ministère
éducation
nationale
jeunesse
vie associative

EFE GCI 1
Repère à reporter sur la copie

SESSION 2012

CAPLP
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP

Section : GÉNIE CIVIL
Options : CONSTRUCTION ET ÉCONOMIE, CONSTRUCTION ET REALISATION DES OUVRAGES

ÉPREUVE DE SYNTHÈSE

Durée : 5 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.

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

A l'issue de l'épreuve, le candidat remettra une copie par étude, avec les documents réponses concernant l'étude glissés à l'intérieur de celle-ci.

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.

SOMMAIRE GÉNÉRAL

Le sujet se compose de 3 dossiers: un dossier sujet, un dossier technique, et un dossier réponse.

DOSSIERS	PAGINATION
DOSSIER SUJET	Pages 3/5 à 5/5
DOSSIER TECHNIQUE	Documents DT1 à DT18
DOSSIER REPONSES	Documents DR1 à DR3

BAREME DE NOTATION

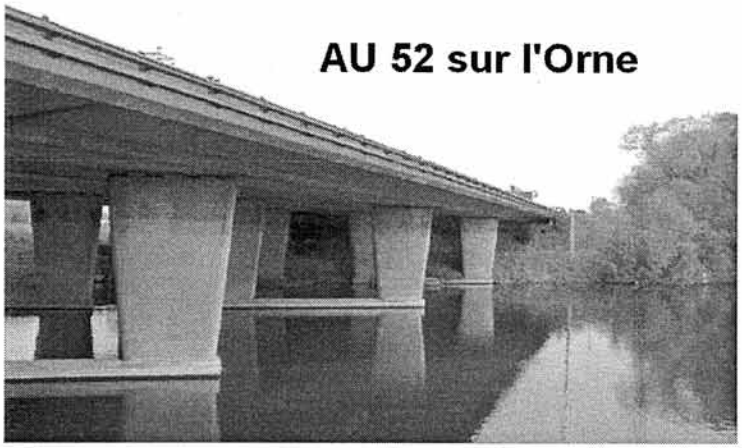
Chaque étude est indépendante.
Chaque étude devra être rédigée sur une copie séparée.

ETUDE	THEME	NOTATION SUR 200 POINTS
1	FONDATIONS DE L'ELARGISSEMENT	40
2	LEVAGE DU TABLIER EXISTANT	40
3	POUTRELLES ENROBEES DU NOUVEAU TABLIER	40
4	ENCORBELLEMENT NEGATIF	40
5	DIMENSIONNEMENT DE LA CULEE	40

Les données des études sont contenues dans le dossier sujet, et l'ensemble du dossier technique.

Toute donnée manquante sera laissée à l'initiative des candidats.

Elargissement du pont de Richemont



Les cinq études sont indépendantes et devront être traitées sur des copies séparées.

Toutes les réponses devront être justifiées

Les documents ressource à consulter sont donnés à titre d'information et n'ont pas un caractère restrictif.

On préfèrera des schémas judicieusement commentés aux longs textes descriptifs.

ETUDE 1 : FONDATIONS DE L'ELARGISSEMENT

On s'interesse ici aux fondations à réaliser pour les nouveaux appuis. Le CCTP précise que les piles et culées seront fondées sur pieux. On recherche notamment leur mode d'execution, la profondeur d'ancrage, et leur capacité portante. On ne s'interessera qu'à la pile P2.

Documents ressources: DT 1 à DT 10

Question N° 1-1: A partir des données géotechniques, dont les deux sondages, dessinez sur le document DR1-A les principaux horizons géotechniques rencontrés au droit de l'ouvrage.

Vous dessinerez les principales strates, indiquerez leur composition, et niveaux altimétriques. Vous indiquerez également les niveaux piezométriques moyens.

Question N° 1-2: A partir des données et de la coupe précédente, proposez une profondeur de forage et les dispositifs nécessaires à la réalisation de ces fondations.

