

SESSION 2012

**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 ;
- NF EN 1994-1-1 Eurocode 4 : calcul des structures mixtes acier-béton.

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 :	6 pages
B - Etudes demandées :	5 pages

Documents annexes :	15 pages
---------------------------	----------

- D1 – Coupe transversale type simplifiée sur appuis
- D2 – Position des équipements sur la section transversale du tablier
- D3 – Plan de répartition des matières de la travée P1-P2
- D4 – Répartition des connecteurs sur pièces de ponts et consoles
- D5 – Vue en plan des connecteurs sur les poutres principales
- D6 – Répartition des connecteurs sur les semelles supérieures de PS T26-N et T26-S
- D7 – Plan de pose des prédalles et détail sur pile P1
- D8 – Plan de pose transversal des prédalles sur le bipoutre
- D9 – Sollicitations dans une plaque rectangulaire simplement appuyée sur 3 cotés
- D10 – Données propres à la réalisation des prédalles en usine
- D11 – Données propres à la réalisation du hourdis béton sur l'ouvrage
- D12 – Plan d'installation de chantier
- D13 - Informations Potain MDT 368 L16

Documents réponses :	6 pages
----------------------------	---------

- DR1 – Répartition transversale des charges permanentes
- DR2 – Modèle utilisé pour la répartition transversale des actions permanentes
- DR3 – Etude de prix de la prédalle A2A
- DR4 – Planning chemin de fer
- DR5 – Phasage

A – Présentation générale de l'opération

Contexte socio économique

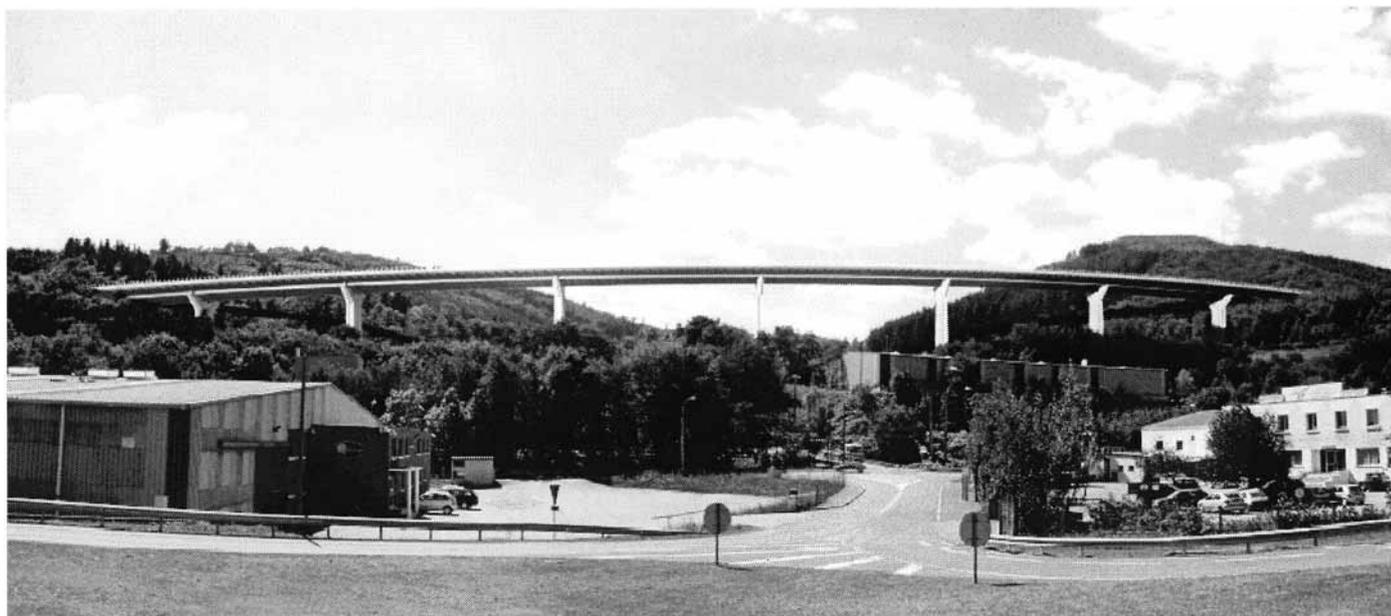
L'Autoroute A89 a été voulue et conçue comme un outil de développement du centre de la France. Cette autoroute reliera à terme deux grandes villes situées à l'ouest et à l'est du territoire, BORDEAUX et LYON, elle a été baptisée "la Transeuropéenne".

Dans les départements du Rhône et de la Loire des travaux spectaculaires ont débuté en 2006 sur le tronçon BALBIGNY / LA TOUR DE SALVIGNY afin de terminer cette Autoroute. Cette liaison Autoroutière de 50 km comporte à elle seule 3 Tunnels dont le double tunnel de VIOLAY d'une longueur de 3,9 km, 8 viaducs, 83 ouvrages d'art courants, 16 millions de m³ de terrassement, 6 échangeurs et de nombreux bâtiments de service.

Une concession a été accordée jusqu'en 2033 à une entreprise qui finance, construit et exploite ce tronçon.

En 2011 le viaduc de la Goutte Vignole était le deuxième plus grand ouvrage d'art exceptionnel en construction en France. Son tracé sur l'autoroute A89 est urbain et dans une zone géographique vallonnée, il permet le franchissement du ruisseau de la Goutte Vignole et de la voie communale N°8. Cet ouvrage d'art est situé sur le TOARC EST entre plaine et montagne.

La présence d'un biotope riche a nécessité des aménagements et des choix techniques spécifiques pour cet ouvrage qui sera livré et mis en service en 2012. Des restrictions écologiques nombreuses ont imposé des choix originaux et mobilisé une concertation de tous les acteurs économiques au sens large.



Deux solutions ont été proposées et étudiées à l'appel d'offre : un tablier bipoutre mixte acier-béton et un tablier type caisson en béton précontraint. La solution retenue est finalement la solution mixte acier-béton. C'est cette solution qui va servir de support à l'épreuve.

Conception générale de l'ouvrage

1.1. Géométrie de la voie portée, travées

Le tablier bipoutre mixte acier-béton a une longueur totale de 618 m dans l'axe longitudinal, la 2x2 voies supportée a une largeur hors corniches égale à 21,60 m, son rayon de courbure axial est constant sur l'axe en plan et vaut 1150 m. La pente du profil en long est constante, elle vaut 2,5 %, par ailleurs le rayon de courbure vertical du profil en long vaut 67500 m.

Le profil en travers courant présente :

- 1 BDG de 0,75 m sur la chaussée SUD,
- 1 BDG variant de 0,75 m à 0,86 m sur la chaussée NORD,
- 4 voies de circulation de 3,50 m chacune,
- 2 BAU de 2,00 m,
- Un séparateur DBA.

Par ailleurs, le dévers en toit varie de 2,5 % à 3,28 % sur le profil en travers.

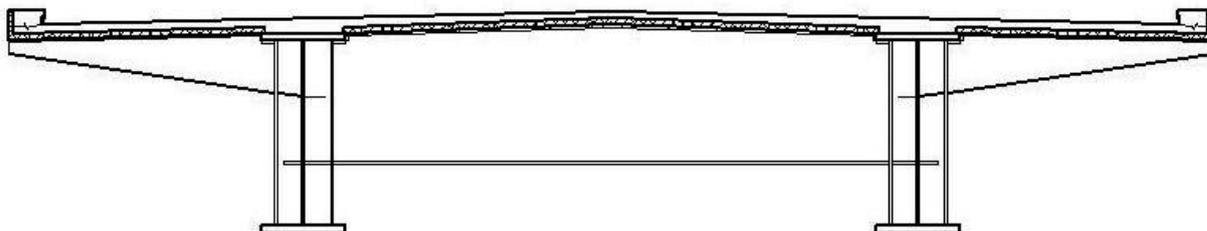
L'ouvrage ne comporte pas de biais, les appuis de l'ouvrage sont "rayonnants" et autorisent tous les déplacements justifiés par la note de calcul en têtes des piles. Ces appuis sont uni-directionnels ou multi-directionnels selon leur emplacement sur l'ouvrage.

La distribution des portées longitudinales des 8 travées est dissymétrique. La désignation des appuis adoptée pour tout le projet est la suivante : 9 appuis constitués de 2 culées désignées par C0 et C8 et 7 piles désignées par Pi avec $i=1$ à 7.

La première travée est de longueur égale à 63 m entre C0 et P1. Les 5 travées suivantes ont une portée de 88 m. La travée suivante à une portée de 67 m, enfin la travée de rive de P7 à C8 a une portée de 48 m. Le point haut du profil en long dans l'axe de l'ouvrage est la culée C0.

1.2. Le tablier mixte acier-béton

Le tablier mixte acier-béton est composé d'une charpente métallique et d'un hourdis en béton armé solidarisé par une connexion mécanique type connecteurs.



Coupe type sur Pile

1.2.1. La charpente métallique

La charpente métallique est constituée d'un bipoutre en acier comprenant des pièces longitudinales et transversales. Les poutres longitudinales du bipoutre sont des PRS, Profilés Reconstitués Soudés, en forme de I dissymétriques. Elles ont une hauteur constante égale à 3,60 m. Les épaisseurs des semelles varient de 50 à 130 mm tandis que l'épaisseur de l'âme varie de 16 à 30 mm.

Les PRS sont solidarités sur chantier par des pièces de pont transversales de hauteur différentes selon les sections. Une section transversale type comprend donc 2 PRS, 1 pièce de pont et 2 consoles.

En partie supérieure de toutes les pièces longitudinales et transversales sont soudés des connecteurs en acier. Leur espacement longitudinal est variable, de 200 mm à 400 mm, pour assurer la connexion acier-béton conférant à l'ensemble le fonctionnement mécanique attendu.

1.2.2. Le hourdis en béton armé

La charpente métallique est connectée à un hourdis en béton armé composé d'une prédalle et d'une dalle de compression. La prédalle collaborante préfabriquée d'épaisseur 0,12 m sert aussi de fond de coffrage. L'épaisseur totale du hourdis sera supposée constante de 0,25 m.

Tous les bétons sont de classe C40/50 et les aciers courants désignés par B 500 B. La formulation ne prévoit pas d'entraîneur d'air.

L'ouvrage est supposé comme stratégique, sa durée de vie devra être supérieure à 100 ans. L'environnement de l'ouvrage n'est pas industriel.

L'ouvrage sera conçu pour recevoir un salage fréquent en période hivernale. Compte tenu du principe de réalisation, l'enrobage des prédalles pourra être considéré comme compact. Un plan d'assurance qualité permettra de contrôler l'enrobage des armatures avant coulage.

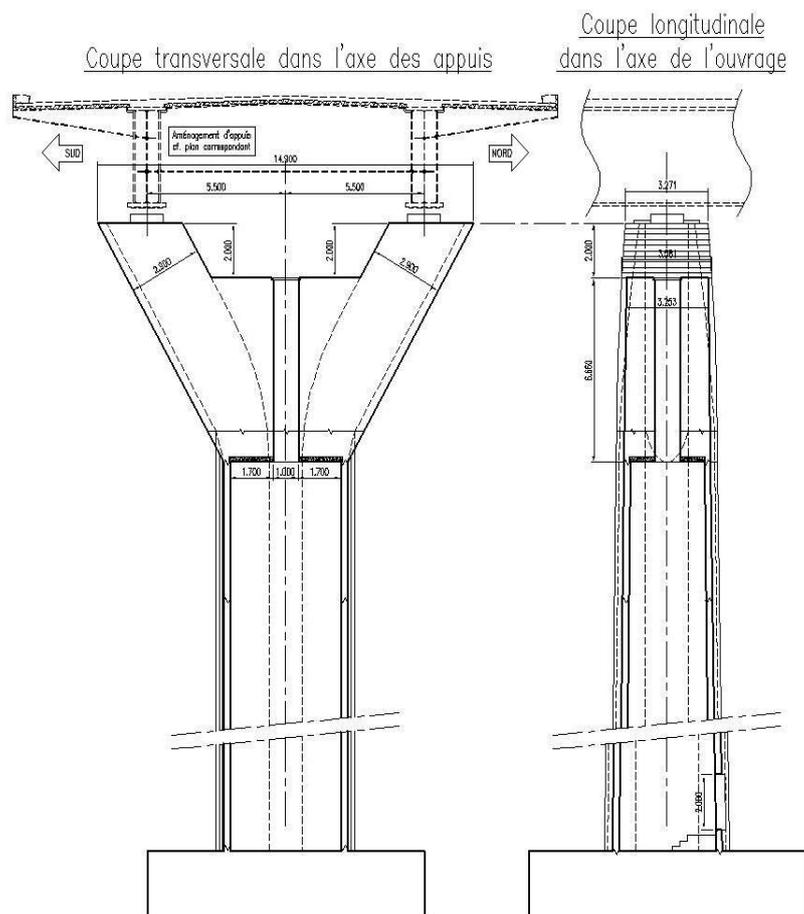
1.3. Les piles

Les piles, en forme de Y, sont creuses et à inertie variable. La pile la moins haute mesure 11,90 m et la plus haute 58,80 m.

