une intensité égale à 10% de la charge verticale (NF EN 1991-2, 5.4 (2)).

D3- caractéristiques mécaniques des matériaux

Acier de charpente : (caisson, entretoises, encorbellement)

nuance S 355 M

module d'élasticité : $E = 210 \text{ GPa}$

coefficient de dilatation thermique : $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

La limite élastique à prendre en compte dans les vérifications du tablier varie selon l'épaisseur de la tôle considérée. Ces valeurs sont rappelées dans le tableau suivant (extrait tableau 5 EN 10025-4) :

Epaisseur (mm)	De	0	16	40	63	80	100	>120
	à	16	40	63	80	100	120	
Limite élastique (N/mm ²)	S355	355	345	335	325	325	320	...

D4 diagramme et listings : sollicitations dans tablier

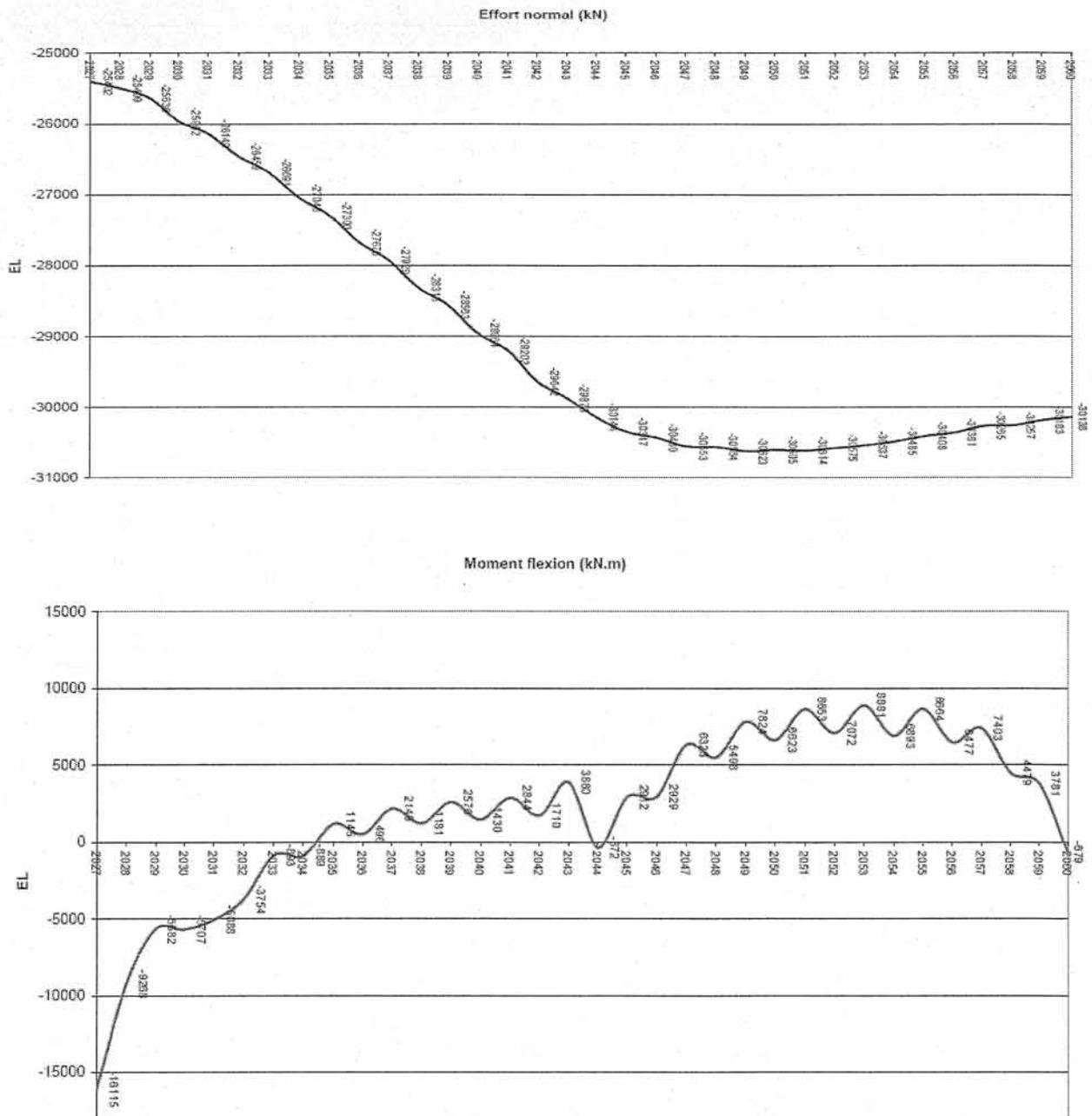


Tableau des sollicitations sur les éléments 2047 à 2060 (kN et kN.m)