Vous arrondirez au mètre près et dessinerez sur le document DR1-A le pieu de la pile P2 et sa semelle de répartition.

Question N° 1-3 : Donnez le mode opératoire de réalisation des fondations de la pile P2.

Vous supposerez que les travaux ne sont pas encore commencés. Vous indiquerez les matériels nécessaires à cette réalisation en tenant notamment compte des conditions du site.

Question N° 1-4 : Proposez une modélisation mécanique d'un pieu de fondation soumis uniquement à des charges verticales, sans risque de flambement. Modélisez les différentes actions mécaniques s'appliquant sur ce pieu, et permettant de calculer sa capacité portante.

Vous schématiserez qualitativement et nommerez les actions mécaniques.

Question N° 1-5 : La pile P2 subit des efforts horizontaux. Comment sont repercutées ces charges sur les pieux de foncation?

Vous tracerez l'allure de la déformée des pieux, et schématiserez qualitativement les actions mécaniques s'appliquant à ces fondations profondes.

Question N° 1-6 : A partir des données issues de l'EN1997 (Eurocode 7), expliquez quel(s) état(s) limite(s) vous devriez utiliser pour dimensionner une fondation profonde.

Question N° 1-7 : Afin de calculer la portance des pieux, reportez les mesures de la pression limite de l'essai pressiométrique PR AU52-1 sur le document DR-1B.

Vous vous limiterez aux couches traversées par les fondations profondes de la pile P2.

Question N° 1-8 : Déterminez la résistance de calcul Rd (portance) d'un pieu isolé de la pile P2, à l'état limite ELU GEO, en situation durable. Vous utiliserez la méthode présentée au DT 4,

Commentaires: Le pieu sera foré tubé. On simplifiera l'étude en prenant comme masse volumique des sols en place 22 kN/m³. La pression limite P_{LM} prise en compte dans chaque couche sera la plus faible, afin de se placer en sécurité. K sera déterminé à la pointe du pieu. La capacité portante Q sera évaluée avec le DT4. On évaluera l'expression de la résistance de calcul Rd par l'equation suivante $Rd = \frac{Q}{\gamma_R}$

Le coefficient partiel γ_R sur la résistance totale Q (résistance de pointe combinée au frottement latéral)sera choisi selon l'ensemble R1 de la norme EN 1997-1 (Eurocode 7)

ETUDE 2: LEVAGE DU TABLIER EXISTANT

Avant de procéder à l'élargissement du tablier, les anciens appareils d'appuis doivent être changés. On cherche ici à évaluer les efforts de vérinage nécessaires à l'opération de levage du tablier. On simplifiera le problème en considérant que le tablier est formé de deux poutres continues en béton, juxtaposées et indépendantes, et de section constante. Le levage sera étudié en été, sans vent, et circulation fermée. Les charges seront considérées uniformément réparties.

Documents ressources: page DT 1 et 2, DT 7 à DT 10, DT16

Question N° 2-1 : A partir des données géométriques du tablier, calculez le moment quadratique Igz de la poutre PB seule.

Vous considèrerez que le tablier est décomposé en deux poutres notées poutre PA et poutre PB, conformément au schéma sur DT 1.

Question N° 2-2 : A partir des données géométriques du tablier, proposez un schéma mécanique de la poutre PB du tablier, reposant sur ses appuis avant vérinage.

Vous symboliserez les liaisons mécaniques et les charges juste avant le vérinage.

Question N° 2-3 : Déterminez le degré hyperstatique de cette poutre PB.

Question N°2-4 : Par la méthode de votre choix, calculez les réactions d'appui de la poutre PB du tablier, soumise à une charge verticale uniformément répartie, de valeur unité (charge de 1 N/m²)

Vous négligerez pour cette étude les efforts horizontaux et les effets de la précontrainte.