Leur réalisation a nécessité la mise en œuvre de coffrages spécifiques posés sur des plateformes périphériques de travail. Un noyau central aux dimensions variables permet le coffrage intérieur.

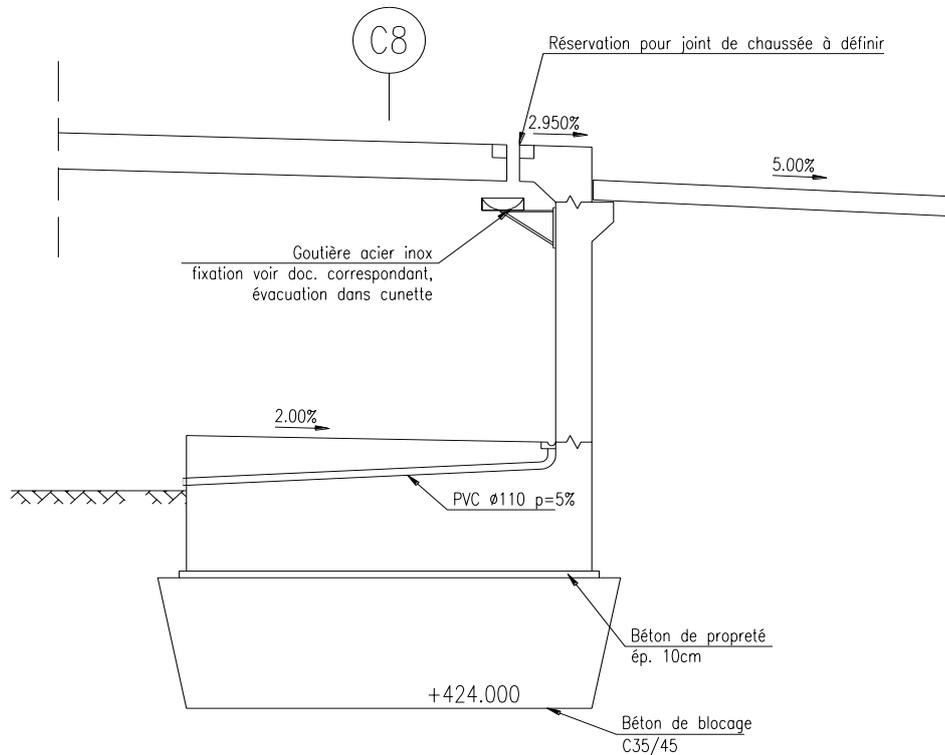
La classe de résistance des bétons utilisés est C 40/50.

Chaque pile supporte un chevêtre plein en béton armé. Les chevêtres des 7 piles sont tous identiques et ils assurent le transfert des charges de la charpente métallique vers les têtes de piles par des bossages distants de 11,00 m d'axe à axe.



1.4. Les culées

Les culées sont en béton armé et constituées d'une semelle massive qui supporte des bossages d'appuis définitifs. Un mur garde grève et des murs en retour permettent le raccord au profil en déblai ou en remblai aux extrémités de l'ouvrage.



Vue simplifiée de la culée C8

1.5. Les fondations

Les fondations des piles sont superficielles, à l'exception de la pile P5 qui a nécessité la réalisation d'un puits marocain d'une douzaine de mètres de profondeur. Chaque pile est considérée encastree en pied sur sa semelle.

1.6. Les équipements

La description des principaux équipements utiles à l'épreuve est faite dans la rubrique hypothèses, ci-après.

Construction du tablier de l'ouvrage

La charpente métallique est entièrement réalisée puis pré assemblée en usine sur plusieurs sites différents en France. Les PRS sont transportés par convois exceptionnels et déposés sur des massifs d'appuis provisoires dénommés "camarteaux". Une fois les différents PRS en place, un contrôle géométrique en 3 dimensions de leur position est réalisé avant soudage aux précédents tronçons déjà en place et déjà contrôlés eux-mêmes.

Les pièces de ponts sont ensuite soudées entre les deux PRS pour constituer le bipoutre. D'autres pièces métalliques transversales désignées par consoles sont soudées de chaque côté du bipoutre.

L'ensemble de ces pièces est assemblé, par tronçons, sur une plateforme de lancement d'environ 150 m de long.

Lorsque la charpente ainsi reconstituée est prête, elle est "lancée". Cette opération consiste à la déplacer de sa plateforme de lancement vers ses appuis définitifs. L'effort qui permet le déplacement est assuré par un treuil électrique et un câble. La charpente en mouvement "roule" sur des appuis provisoires dénommés "chaises à galets". Ces chaises à galets sont disposées sur les camarteaux lorsque la charpente est sur la plateforme de lancement ou sur les chevêtres de piles et les culées.

Durant toute la phase de lancement, qui se déroule sur plusieurs mois, un avant bec métallique est utilisé.

Le hourdis béton armé est constitué de prédalles en béton armé et d'une dalle coulée en place sur celles-ci.

Les prédalles sont mises en place par deux équipes qui travaillent simultanément des culées vers le milieu de l'ouvrage.

Une troisième équipe est chargée du calfeutrement des joints et des coffrages complémentaires.

Restent deux équipes : l'une chargée du ferrailage et l'autre du bétonnage. Les phases de coulages sont étudiées de façon à limiter l'ouverture des fissures dans le hourdis béton.

Chacune de ces équipes travaille sans interruption sur ce chantier.

Avant la mise sur appuis définitifs, les appuis à pots sont mis en place sur bossages de tous les appuis.

Hypothèses de calcul

1.7. Les actions permanentes

D'après l'article de référence du C.C.T.P. pour ce projet, des fractions forfaitaires sont à prendre en compte pour le calcul des valeurs caractéristiques du poids propre des éléments.

1.7.1. Charpente métallique

Le poids volumique à considérer est $78,5 \text{ kN/m}^3$. Cette donnée permet de générer le poids des structures nues. Pour ce qui concerne les éléments secondaires (pièces de pont, raidisseurs, goujons, etc...) ils sont évalués par métré et appliqués sous la forme de charge uniformément répartie pour les éléments en travées et de charge ponctuelle pour les éléments sur appuis.

- Fraction forfaitaire égale à $\pm 1.5 \%$ pour les parties métalliques

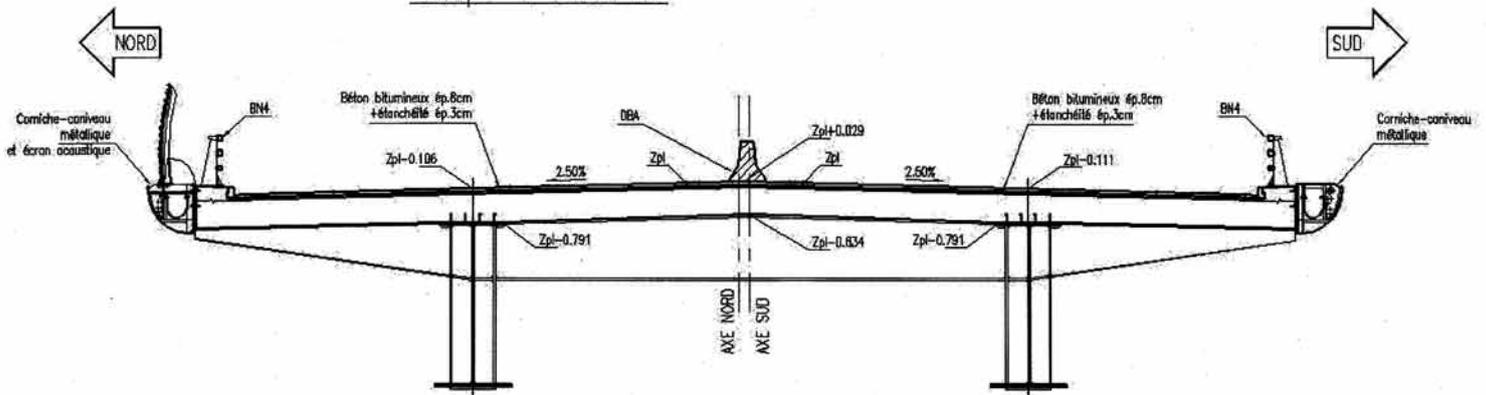
1.7.2. Hourdis béton armé

Le poids volumique retenu pour les prédalles et la dalle coulée en place est 25 kN/m^3 .

- Fraction forfaitaire égale à $\pm 3 \%$ pour ces parties en béton armé.

1.7.3. Superstructures

Coupe à l'axe C0



- Chape d'étanchéité : 24 kN/m^3 , fraction forfaitaire à considérer $\pm 20 \%$
- Chaussée prévue non rechargeable : 24 kN/m^3 , fraction forfaitaire à considérer $+ 40 \%$, -20%
- Corniche métallique de rive extérieure : $0,1 \text{ t/ml}$, fraction forfaitaire à considérer $\pm 5 \%$
- Garde corps BN4 : $0,065 \text{ t/ml}$, fraction forfaitaire à considérer $\pm 5 \%$
- Séparateur DBA : $0,70 \text{ t/ml}$, fraction forfaitaire à considérer $\pm 5 \%$
- Longrine béton : 25 kN/m^3 , fraction forfaitaire à considérer $\pm 5 \%$
- Eaux de remplissage des caniveaux chargées de sédiments : $0,18 \text{ m}^2$, 13 kN/m^3
- Fourreaux : 50 kg/ml/côté , fraction forfaitaire à considérer $\pm 5 \%$
- Ecran acoustique : $0,1 \text{ t/ml}$, fraction forfaitaire à considérer $\pm 5 \%$

1.7.4. Surcharges de chantier

Le phasage de chantier et les principes constructifs engendreront une charge de chantier de 500 kg/m^2 sur les prédalles en béton armé pendant la phase de travaux. Cette valeur tient compte des ouvriers, du matériel et des surplus de béton déposés lors de l'ouverture de la benne.

1.7.5. Matériaux utilisés

Aciers de charpente principale :

- $e < 30 \text{ mm}$: S 355 K2
- $30 \text{ mm} < e < 80 \text{ mm}$: S 355 N
- $e \geq 80 \text{ mm}$: S 355 NL
- Profilés : S 355 K2
- Goujons de diamètre 22 mm , hauteur 175 mm : S 235 J2, $f_u = 450 \text{ MPa}$

Aciers Haute Adhérence :

- B 500 B

Béton armé du hourdis :

- BPS – NF EN 206-1 C40/50 XS3 Dmax20 140 +/- 30 CL 0,20 CEMI 52,5 400 kg

B – Etudes demandées

Partie B1- Etudes techniques

L'étendue des études réellement faites sur un tel ouvrage et les moyens de calculs informatiques nécessaires interdisent leur mise en œuvre manuelle. Des calculs manuels permettent, néanmoins, et moyennant quelques simplifications précisées, d'approcher les résultats numériques issus des logiciels habituellement utilisés en bureau d'études.

Dimensions de l'ouvrage

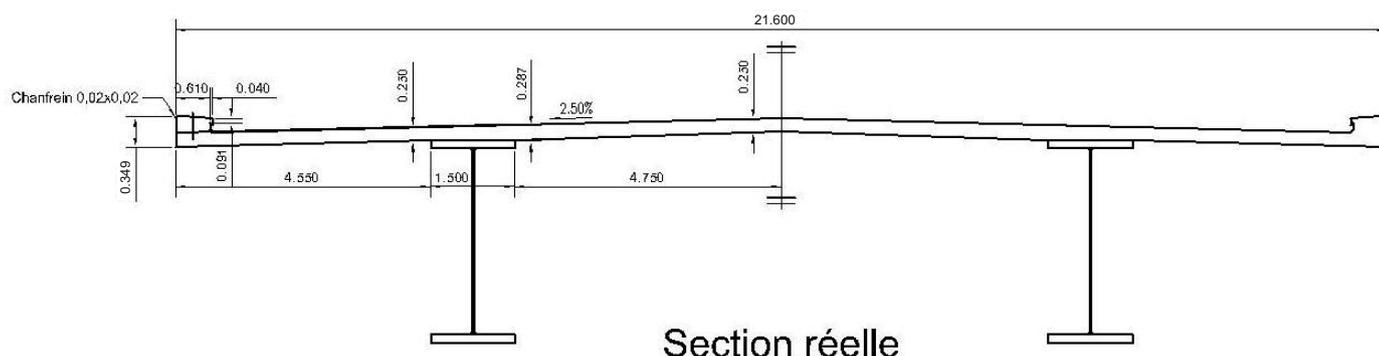
- Les concepteurs ont choisi un ouvrage mixte composé de PRS surmontés d'un hourdis béton. Sans aucun calcul, indiquez les critères qui les ont conduits à retenir ces hauteurs, largeurs et épaisseurs des poutres et de dalle.