EL	NOA	NA	TYA	MZA	NOB	NB	TYB	MZB
2047	535	-30553	-150	6323	536	-30551	-285	5435
2048	536	-30564	639	5498	537	-30562	504	7832
2049	537	-30623	-220	7824	538	-30620	-355	6648
2050	538	-30605	585	6623	539	-30602	450	8739
2051	539	-30614	-292	8653	540	-30611	-427	7184
2052	540	-30575	549	7072	541	-30570	414	9040
2053	541	-30537	-371	8881	542	-30532	-506	7087
2054	542	-30485	555	6893	543	-30479	420	8885
2055	543	-30408	-403	8664	544	-30402	-538	6741
2056	544	-30361	392	6477	545	-30354	224	7670
2057	545	-30265	-575	7403	546	-30259	-710	4777
2058	546	-30257	-44	4479	547	-30250	-179	4021
2059	547	-30183	-974	3781	548	-30176	-1109	-480
2060	548	-30138	-1773	-679	549	-30132	-1908	-8206

D5- Données relatives au calcul d'étaie

Actions :

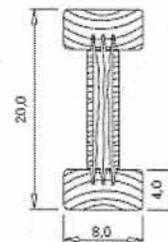
- surcharge de chantier : 2 kN/m²
- hypothèse sur le poids du coffrage : 1.20 kN/m²

Contreplaqué épaisseur 27 mm :

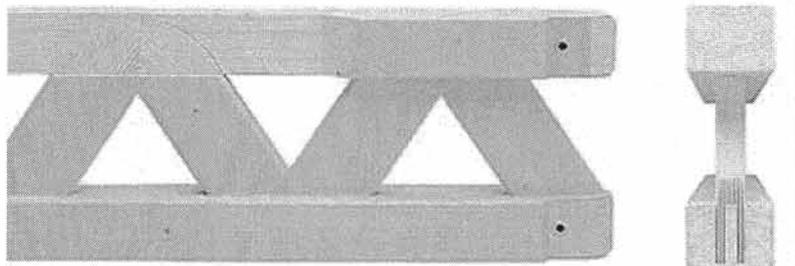
- Dimensions disponibles : 100x50 ; 150x50 ; 200x50 ; 250x50 et 300x50 mm
- Module d'élasticité : 4.10⁹ Pa
- Contrainte normale admissible : 12 MPa
- Contrainte tangentielle admissible : 2 MPa
- Flèche admissible : 1/300^{ème} de la portée.

Poutrelles secondaires en bois en I type HP 20

- Hauteur : 200 mm ; largeur : 80 mm
- Longueurs disponibles : 1.80 ; 2.45 ; 2.65 ; 2.90 ; 3.30 ; 3.60 ; 3.90 ; 4.50 m
- Module d'élasticité : 11.10⁹ Pa
- Contrainte normale admissible : 10.8 MPa
- Contrainte tangentielle admissible : 1.1 MPa
- Flèche admissible : 1/300^{ème} de la portée.
- Section : 1.10⁻² m²
- Inertie : 4.61 10⁻⁵ m⁴



Poutrelles principales en bois en treillis type GT24



- Hauteur : 240 mm ; largeur : 80 mm
- Longueurs disponibles : 1.80 ; 2.45 ; 2.65 ; 2.90 ; 3.30 ; 3.60 ; 3.90 ; 4.50 m
- Module d'élasticité : 8.77.10⁹ Pa
- Contrainte normale admissible : 8.7 MPa
- Contrainte tangentielle admissible : 2.2 MPa
- Flèche admissible : 1/300^{ème} de la portée.
- Section : 1.27.10⁻² m²
- Inertie : 8.00 10⁻⁵ m⁴