Question N° 2-5 : A partir des charges indiquées et des résultats trouvés sur la poutre P2, calculez l'effort de vérinage maximal à envisager, sur l'appui le plus chargé *de la poutre PA*.

On ne prendra ici en compte que les charges permanentes non pondérées. On considèrera que l'étanchéité et la couche de roulement sont appliquées sur toute la surface du tablier.

Question N° 2-6: Le calcul des efforts de vérinage doit en plus tenir compte des effets de la précontrainte. Expliquez quels sont les effets de la précontrainte sur le matériau béton armé, sur la poutre, et sur la répartition des charges sur les appuis.

Vous expliquerez qualitativement à l'aide de schémas les effets sur les matériaux et sur la structure.

ETUDE 3: POUTRELLES ENROBEES DU NOUVEAU TABLIER

Sur ce pont, les poutrelles (profilés HEA 600) sont soudés bout à bout afin de former une poutre continue. L'opération est longue, fastidieuse , et les soudures doivent être contrôlées.

Les textes de référence signalent qu'il est parfois possible de ne pas souder les poutrelles enrobées, mais que leur jonction ne doit pas se faire dans n'importe quelle section.

Dans cette partie, et dans un but de simplification, on considèrera que les charges verticales sur le nouveau tablier sont principalement reprises par les profilés HEA 600. On limitera le rôle des armatures du béton à une rigidification transversale du tablier.

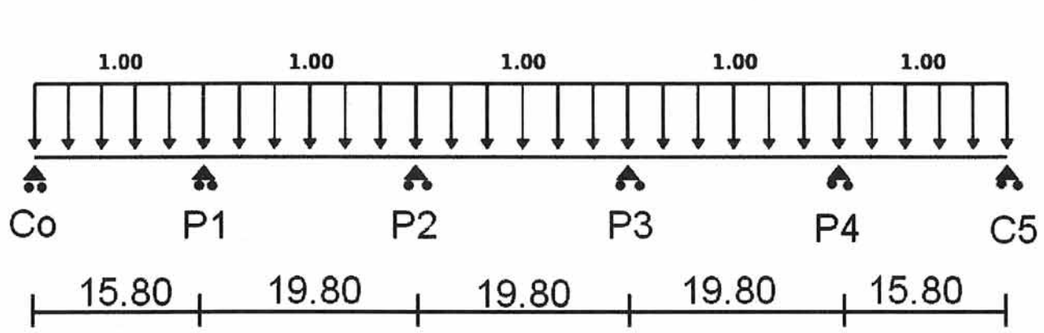
Documents ressources: DT 5 à DT 13

<u>Question N° 3-1:</u> "Le PGCSPS du DCE impose à l'entreprise d'analyser la phase de mise en place des poutres HEA dans son PPSPS." Comment interprétez-vous cette phrase ?

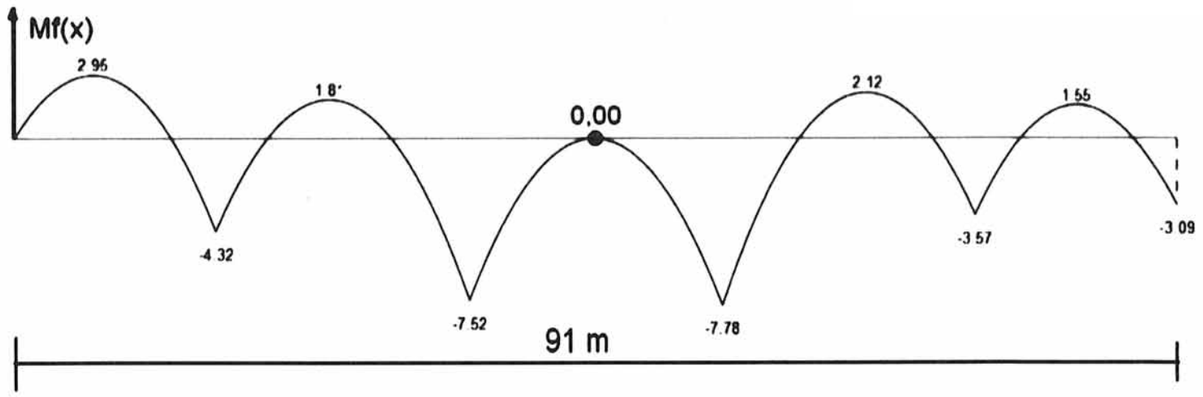
Vous expliquerez cette phrase en veillant à "traduire" correctement ces sigles, et expliquerez ce qu'ils désignent.