Les matériaux

- Expliquer en détail la désignation complète du béton utilisé pour la dalle du tablier.
- Expliquer la désignation de tous les aciers utilisés pour réaliser la charpente, indiquer les conséquences de ce choix sur le comportement de la structure.
- Au vu de la description des aciers utilisés pour cet ouvrage, quelles premières propositions peut-on faire pour optimiser "la performance" de la charpente métallique ?
- Expliquer complètement la désignation des aciers utilisés pour les prédalles du hourdis.

Etudes des actions et des sollicitations

Par simplification, la section réelle du hourdis du tablier sera modélisée dans le projet par un rectangle dont la largeur est la largeur réelle du tablier soit 21,60 m et dont la hauteur e_1 vaudra 250 mm.



- **Action permanente de poids propre.**

La masse nominale totale de la charpente métallique est de 3914 t. Son calcul découle essentiellement de la lecture du plan de répartition des matières et de ses annexes.

Déterminer les poids propres du hourdis et des superstructures situés sur la charpente, par mètre linéaire d'ouvrage. Vous reporterez les résultats sur le document réponse DR1.

○ **Répartition transversale des charges permanentes du tablier et de la superstructure.**

Le modèle utilisé pour étudier la répartition transversale des poids propre sur les deux poutres PN et PS est présenté en Annexe D2 et document réponse DR2. Déterminer les actions linéiques du hourdis et des superstructures sur la charpente métallique en service, sans action variable. Les résultats seront présentés sur le document réponse DR1 et DR2 faisant apparaître la composante verticale de la réaction d'appuis sur les semelles supérieures des poutres PN resp. PS situées au Nord resp. au SUD sur la section courante.

○ **Action variable Trafic.**

La norme européenne NF EN 1991-2 précise au paragraphe 4.1 qu'elle n'est utilisable que pour des longueurs chargées inférieures à 200 m. Discuter de l'opportunité d'appliquer ce modèle pour l'ouvrage étudié.

Vous considèrerez que la largeur roulable de cet ouvrage est de 10 m par côté de circulation. Déterminer les modèles UDL et TS de charges règlementaires applicables à l'ouvrage.

○ **Positionnement des voies pour la flexion transversale, ligne d'influence.**

Donner l'équation de la ligne d'influence transversale de la réaction d'appui verticale de la poutre PN, puis l'équation de la ligne d'influence de la réaction d'appui verticale de la poutre PS. Ces équations seront définies sur le modèle proposé dans un repère local de la section transversale définie positionné sur le bord gauche de la chaussée, du côté de la poutre PN.

Après avoir représenté ces deux lignes d'influence transversales dans le repère orthonormé adéquat, représenter les chargements réglementaires UDL et TS des voies définies précédemment.

Calculer les valeurs maximales et minimales des réactions d'appui verticales sur les poutres PN et PS.

Etude du hourdis en béton armé

Compte tenu du phasage des travaux le calcul du hourdis se fait en plusieurs étapes, avec une étude en flexion locale et une étude de flexion globale de l'ouvrage. Les principaux calculs sont :

- un calcul en phase de travaux sous poids propre avec les prédalles simplement appuyées et en considérant la charge de chantier. Dans cette phase les prédalles ont un repos de 50 mm sur les semelles des poutres principales, des pièces de pont ou des consoles.
- un calcul sous superstructure et surcharges avec le hourdis sur toute sa hauteur, 250 mm et tous les clavages réalisés.

○ **Justifier la valeur de l'enrobage noté C_{nom} pour les aciers des prédalles en béton armé.**

○ **Déterminer les sollicitations de flexion en phase de travaux pour la prédalle Nord B1 au niveau de la section sur pile P1.** Pour cette partie vous supposerez que cette prédalle est rectangulaire. Vous vous aiderez des documents D7, D8 et D9.

○ **Calculer puis faire un choix constructif des armatures de cette prédalle** (pour cette partie, ne seront considérées que les actions et sollicitations de la phase provisoire de travaux).

- **Schéma de ferrailage de la prédalle B1I.**

Les études globales et locales ont permis de déterminer des sections d'acier enveloppes pour cette prédalle B1I.

- dans la direction longitudinale de l'ouvrage : $20,85 \text{ cm}^2/\text{ml}$
- dans la direction transversale de l'ouvrage : $15,04 \text{ cm}^2/\text{ml}$

Réaliser un schéma de principe du ferrailage de cette prédalle B1I en considérant les armatures définies. Faire apparaître les semelles d'appui de la charpente, les connecteurs, la prédalle voisine. Indiquer les contraintes de mise en œuvre à traiter.

- **Principe de ferrailage.**

Indiquer la nature et la fonction des autres armatures types à disposer dans le hourdis sur un tel ouvrage.

Etude de la connexion charpente métallique-hourdis béton armé

La connexion est assurée par des connecteurs en acier cylindriques conformes à la norme NF EN 13918 et appelés goujons à tête. Ces connecteurs vont assurer l'équilibre sous le flux de cisaillement horizontal à l'interface entre le hourdis en béton armé et la charpente métallique.

- **Rappeler les modes de ruine attendus d'un connecteur de ce type.**

- **Calculer la résistance de cisaillement de calcul d'un goujon à l'E.L.U. et à l'E.L.S.**

- **Calculer le flux de cisaillement résistant linéique sur la zone située entre la pile P1 et P2.**

La zone étudiée permettant un calcul est située sur les tronçons T26-N du PRS Nord et T26-S du PRS sud, sur la pile P1, entre les consoles CN 19 et CS 19. La zone d'étude sera **parfaitement définie** avant de présenter les calculs, sur la base des documents annexes fournis.

- **Contrôler les dispositions constructives réglementaires.**

Etudes en Service, section mixte acier-béton

En service, la section droite du tablier comporte la charpente métallique et le hourdis béton armé, la connexion étant assurée par la prise du béton et la présence des connecteurs.

Cette section mixte est soumise à des sollicitations de flexion positives et/ou négatives selon les cas de chargement et les combinaisons envisagés.

- **Justification de la section mixte acier-béton à mi travée P1-P2 à l'ELU, tronçon 24.**

Justifier et conduire l'analyse plastique de cette section droite en précisant tous les éléments du calcul réglementaire, ainsi que les simplifications adoptées si nécessaire. Calculer le moment résistant plastique de la section droite sur la base des hypothèses qui seront toutes justifiées.

Partie B2 - Étude des réalisations

Les données financières données dans le sujet ne sont pas les données réelles des entreprises, elles sont cependant réalistes.

Etude d'une phase de lancement de la charpente métallique

Le lancement d'une charpente métallique de plusieurs milliers de tonnes est une opération longue qui se déroule sur plusieurs mois et dont chaque séquence fait l'objet d'une étude spécifique. Pour chaque phase, les sections droites sont soumises à des sollicitations qui varient puisque les sections droites sont déplacées alors que les appuis déjà construits ont une position longitudinale fixe par définition.

En phase de lancement, un avant bec métallique à inertie variable est fixé sur l'extrémité de la charpente métallique. Pour cet ouvrage l'avant bec mis en place mesurait 37,50 m de long, sa hauteur variable allait de 3,00 m à l'encastrement sur la charpente à 1,45 m à son extrémité. La structure lancée et à l'arrêt n'est soumise qu'à des actions permanentes de poids propre lorsque la séquence de lancement est terminée (hypothèse de vent nul pour cette étude).

- **Traction de la charpente par un treuil.**

Les treuils utilisés sont généralement électriques. La capacité de traction du treuil est généralement de 100 t pour ce type d'ouvrage. Indiquer l'utilité d'une telle intensité de traction dans le cas général d'un ouvrage mixte lancé.

- **Avant bec, arrière bec.**

Ces deux dispositifs sont utilisables pour des configurations courantes liées aux conditions du chantier. Indiquer l'utilité de chaque dispositif et son domaine d'emploi dans les cas courants.

- **Ligne d'influence de la flèche à l'extrémité de l'avant bec.**

Dessiner, dans un repère adéquat complètement renseigné, l'allure de la ligne d'influence de la flèche verticale à l'extrémité de l'avant bec entre la culée C0 et P2, juste avant l'accostage sur P3.

- **Accostage sur pile.**

La charpente métallique fléchit sous son seul poids propre si bien que l'extrémité du porte à faux peut se trouver sous le niveau d'accostage requis, celui des galets des chaises à galets. L'ingénieur travaux sur chantier peut proposer une solution pour réduire cette flèche. Cette solution découle du phasage des travaux décrits précédemment.

Détailler cette possibilité intéressante qui s'offre à lui. Préciser les avantages et les inconvénients de cette possibilité puis les conditions géométriques qui conditionnent sa mise en œuvre.

- **Flexion des piles.**

Les forces de frottement qui naissent pendant le lancement sont équilibrées en partie par flexion dans les piles. La longueur de flambement des piles est donc différente de la situation de service.

Indiquer les longueurs de flambement à considérer en phase de lancement puis de service pour un premier calcul manuel simplifié de la flèche en tête de pile.

Préfabrication en usine des prédalles

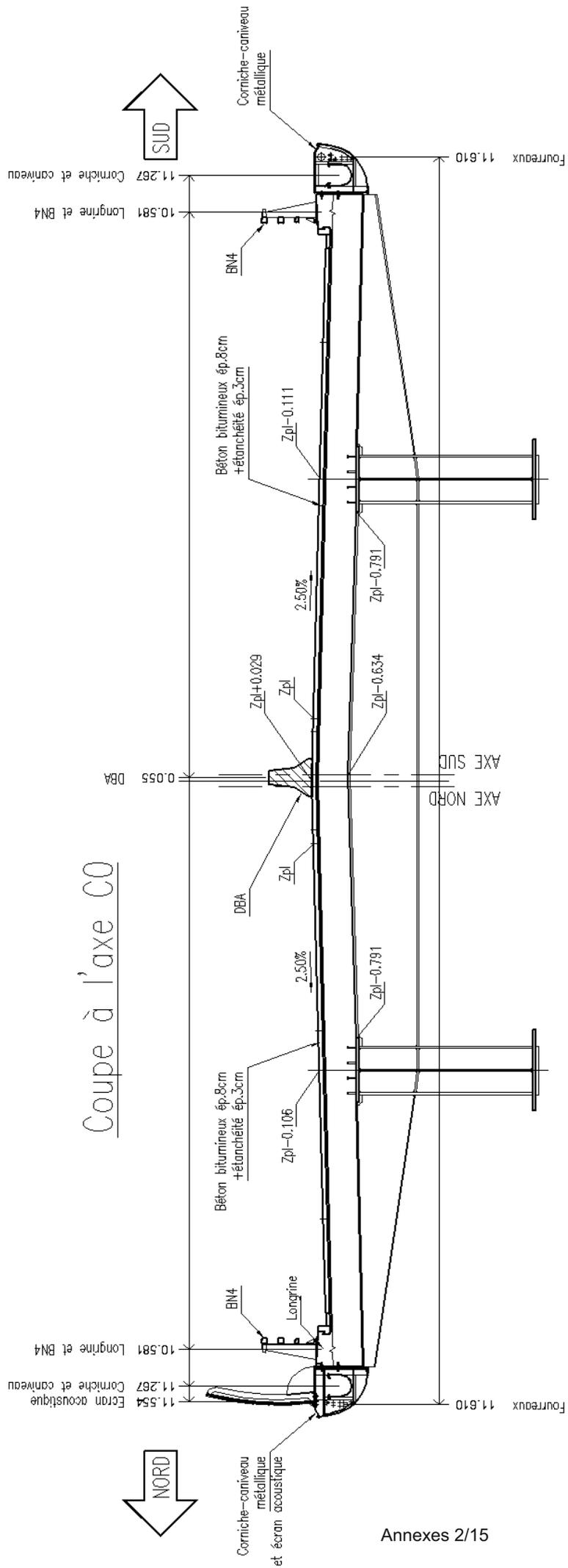
Le hourdis du tablier de l'ouvrage sera coulé sur prédalles préfabriquées en usine.

- **Donner les avantages, pour ce chantier, d'un tel choix et expliquez les incidences sur l'organisation du chantier.**
- Compte tenu des dimensions indiquées sur le document annexe D8, **réaliser les quantitatifs des éléments suivants pour la prédalle A2A :**
 - Surface de coffrage – précision 1/100^{ème} de m²
 - Volume de béton – précision 1/1000^{ème} de m³
 - Masse d'armatures – précision 1 kg.
- Par la technique du sous-détail de prix, à l'aide du document D10 **déterminer le prix de vente de la prédalle A2A.** Vous répondrez sur le document réponse DR3.