Etais :

Réf Etais Droits	Développement		Masse (kg)	Charges admissibles (t) selon le développement (mm)															
	Mini	Maxi		550	800	1000	1200	1400	1500	1700	2600	3000	3200	3500	3800	4000			
Gamme Fortis+	Hauteur étagée en mm																		
JS 80	550	800	6	3,9	3,5														
JS 120	750	1200	7,5		3,9	3,6	3,3												
JS 175	1000	1750	9,3			3,9	3,6	3,3	3,1	2,9									
	Hauteur étagée en mm																		
JS 260	1500	2600	12,5		1400	1500	1700	2000	2200		2600								
JS 300	1700	3000	14				3,9	3,5	3,3	3	2,5								
JS 350	2000	3500	15					3,7	3,5		2,9	2,3							
JS 400	2200	4000	17,5					3,9	3,6		3	2,5	2,1	2					
									3,9		3,5	3	2,7	2,2		1,8	1,5		

D6- Données relatives à la suspension du batardeau béton

Le procédé de précontrainte FREYSSIBAR

Mis au point par Freyssinet, ce procédé de précontrainte comporte une large gamme de barres filetées et d'accessoires d'ancrage, de rabouillage de couplage et de gainage.

Il convient pour la précontrainte par post-tension, les tirants d'ancrage ou toute application utilisant des barres tendues provisoires ou permanentes : levage, suspension assemblage précontraint, etc.

Barre FREYSSIBAR

Armature en acier allié à haute résistance, obtenue par laminage à chaud puis étirage à froid, la barre comporte un filetage obtenu par roulage soit en extrémité, soit sur toute sa longueur.

La gamme standard comprend les diamètres nominaux de 26,5 ; 32 ; 36 ; 40 et 50 mm ; des barres de plus gros diamètres sont livrables sur demande.

Le procédé de fabrication assure un filetage d'une grande précision, une excellente résistance à la fatigue et une moindre vulnérabilité à la corrosion sous tension. La géométrie du filetage est spécialement conçue pour assurer un assemblage rapide, précis et aisé.

Les barres sont disponibles en longueurs maximales de 11,8 mètres. Au delà, des manchons permettent de rabouter les barres entre elles.

Ancrages

Les dispositifs d'ancrage permettent d'ancrer l'effort de la barre tendue et de le transférer à la structure.

Trois types d'ancrages sont disponibles : les ancrages standards avec rondelle et écrou, les ancrages avec rotule composés d'un écrou à embase sphérique, et les ancrages fixes composés d'une plaque d'appui taraudée. Tous les écrous sont obtenus par matriçage à chaud.

En outre, des manchons permettent de coupler des armatures primaires et secondaires.

Mise en tension

Le matériel de mise en tension garantit la précision de l'effort introduit dans la structure de $\pm 2\%$, obtenue par un étalonnage régulier du manomètre des pompes et des vérins.

Facteurs de sécurité

L'effort de mise en tension des barres de précontrainte est fonction des règlements applicables.

Les recommandations ci-dessous sont données à titre d'exemple (Frg désignant l'effort de rupture garanti de l'armature).

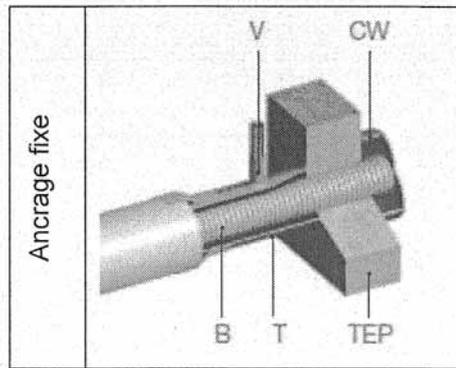
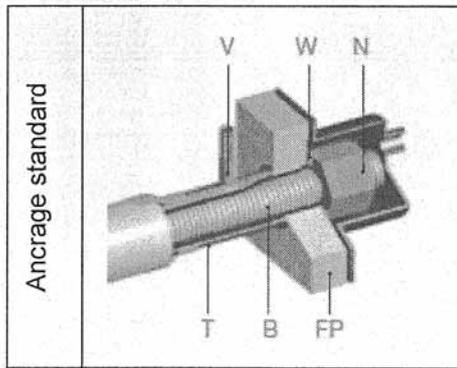
Dans les structures post-contraintes, le règlement Français (BPEL 91 révisé 99) limite la mise en tension des barres à 0,70 Frg.