<u>Question N° 3.2</u>: Vous confiez à un technicien une étude de modélisation informatique du tablier. Il vous présente les diagrammes suivants pour résultat de la poutre PB, sous charge unitaire sur ses 5 appuis, considérés comme appuis simples. A la vue des diagrammes, vous comprenez que la modélisation informatique n'est pas adpatée. A partir de l'analyse des diagrammes, expliquez quelle modélisation technicien a bien pu faire. Proposez un schéma mécanique correspondant à cette modélisation.

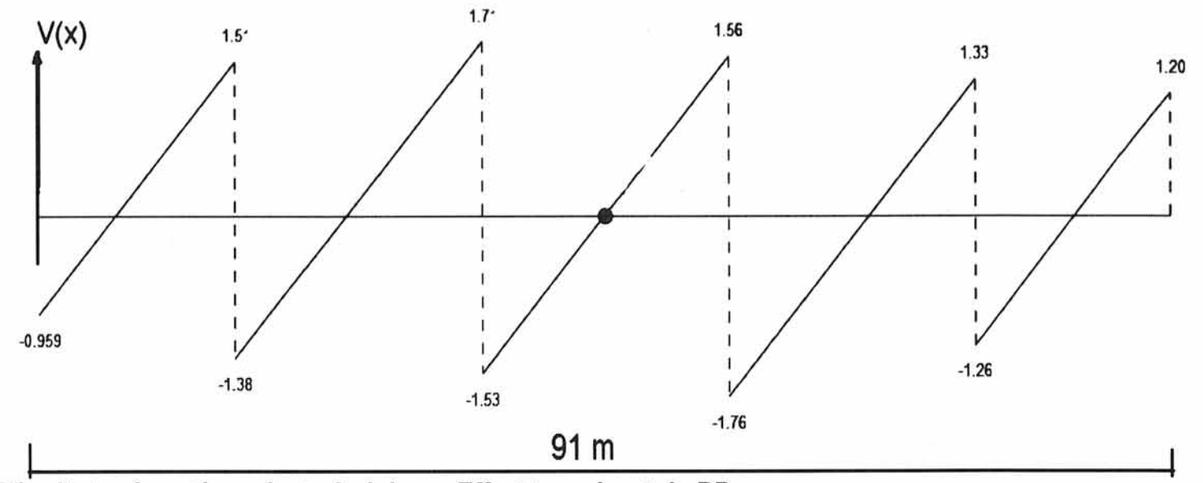
Vous mettrez en valeur les points caractéristiques abhérents de ces diagrammes.



Modélisation imposée initialement (poutre continue, 5 appuis simples)



Résultat présenté par le technicien - Moment fléchissant de PB



Résultat présenté par le technicien - Effort tranchant de PB

<u>Question N° 3-3</u>: Le P.A.Q. impose le contrôle des soudures. Expliquez ce qu'est un P.A.Q. et comment on peut contrôler les soudures de ces profilés.

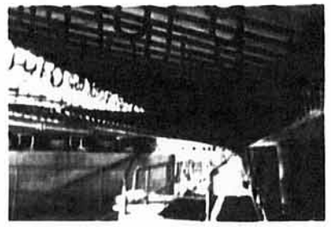
<u>Question N° 3-4:</u> A l'aide de schémas, dont des schémas mécaniques, expliquez quelles seraient les conséquences sur l'ouvrage si on s'abstenait de souder les poutrelles.