Mise en œuvre du hourdis béton

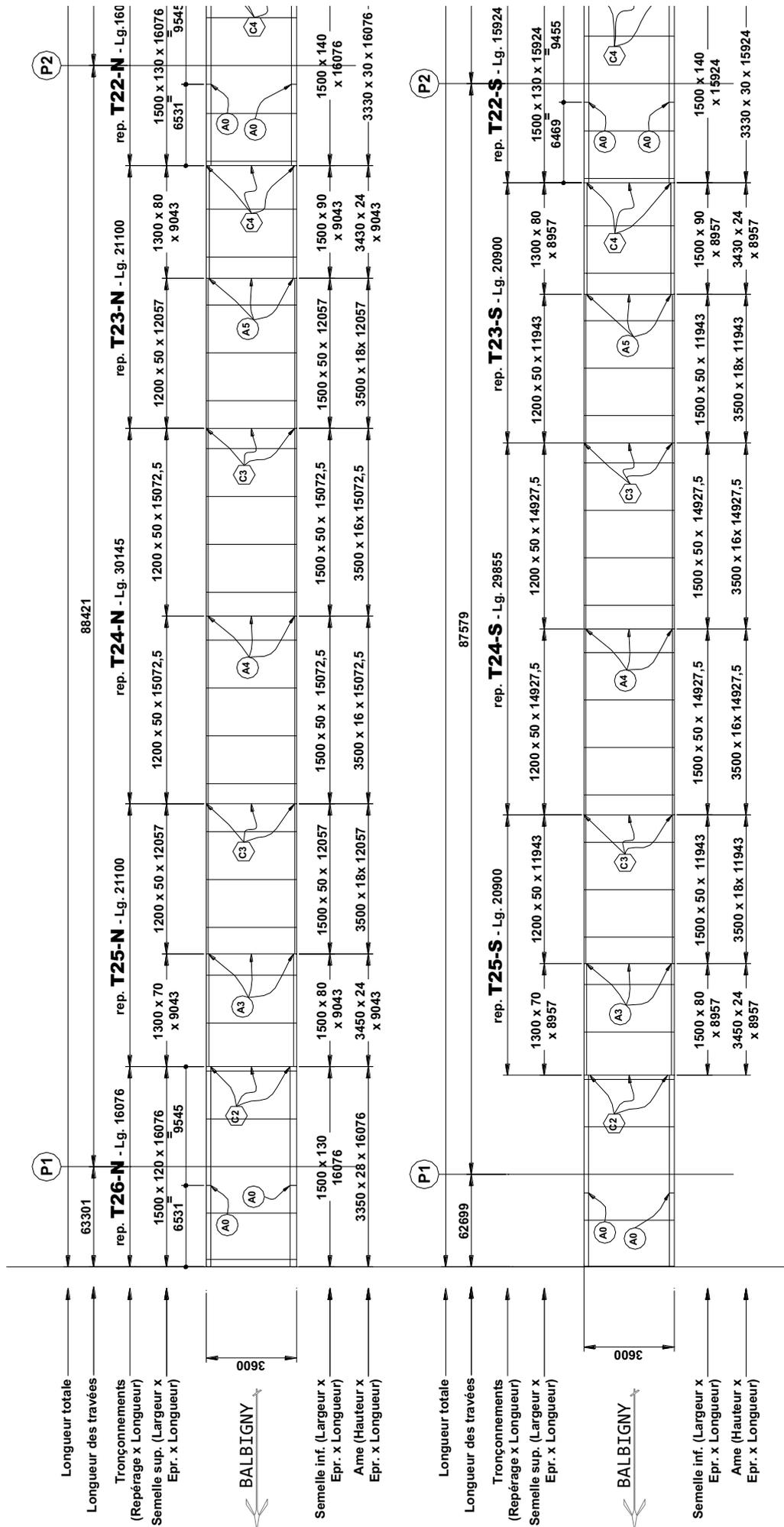
- Sans le rédiger, **indiquer les grandes parties dont est composé un PPSPS**, et, pour chacune d'entre-elles, les informations que l'on retrouve. Qui le rédige ? A quelle(s) personne(s) doit-il être transmis ? Dans quels délais ?
- **Etablir le mode opératoire détaillé de la réalisation du hourdis béton** depuis l'arrivée des prédalles sur le chantier jusqu'au bétonnage du hourdis. Pour chacune des étapes, vous complétez les informations suivantes :
 - Numéro
 - Désignation
 - Croquis et description de la tâche
 - Documents techniques spécifiques à élaborer avant la réalisation de l'étape
 - Qualifications des personnels chargés de l'exécution de la tâche
 - Moyens à utiliser
 - Risques et sécurités à prévoir
 - Contrôles à réaliser avant, pendant et après la mise en œuvre.
- **Déterminer le nombre d'ouvriers dans l'équipe de « Pose des prédalles »** de façon à poser l'intégralité des prédalles en 20 jours. On supposera que les prédalles seront stockées en pied de grue et à disposition des équipes de pose.
- Pour la pose des prédalles, la méthodologie choisie consiste à avancer de la culée C0 vers P4, puis de la culée C8 vers P4. **Indiquer l'intérêt de ce choix.**
- Pour le bétonnage du hourdis, l'ouvrage a été divisé en 15 parties, de longueurs assez similaires. **Expliquer ce choix, justifier le phasage et l'ordre de bétonnage des plots.**
- Sur les documents réponse DR4 et DR5, à partir des données en annexe D11, **compléter le planning de la réalisation du hourdis béton et repérer jour par jour, les zones de travail pour chacune des équipes.**
- En utilisant le document D13, **vérifier que la grue G4 MDT 368 L16 convient**, sachant que :
 - La benne à béton a une capacité de 1,25 m³. Elle a une masse à vide d'environ 350 kg
 - La prédalle la plus lourde est la A2A. Le palonnier a une masse de 400 kg
 - Le dénivelé entre l'embase de la grue et le tablier est de 49,50 m
 - La flèche retenue vaut 70 m et l'embase est la V60A**Détailler ses caractéristiques** (nombres, dimensions et caractéristiques des éléments de mât, de flèche, lests).

D2 - Position des équipements sur la section transversale du tablier

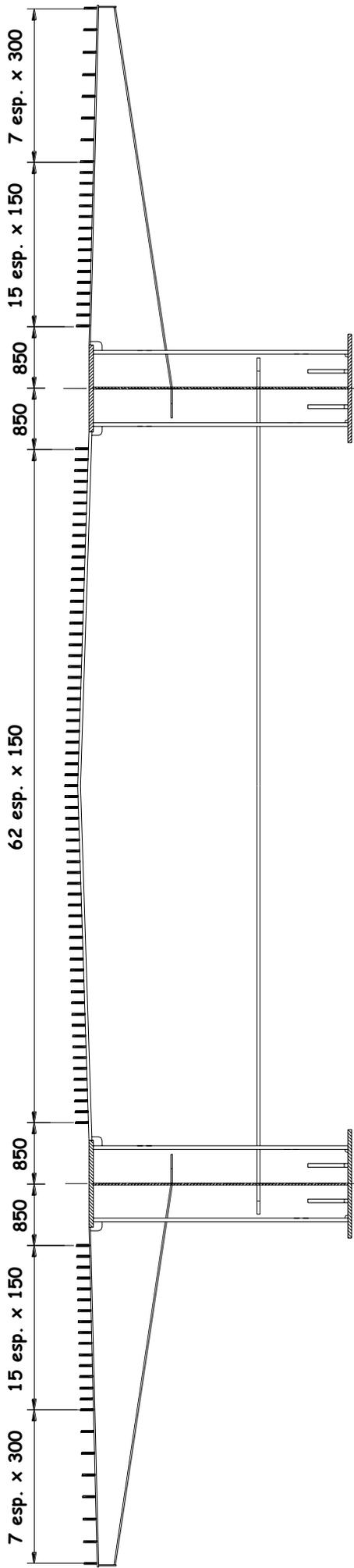


Remarque : sur cette coupe la DBA est à 55 mm coté sud de l'axe du tablier

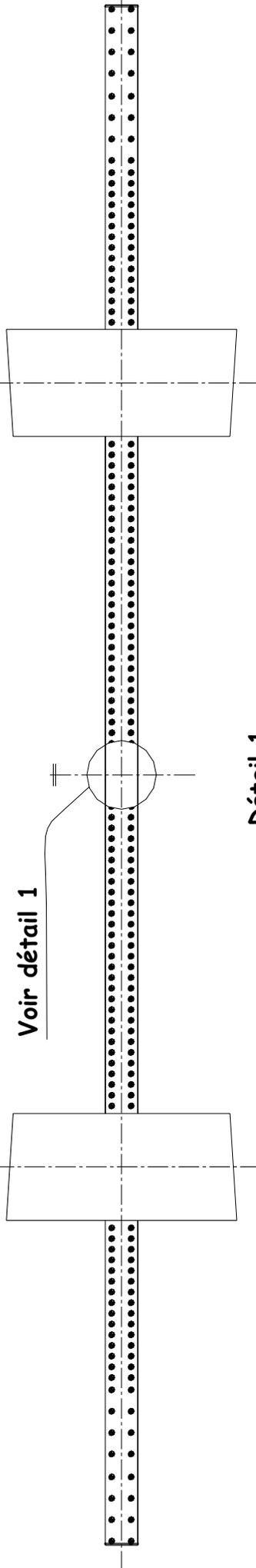
D3 - Plan de répartition des matières de la travée P1-P2 (cotation en mm)



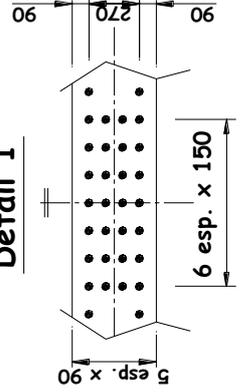
D4 - Répartition des connecteurs sur pièces de ponts et consoles
Élévation sur piles P1 à P7, ech variable