Dans le cadre des tirants d'ancrage précontraints, la norme EN 1537 préconise une traction de blocage limitée à 0,60 Frg. La traction d'épreuve pendant les essais préalables, de contrôle et de réception, devant rester inférieure à 0,80 Frg.

Dans le cas de ré-emplois, l'effort de mise en tension de la barre est limité à 0,60 Frg à la première utilisation, et à 0,50 Frg pour les suivantes.

Caractéristiques géométriques

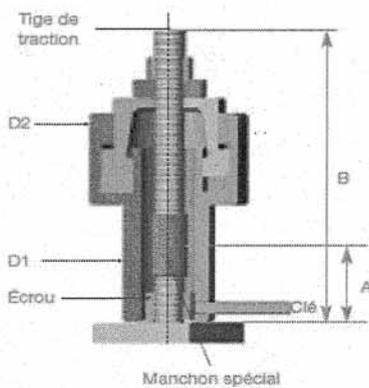
Familles	Articles	Caractéristiques	Unités	Diamètre nominal des barres (mm)					Références dessin
				26,5	32	36	40	50	
Barres		Code article		B26,5	B32	B36	B40	B50	B
		Classe d'acier	MPa	1030	1030	1030	1030	1030	
		Aire de la section transversale	mm ²	552	804	1018	1257	1964	
		Masse linéique	kg/m	4,56	6,66	8,45	10,41	16,02	
		Force de rupture caractéristique	KN	568	828	1048	1295	2022	
		Limite d'élasticité conventionnelle à 0,1%	KN	461	672	850	1049	1640	
		Force de mise en tension à 70% de la force de rupture caractéristique	KN	398	580	734	906	1416	
		Pas du filetage	mm	6	6	6	8	8	
		Module sécant moyen	GPa	170	170	170	170	170	



Ancrage standard	Ecroû	Code article		N26,5	N32	N36	N40	N50	N
		Longueur	mm	38	42	47	52	72	
		Largeur sur plats	mm	50	56	62	65	90	
	Rondelle	Code article		W26,5	W32	W36	W40	W50	W
		Diamètre extérieur	mm	65	70	75	80	105	
		Épaisseur	mm	6	6	6	6	6	
	Plaque carrée standard	Code article		FP26,5	FP32	FP36	FP40	FP50	FP
		Côté**	mm	110	125	140	150	185	
		Épaisseur	mm	30	35	40	40	45	
		Option : avec canal d'injection largeur x profondeur	mm	10x10	10x10	10x10	10x10	12x10	G

Ancrage fixe	Plaque carrée taraudée	Code article		TEP26,5	TEP 32	TEP 36	TEP 40	TEP 50	TEP
		Côté**	mm	110	125	140	150	185	
		Épaisseur	mm	40	50	50	60	70	
		Option : avec capot soudé / longueur	mm	15	20	20	25	25	CW

Les vérins de mise en tension

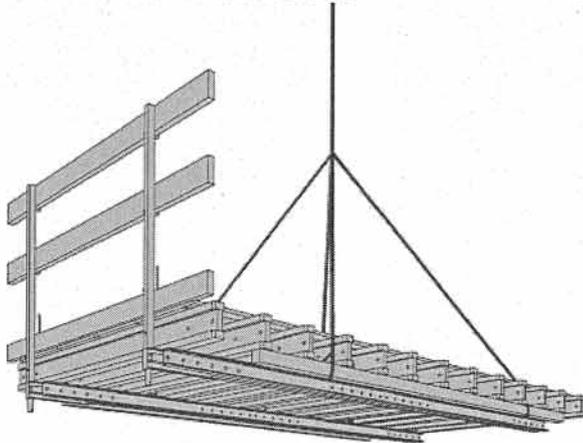


VÉRINS - AVEC TIGE DE TRACTION		
Références	80 VAD 90	150 VAD 90
Unités (mm)	26,5-32-36-40	26,5-32-36-40-50
Capacités (kN)	1000	1700
Courses (mm)	100	100
Sections du piston (cm ²)	127,2	240
Pression maxi (bars)	790	710
Surlongueur A (mm)	215	215
Encombrement B (mm)	700	740
Diamètre D1 (mm)	160	200
Diamètre D2 (mm)	160	243
Poids (kg)	63	91