On indiquera les changements de comportement de l'ouvrage, les équipements à ajouter, les zones préférentielles permettant d'envisager les juxtapositions de profilés sans soudures.

<u>Question N° 3-5</u>: On étudie désormais le bétonnage de l'élargissement, sur les poutrelles HEA 600. Déterminez l'épaisseur maximale de béton pouvant être coulée sur les coffrages perdus de type Duripanel.

<u>Question N° 3-6:</u> Le maître d'oeuvre impose un phasage de bétonnage du tablier en plusieurs couches, avec attente de durcissement entre chaque étape. Expliquez les raisons possibles de ce choix.

ETUDE 4: ENCORBELLEMENT NEGATIF



Une des difficultés de ce projet réside dans la solidarisation de l'ancien tablier et du nouveau. Cette partie vise à étudier le mode opératoire de réalisation du clavetage. On considère désormais que les 3 poutres PA, PB et PC sont reliées transversalement.

Documents ressources: DT14, DT15

<u>Question N° 4-1</u> : En raisonnant sur la position des charges de trafic par rapport aux structures porteuses, schématisez transversalement les charges appliquées à l'élargissement, et les déformations transversales possibles du nouveau tablier. Déduisez-en des sollicitations probables à l'interface entre PB et PC, et les moyens de s'opposer à leurs effets.

On raisonnera sur une coupe transversale schématique du tablier élargi.

<u>Question N° 4-2 :</u> A partir d'un schéma mécanique d'une armature droite scellée dans le béton, et de la documentation sur la résine de scellement, redémontrer la formule ci-dessous.

On expliquera la provenance de cette formule.

$$l_{b,rqd}=(\phi/4).(\sigma_{sd}/f_{bd})$$

<u>Question N° 4-3 :</u> Déterminez la profondeur L_{bq} nécessaire pour le scellement.

On considèrera que le scellement doit autoriser une mise en traction maximale des aciers droits scellés, de type HA 14, jusqu'à leur limite élastique. (α_1 à α_6 seront pris égaux à 1)

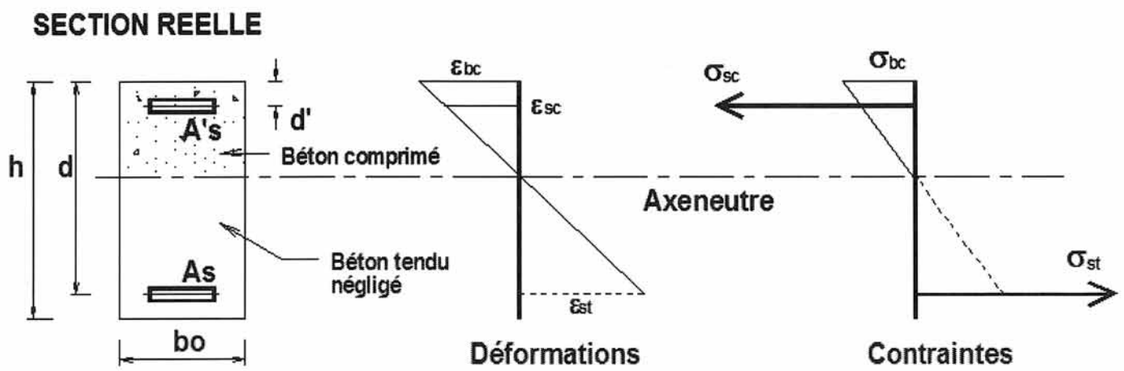
<u>Question N° 4-4</u> :A partir de schémas, proposez une solution de coffrage de cet encorbellement négatif. Vous compléterez le document DR2.

Vous veillerez à prendre en compte les problématiques de bétonnage, afin de garantir une bonne adhérence sur la sous face du tablier. Compte-tenu de la présence de la rivière en dessous, il n'est pas envisageable de poser un étaiement au sol pour cet ouvrage.