Vue en plan sur piles P1 à P7, ech variable

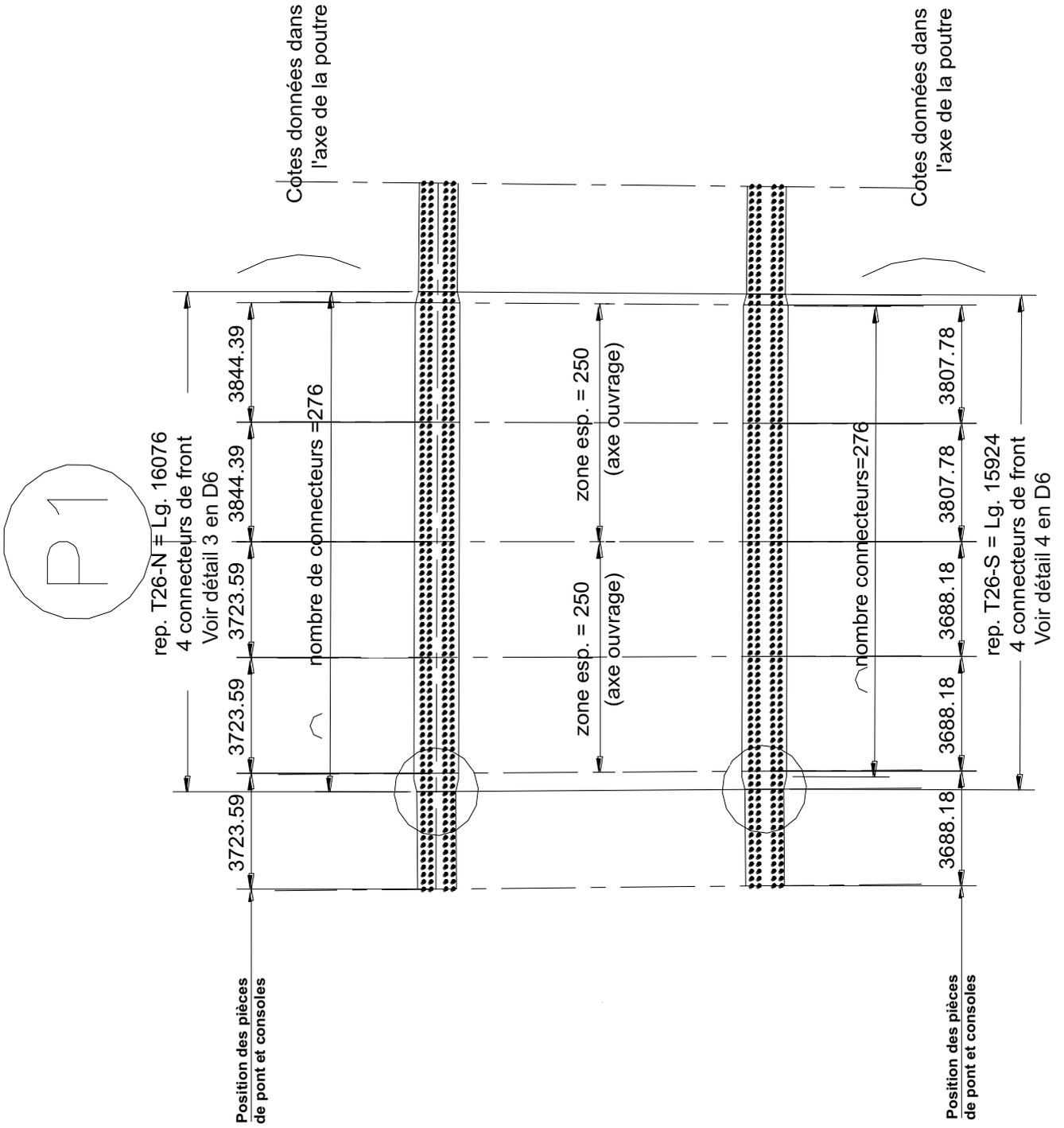


Détail 1



NOTA :
Goujons NELSON 22 x 175 S235 J2

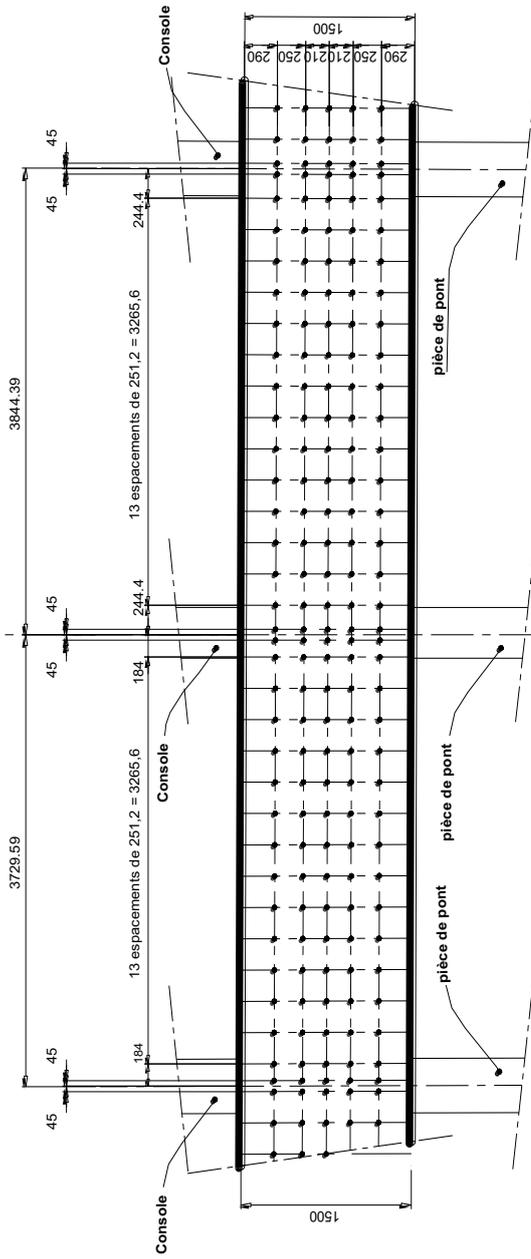
D5 - Vue en plan des connecteurs sur poutres principales Tronçons T26-N et T26-S



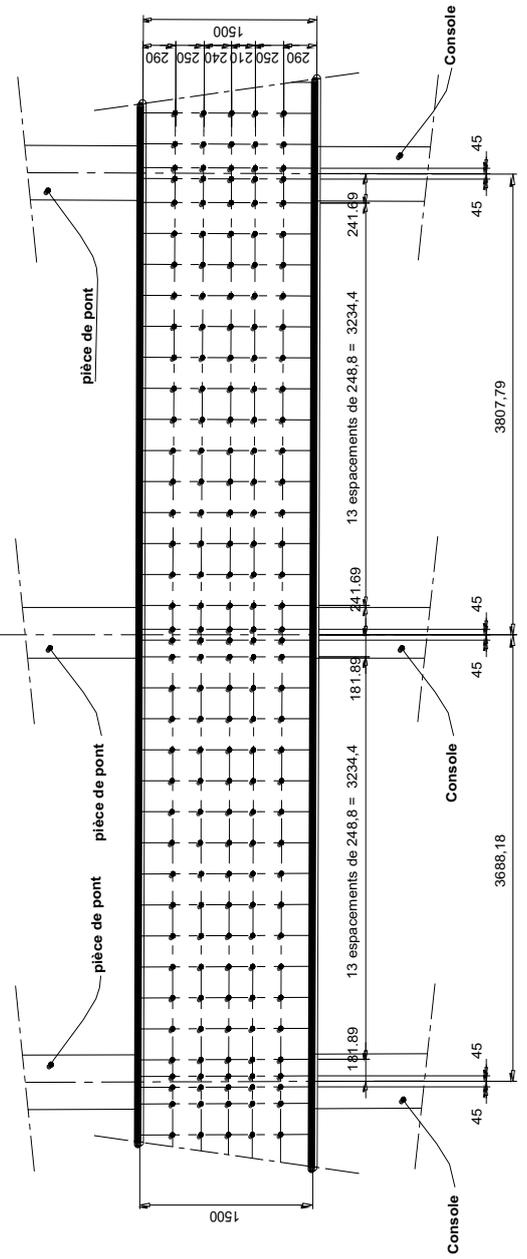
D6 - Répartition des connecteurs sur les semelles supérieures des PS T26-N et T26-S

Détail 3 (poutre nord)

P1

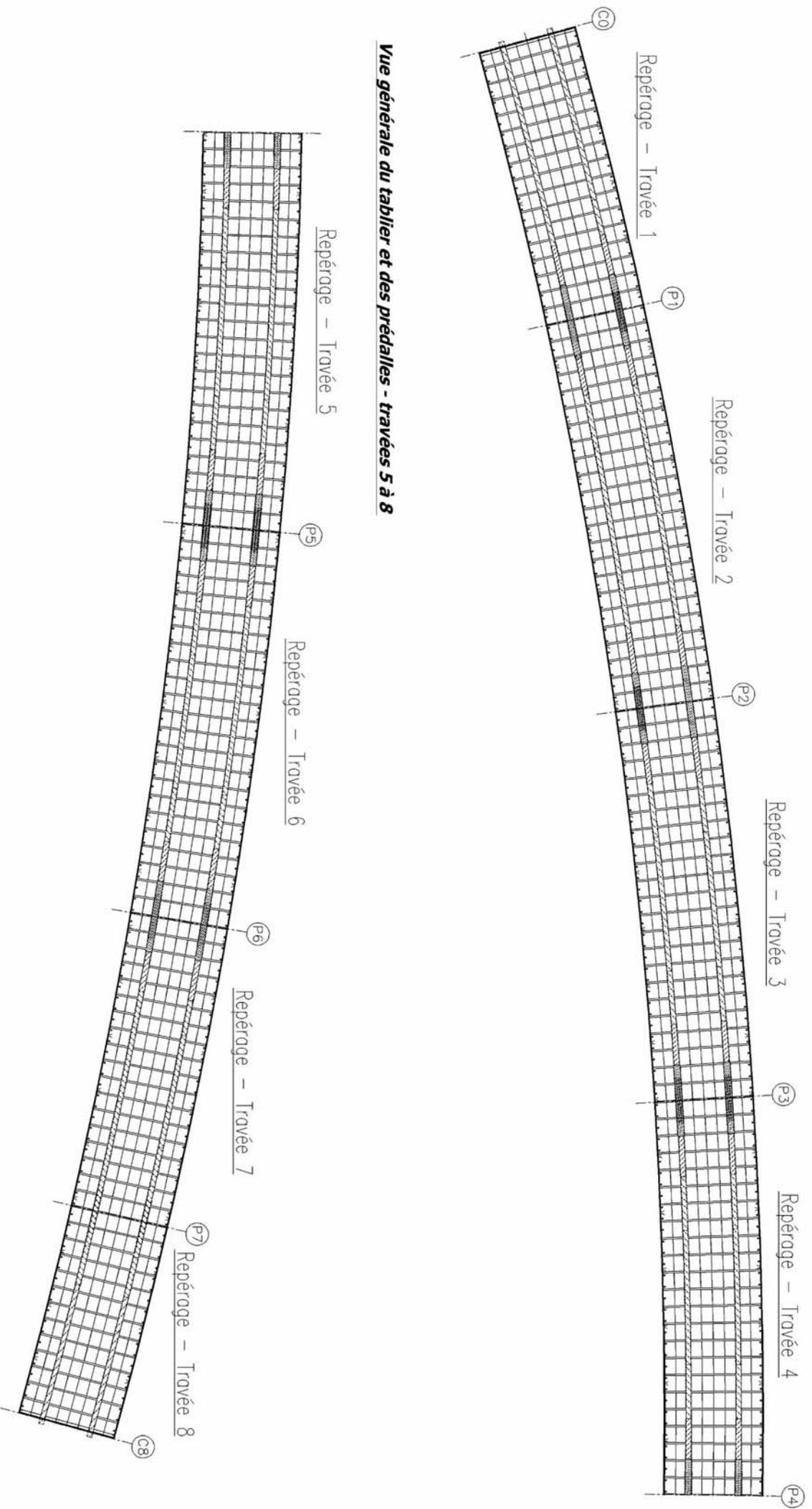


Détail 4 (poutre sud)