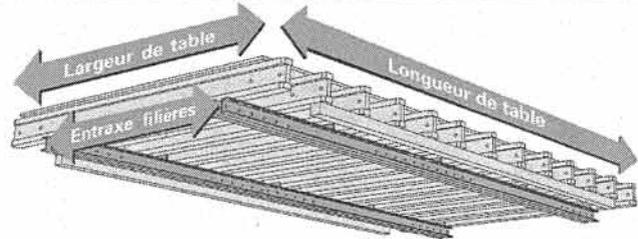
D7- Données relatives à la plate-forme de préfabrication du batardeau suspendu

Plateaux coffrants Doka Top 50

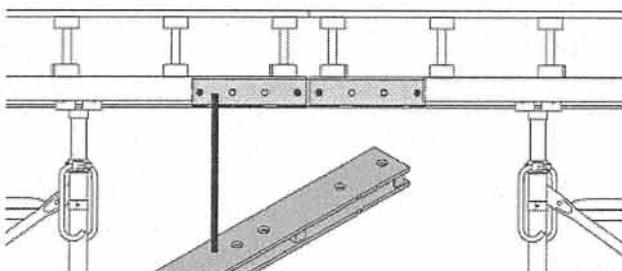
- Panneau de coffrage 3plis 3-SO 21 mm
- Poutrelles Doka H 20 195,0 Largeur de table 2,00 m
- Poutrelles Doka H 20 245,0 Largeur de table 2,50 m
- Filières WS 10



Plateau de table Top 5		
Larg. table	Long table	Entraxe filières
2,00	3,00 m	1,50 m
2,00	4,50 m	1,50 m
2,50	3,00 m	1,50 m
2,50	4,50 m	1,50 m

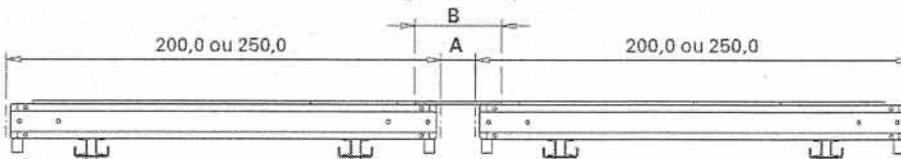


Mesures en cm



Eclisse Top 50 Z
 + 4 Goujons d'assemblage 10 cm
 + 4 Epingles de sécurité 6 mm

Largueur de coupe



Largueur de coupe B des bandes de CP = A+30 cm

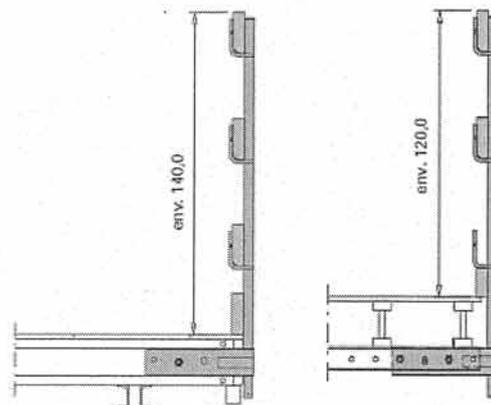
L'assemblage des plateaux de table est simple.

L'éclisse est boulonnée sur la filière à l'aide du goujon d'assemblage et bloquée avec l'épingle de sécurité 6 mm.

Compensation nominale max. A [cm]	
Epaisseur dalle [cm]	Dokaplex 21 mm
25	30
50	25
75	20
115	15

Sécurité intégrée

La sécurité peut être réalisée tout aussi bien sur la longueur que sur la largeur de la table.



montant de garde-corps Top 50-140 enfichable

support de garde-corps H 20/WS 10

Fixation sur la poutrelle Doka

Fixation sur la filière WS 10