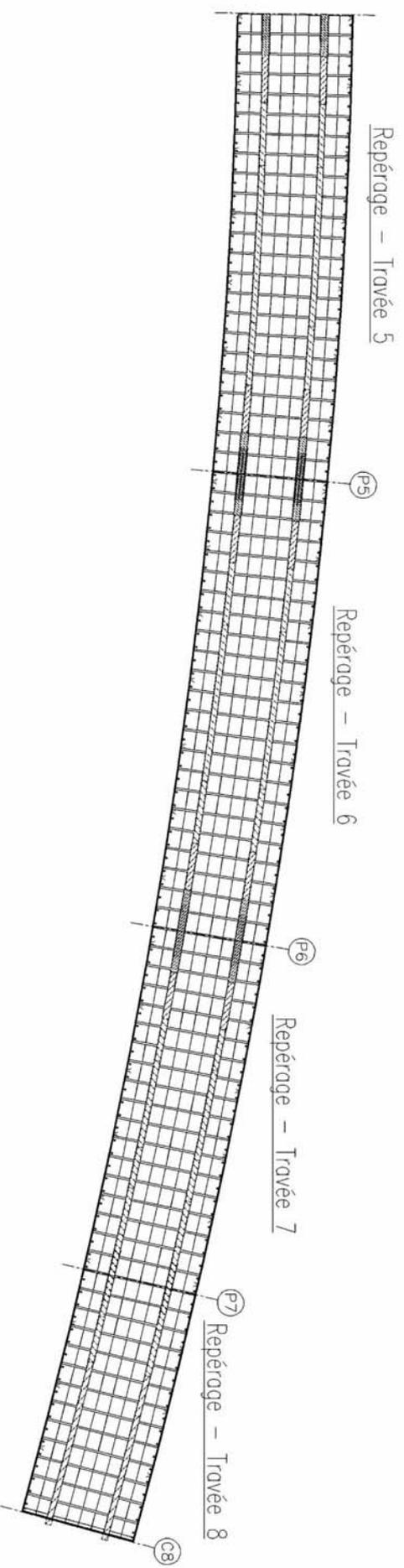


D7 - Plan de pose des prédalles et détail sur Pile P1

Vue générale du tablier et des prédalles - travées 1 à 4



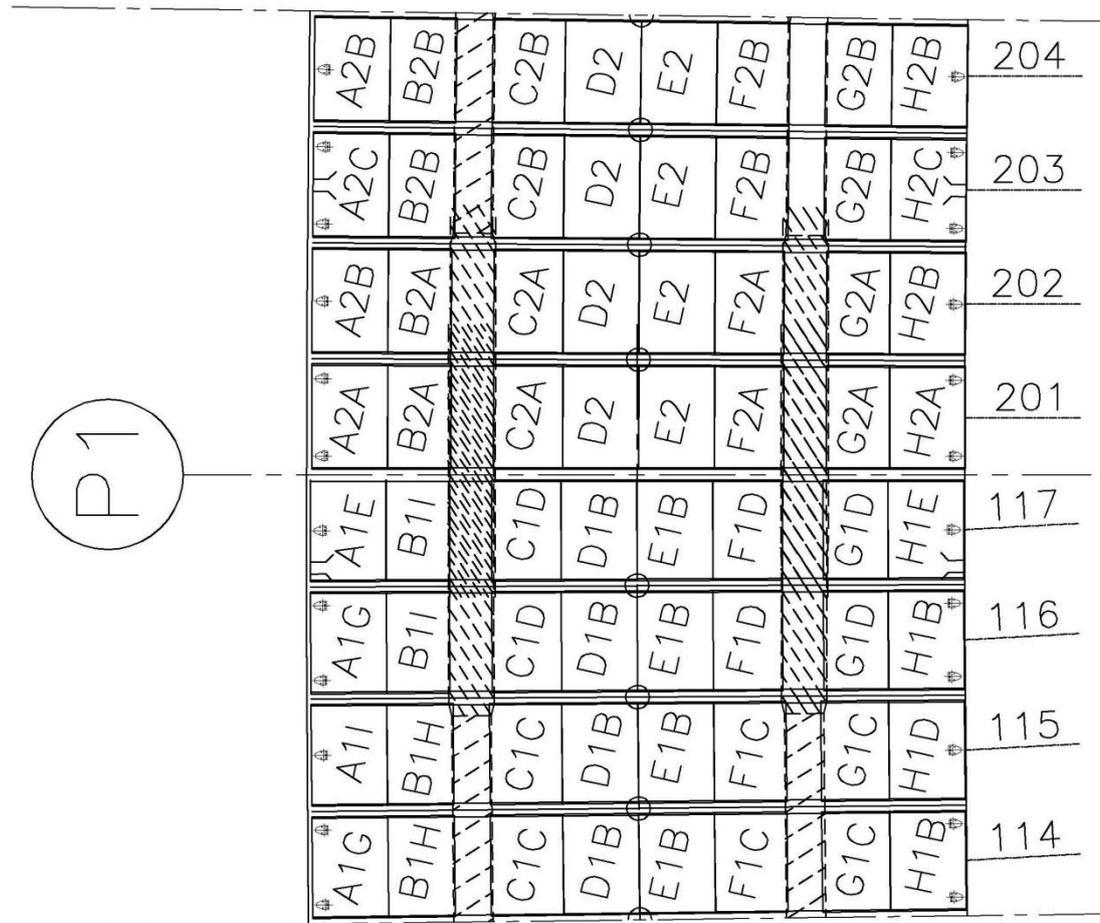
Vue générale du tablier et des prédalles - travées 5 à 8



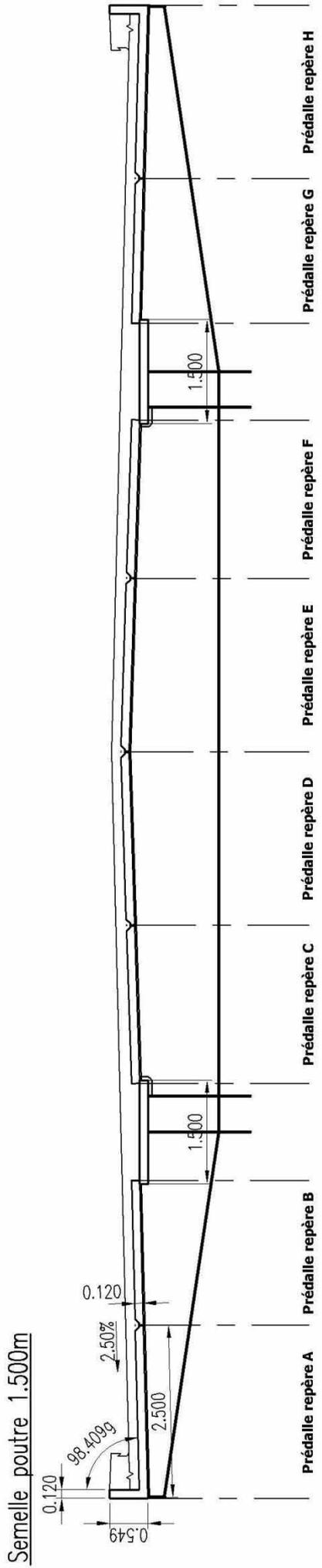
D7 suite - Détail de pose des prédalles autour de la pile P1

Repérage – Travée 1

Repérage – Travée 2

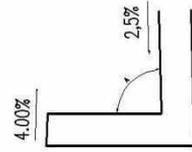
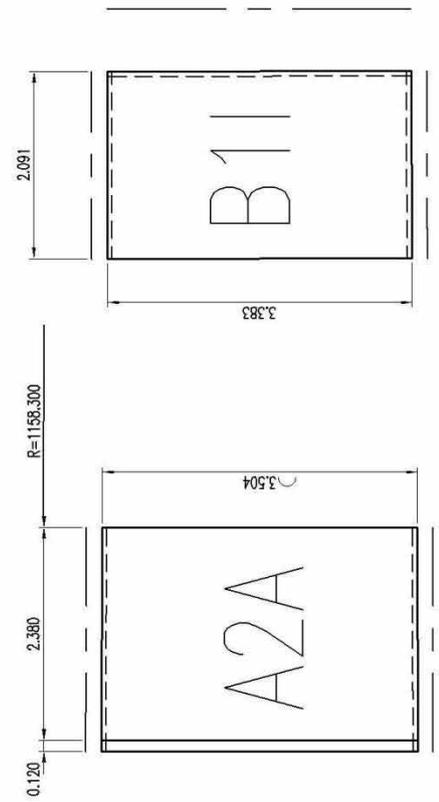


D8 - Plan de pose transversal des prédalles sur le bipoutre



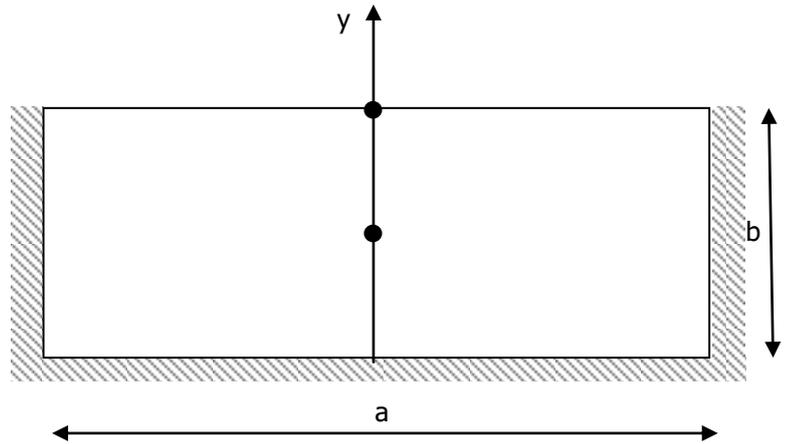
Détails appuis sur pièces

Détail rive de prédalle Nord



D9 -Sollicitations dans une plaque rectangulaire simplement appuyée sur 3 cotés, le quatrième libre, uniformément chargée.

Point 1 : $x = 0 \quad y = b$
 Point 2 : $x = 0 \quad y = b/2$
 $p =$ taux de charge surfacique



Les valeurs numériques sont établies pour $\nu = 0,3$						
b/a	α	β_1	β_2	β_3	δ_1	δ_2
0,1	0,0048	0,003	0,004	0,004	0,09	0,82
0,2	0,018	0,013	0,008	0,008	0,15	0,70
0,3	0,0367	0,027	0,014	0,013	0,21	0,58
0,4	0,0574	0,044	0,024	0,018	0,25	0,51
0,5	0,0775	0,060	0,039	0,022	0,28	0,44
0,6	0,0953	0,075	0,046	0,028	0,30	0,41
0,7	0,1104	0,087	0,056	0,032	0,32	0,37
0,8	0,1227	0,097	0,065	0,035	0,33	0,34
0,9	0,1326	0,105	0,073	0,037	0,35	0,30
1	0,1403	0,112	0,080	0,039	0,37	0,27
1,1	0,1464	0,117	0,085	0,04	0,38	0,24
1,2	0,1511	0,121	0,090	0,041	0,39	0,23
1,3	0,1547	0,124	0,094	0,042	0,39	0,21
1,4	0,1575	0,126	0,098	0,042	0,40	0,20
1,5	0,1596	0,128	0,101	0,042	0,41	0,19
2	0,1646	0,132	0,113	0,041	0,43	0,14
3	0,1660	0,133	0,122	0,039	0,46	0,08
∞	0,1662	0,133	0,125	0,037	0,50	0,00

Désignons par M_x, M_y et z les moments et la flèche obtenus avec $\nu = 0,3$	
<u>Moments fléchissants</u> Au point 1 : $M_x = \beta_1.p.a^2 \quad M_y = 0$ Au point 2 : $M_x = \beta_2.p.a^2 \quad M_y = \beta_3.p.a^2$	<u>Réactions totales</u> Sur côtés $x = \pm a/2 \quad R_x = \delta_1.p.a.b$ Sur côtés $y = 0 \quad R_y = \delta_2.p.a.b$
Flèche au point 1 : $z = -\alpha.p.a^4/(E.h^3)$	

pour d'autres valeurs de ν on a :
$M'_x(\nu) = 1,1[(1-0,3.\nu)M_x - (0,3-\nu)M_y]$ $M'_y(\nu) = 1,1[(1-0,3.\nu)M_y - (0,3-\nu)M_x]$ $z'(\nu) = 1,1(1-\nu^2)z$

D10 - Données propres à la réalisation des prédalles en usine

Catalogue de prix unitaires

Désignation	Unité	P.U. [€ H.T. / unité]
Béton C40/50 livré usine	m ³	158
Acier B500B	t (tonne)	600
Huile de démoulage	litre	1,5
Coffrages spécifique des prédalles	mois	1800
Benne à béton et utilisation du pont roulant	mois	110
Aiguille vibrante	mois	65
Matériel pour façonnage et découpe des armatures	mois	250
Forfait livraison pour un voyage en camion de 10 prédalles	Livraison	750

Remarque : le matériel sera amorti sur la base de 30 jours/mois et 7h/jours

Catalogue de temps unitaires

Désignation	Unité	T.U. [heure / unité]
Coffrage – décoffrage – huilage – stockage et nettoyage	m ² de coffrage	0,2
Bétonnage	m ³ de béton	1
Façonnage et ferrailage des armatures	t (tonne)	26

Remarque : les temps unitaires sont donnés en tenant compte des volumes réellement mis en œuvre, c'est-à-dire sans les pertes.

Autres données

- Ratio moyen d'armatures : 100 kg/m³
- Consommation en huile de démoulage : 0,05 litre/m²
- Coût horaire moyen d'un salarié : DHm : 30 €HT/h
- Pertes sur l'acier : 3%
- Pertes sur le béton : 5%
- Frais d'usine (assimilables à des frais de chantiers, comprenant frais de bureau d'études ...): 15% des déboursés secs
- Frais généraux : 11,5% du coût de réalisation
- Marge et provisions pour risques : 4,5% du prix de vente hors-tax

D11 - Données propres à la réalisation du hourdis béton sur l'ouvrage

Tâches à étudier

Désignation	Durée
Pose des prédalles	1 heure ouvrier par prédalle
Réalisation des joints et coffrages complémentaires	15 jours pour la totalité
Ferraillage	15 jours pour la totalité
Pose des règles pour préparation des niveaux de bétonnage	15 jours pour la totalité
Coulage du hourdis béton par plots	15 jours pour la totalité
Bétonnage de la longrine	10 jours pour la totalité

Nombre de prédalles sous chaque grue

Grue	Nombre de prédalles
G1	96
G2	256
G3	101
G4	280
G5	284
G6	87
G7	124
G8	76

Règles pour l'établissement du phasage

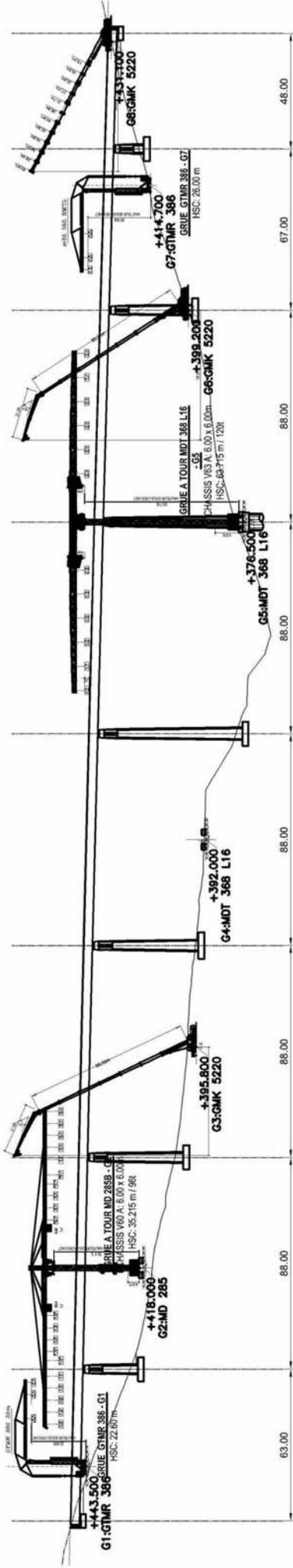
- Deux équipes différentes ne peuvent pas intervenir au même endroit le même jour. Elles peuvent néanmoins intervenir au même endroit dès le lendemain, mis à part pour le bétonnage de la longrine où il est impératif de laisser un délai de durcissement d'au moins 1 jour.
- Le coulage du hourdis sera étudié de façon à limiter l'ouverture des fissures.
- Les différentes équipes interviennent de façon continue sur l'ouvrage (sans aucun arrêt pendant les jours ouvrables).
- Le coulage des deux longrines se fait en continu (les deux rives en parallèle et de la culée C0 vers C8).
- La durée totale du chantier sera optimisée ainsi que la durée de location des grues.
- Les travaux des équipes doivent être lissés (il sera toléré que ce ne soit pas tout à fait le cas pour l'équipe de bétonnage du hourdis).

Autres données

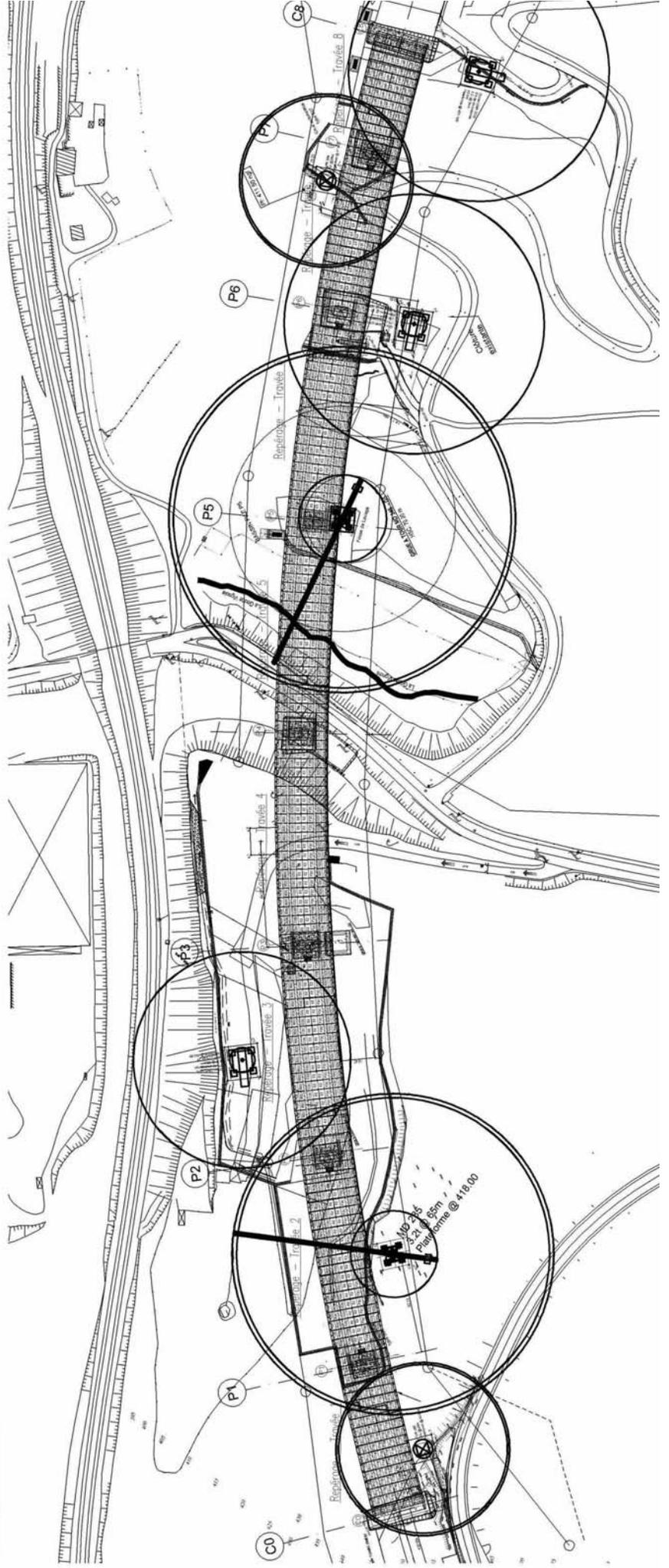
- Temps de travail journalier par ouvrier : 8h/jour
- Organisation des postes de travail : 2 postes (2 fois 8h de travail par jour)

D12 - Plan d'installation de chantier

Vue en élévation

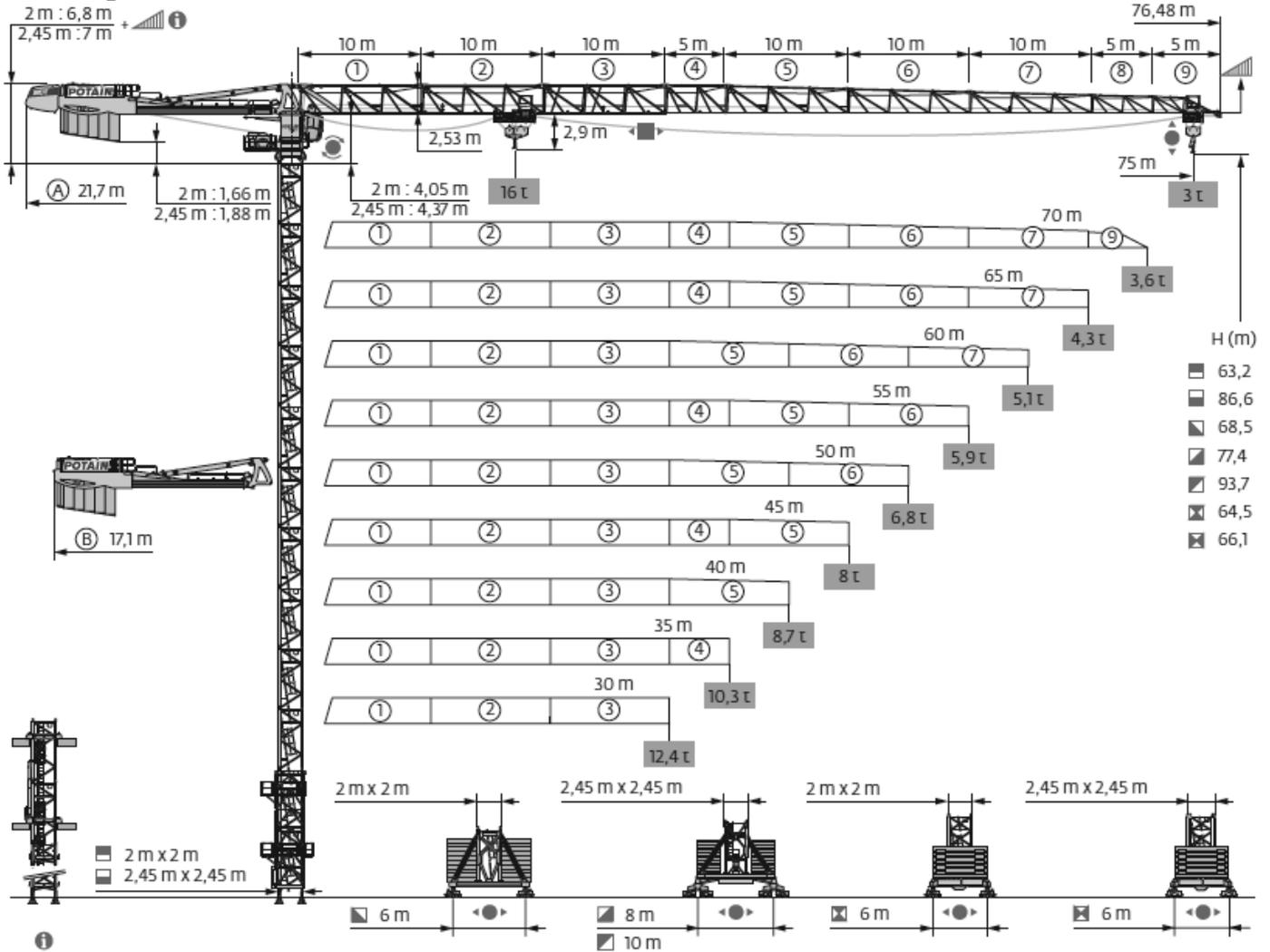


Vue générale



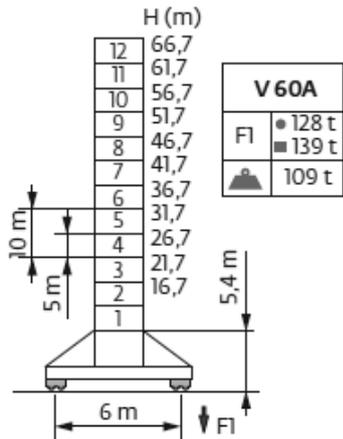
D13 - Informations Potain MDT 368 L16

Données générales



Mât - réactions

 2 m
 30 m → 75 m



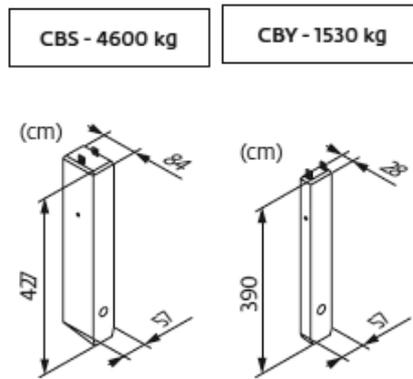
Lests de base

2 m	V 60A	H (m)	66,7	61,7	56,7	51,7	46,7	41,7	36,7	31,7	26,7	21,7	16,7	
			(t)	120	108	96	84	84	84	84	84	84	84	84
2 m	V 63A	H (m)	68,5	65,1	61,8	56,8	51,8	46,8	41,8	36,8	31,8	26,8	21,8	16,8
			(t)	132	120	108	96	84	84	84	84	84	84	84
2 m	ZX 6830	H (m)	64,5	61,1	57,8	52,8	47,8	42,8	37,8	32,8	27,8	22,8	17,8	12,8
			(t)	111	101	91	81	81	81	81	81	81	81	81

Tournez la page S.V.P.

Lests de contre-flèche

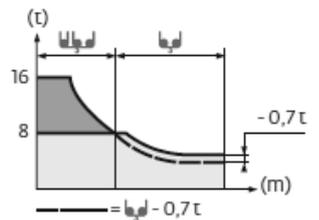
HAUTEUR	4600 kg	1530 kg	🏗️ (kg)
75 m	5	2	26060
70 m	5	2	26060
65 m	5	2	26060
60 m	5	1	24530
55 m	5	1	24530
50 m	5	2	26060
45 m	5	2	26060
40 m	5	0	23000
35 m	4	2	21460
30 m	4	1	19930



Courbe de charge



75 m	3,3 ▶	17,7	20	22	25	27	30	31,5	34,1	35	37	40	42	45	47	50	52	55	57	60	62	65	67	70	72	75 m	
HAUTEUR		16	13,9	12,4	10,6	9,7	8,5	8	8	7,8	7,3	6,6	6,3	5,8	5,5	5,1	4,8	4,5	4,3	4	3,9	3,6	3,5	3,3	3,2	3	τ
70 m	3,3 ▶	18,9	20	22	25	27	30	32	33,6	36,4	37	40	42	45	47	50	52	55	57	60	62	65	67	70 m			
HAUTEUR		16	15	13,4	11,5	10,5	9,2	8,5	8	8	7,8	7,2	6,8	6,2	5,9	5,5	5,2	4,9	4,7	4,4	4,2	4	3,8	3,6		τ	
65 m	3,3 ▶		20	22	25	27	30	32	35	35,8	38,6	40	42	45	47	50	52	55	57	60	62	65 m					
HAUTEUR			16	14,3	12,3	11,3	9,9	9,2	8,2	8	8	7,7	7,3	6,7	6,4	5,9	5,6	5,3	5,1	4,7	4,6	4,3				τ	
60 m	3,3 ▶		21,1	22	25	27	30	32	35	37	37,9	40,8	42	45	47	50	52	55	57	60 m							
HAUTEUR			16	15,2	13,1	12	10,6	9,8	8,8	8,2	8	8	7,7	7,2	6,8	6,3	6	5,7	5,4	5,1						τ	
55 m	3,3 ▶		21,8	22	25	27	30	32	35	37	39,3	42,3	45	47	50	52	55 m										
HAUTEUR			16	15,9	13,7	12,5	11,1	10,2	9,2	8,6	8	8	7,4	7,1	6,6	6,3	5,9									τ	
50 m	3,3 ▶		22,4	25	27	30	32	35	37	40	40,3	43,4	45	47	50 m												
HAUTEUR			16	14,1	12,9	11,4	10,6	9,5	8,9	8,1	8	8	7,7	7,3	6,8											τ	
45 m	3,3 ▶		23,2	25	27	30	32	35	37	40	41,8	45 m															
HAUTEUR			16	14,7	13,4	11,9	11	9,9	9,3	8,4	8		τ														
40 m	3,3 ▶		23,6	25	27	30	32	35	37	40 m																	
HAUTEUR			16	15	13,7	12,1	11,2	10,1	9,4	8,6		τ															
35 m	3,3 ▶		23,8	25	27	30	32	35 m																			
HAUTEUR			16	15,1	13,8	12,2	11,3	10,2																			
30 m	3,3 ▶		23,9	25	27	30 m																					
HAUTEUR			16	15,2	13,9	12,3																					



Mécanismes

400 V - 50 Hz		🏗️				🏗️				ch - PS hp	kW	🏗️	
▲	75 LVF 40 Optima	m/min	34	44	62	90	17	22	31	45	75	55	637 m
	100 LVF 40 Optima	τ	8	6	4	2	16	12	8	4	100	75	1136 m
◀▶	6 DVF 6	m/min	0 → 42 (16 τ) 0 → 84 (8 τ) 0 → 100 (4 τ)								5,5	4	
🏗️	RVF 172 Optima+	tr/min U/min rpm	0 → 0,8								2 x 10	2 x 7,5	
V 60A	RT 544 A1 - 2V R ≥ 13 m	m/min	13,5 - 27								4 x 7	4 x 5,2	
IEC 60204-32						kVA							
400V (+10% -10%) 50 Hz						75 LVF : 105 KVA 100 LVF : 130 KVA							

Nom : <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																							
Prénom :	<input type="text"/>																							
N° d'inscription :	<input type="text"/>								Né(e) le :	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>								

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

■	Concours	Section/Option	Epreuve	Matière
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

EAE GCA 3

DR1 - Répartition transversale des charges permanentes

DR2 - Modèle utilisé pour la répartition transversale des actions permanentes

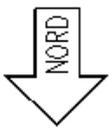
DR3 - Etude de prix de la prédalle A2A

DR2 - Modèle utilisé pour la répartition transversale des actions permanentes

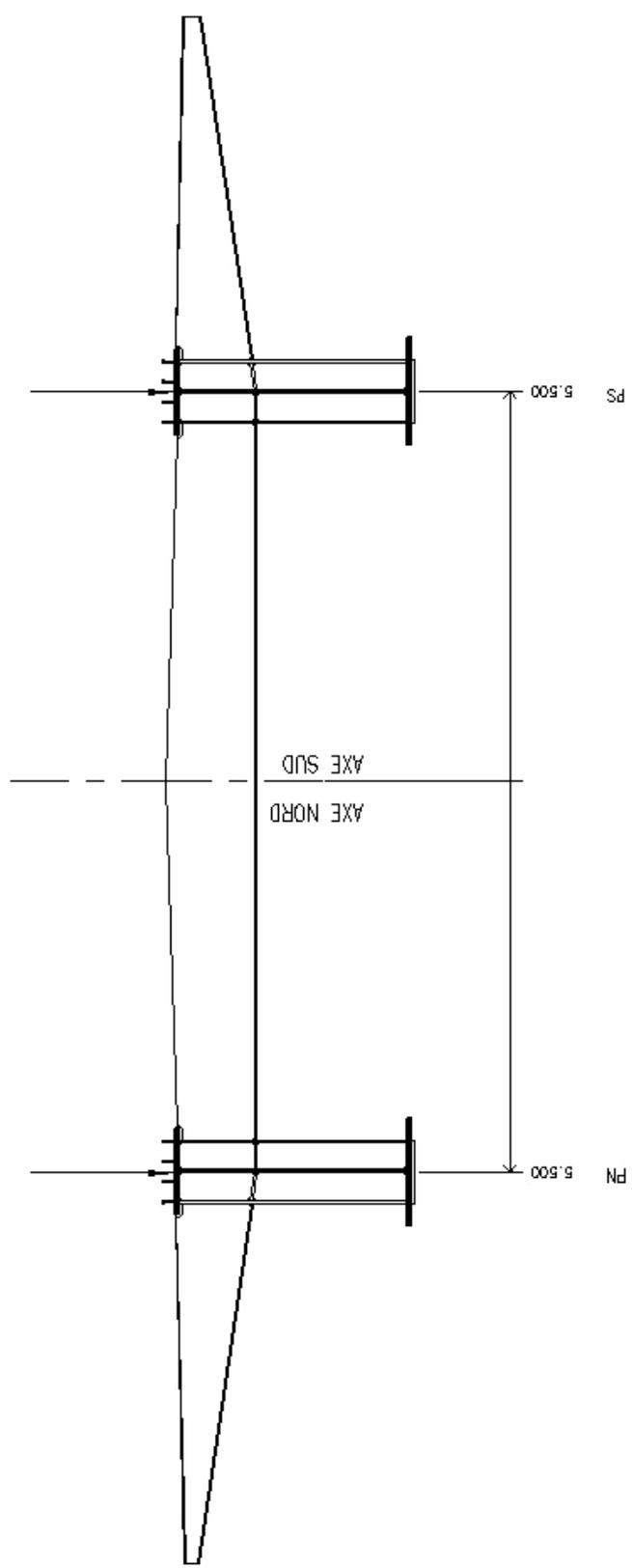
Longrine et BN4
Garnitche et cariveau



Longrine et BN4
Ecran acoustique
Garnitche et cariveau

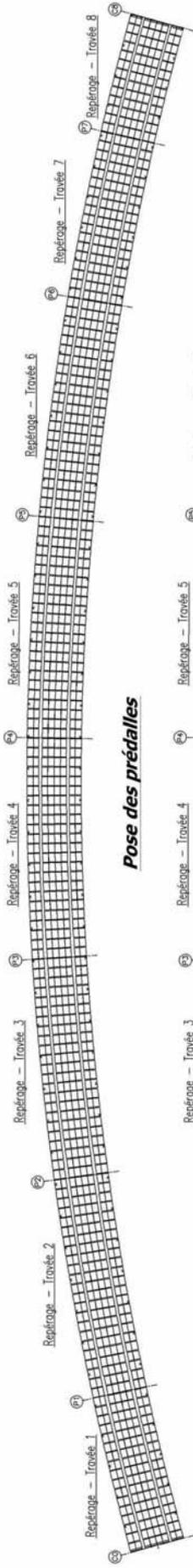


Coupe à l'axe C0

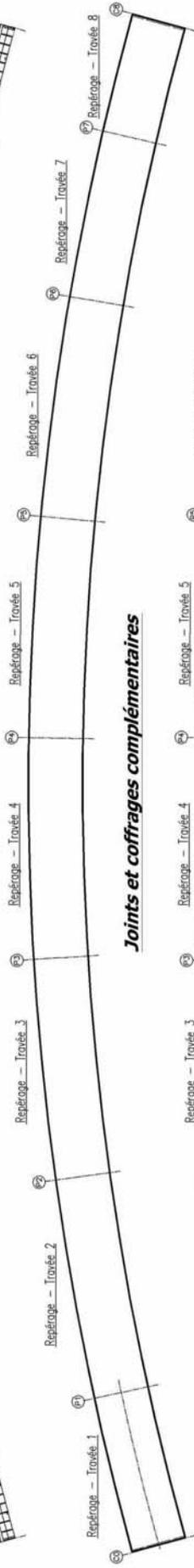


DR 4 - Planning chemin de fer

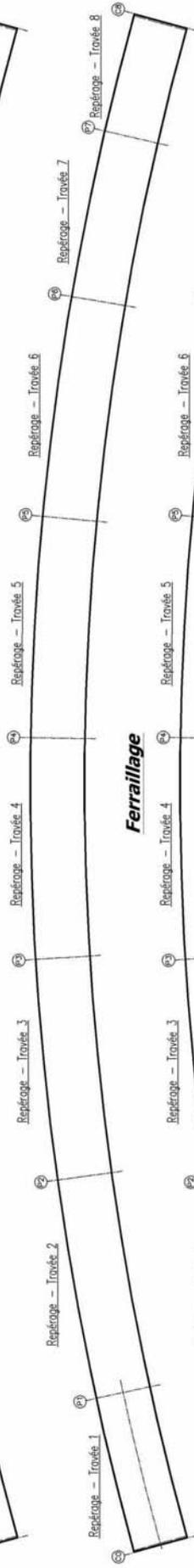
	P1 63 m	P2 151 m	P3 289 m	P4 327 m	P5 415 m	P6 503 m	P7 570 m	C8 618 m
Jour 1								
Jour 2								
Jour 3								
Jour 4								
Jour 5								
Jour 6								
Jour 7								
Jour 8								
Jour 9								
Jour 10								
Jour 11								
Jour 12								
Jour 13								
Jour 14								
Jour 15								
Jour 16								
Jour 17								
Jour 18								
Jour 19								
Jour 20								
Jour 21								
Jour 22								
Jour 23								
Jour 24								
Jour 25								
Jour 26								
Jour 27								
Jour 28								
Jour 29								
Jour 30								
Jour 31								
Jour 32								
Jour 33								
Jour 34								
Jour 35								
Jour 36								
Jour 37								
Jour 38								
Jour 39								
Jour 40								
Jour 41								
Jour 42								
Jour 43								
Jour 44								
Jour 45								
Jour 46								
Jour 47								
Jour 48								
Jour 49								
Jour 50								



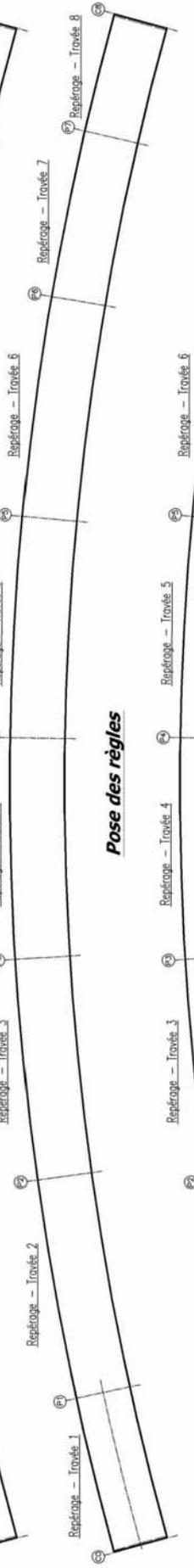
Pose des prédalles



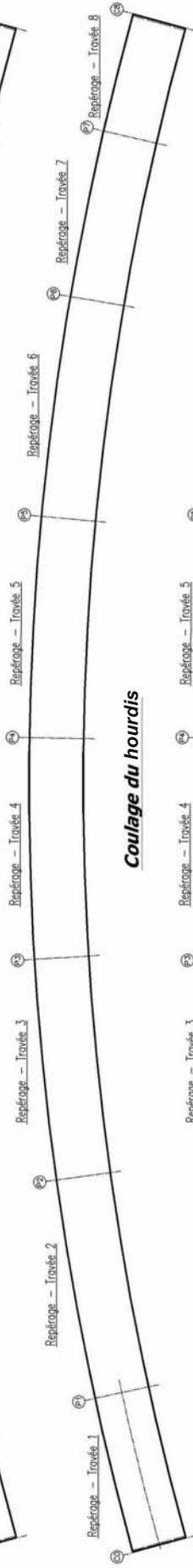
Joints et coffrages complémentaires



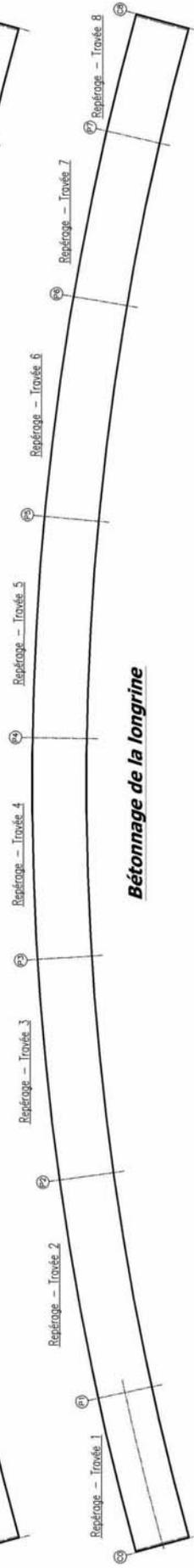
Ferrailage



Pose des règles



Coulage du hourdis



Bétonnage de la longrine