<u>Question N° 4-5 :</u> Il arrive qu'on répare des structures béton en fixant des plaques d'acier en fibre inférieure. Expliquez pourquoi on a préféré ici poser du TFC ?

<u>Question N° 4-6</u> : A l'aide d'un diagramme de déformations (exemple ci dessous), expliquez ce qu'apporte le TFC en cas d'état limite ultime de résistance ?

On comparera les caractéristiques et comportements du béton, de l'acier et du TFC dans les zones de flexion.



Exemple: diagramme de déformation d'un béton armé

ETUDE 5: CHEVETRE DE LA CULEE

On s'interesse désormais au dimensionnement des armatures du chevètre en béton armé de la nouvelle culée C0. On se limitera au calcul des armatures longitudinales en traction par flexion.

Documents ressources: Configuration simplifiée de l'étude DT1, DT2, DT16 DT17

<u>Question N° 5-1:</u> Définissez la durée d'utilisation du projet, sa classe structurale, l'épaisseur d'enrobage minimal, puis l'enrobage de calcul, pour les aciers longitudinaux, conformément au réglement EN 1992(Eurocode 2).

Vu la géométrie de la culée, on ne considèrera pas qu'on est en enrobage compact. L'enrobage nominal est utilisé dans les notes de calcul et précisé sur les plans d'exécution de l'ouvrage. Il constitue la référence pour la fabrication et pour la pose des armatures.

On rappelle que l'enrobage nominal est égal à la somme de l'enrobage minimal et d'une "marge de sécurité" pour tolérances d'exécution.ENROBAGE NOMINAL = ENROBAGE MINIMAL + TOLÉRANCE D'EXÉCUTION

<u>Question N° 5-2</u>: Expliquez par un premier schéma, le fonctionnement mécanique de cette poutre chevêtre, notamment en faisant apparaître les zones tendues, les zones comprimées, les concentrations d'effort tranchant.

On considèrera que l'appui du chevêtre sur les pieux est un appui simple.

<u>Question N° 5-3</u>: Sur un second schéma, indiquez l'allure de la déformée, et l'allure du moment fléchissant. Vous ne considèrerez que les sollicitations verticales.

<u>Question N° 5-4:</u> Représentez qualitativement sur le document DR3 le ferraillage de principe de ce chevêtre.

On tracera les armatures longitudinales, et la répartition schématique des armatures transversales (on indiquera les zones de concentration d'armatures transversales).

<u>Question N° 5-5:</u> expliquez ce qu'est un cas de charge, et une combinaison d'action à l'ELU ou à l'ELS. Comment pourriez-vous les calculer pour dimensionner ce chevêtre en flexion ?

<u>Question N° 5-6:</u> A partir des données disponibles en page 5, calculez les valeurs des moments flechissants sur appui et en travée, à l'ELS et à l'ELU.

<u>Question N° 5-7</u>: Dimensionnez les armatures de flexion au droit de l'appui A ou B en fonction des critères mécaniques seuls.

On prendra les valeurs (valeurs absolues) ci dessous des moments fléchissants au droit des appuis A et B, et au milieu de la travée centrale. On tiendra compte du fait que le chevêtre est coulé à même le sol sur béton de propreté, comme une fondation superficiellle. Les armatures longitudinales préconisées seront de type HA 25.

Type	Appui A ou B (kN.m)	Milieu de travée AB (kN.m)
|MELS|	500	620
|MELU|	660	850

<u>Question N° 5-8</u>: La quantité d'armatures est-elle compatible avec l'ensemble des directives de l'EC2 ? Dans le cas contraire, adaptez la quantité d'armatures pour respecter les exigences.

CA / PLP

CONCOURS EXTERNE

Section : GÉNIE CIVIL

Options : **Construction et réalisation des ouvrages**
Construction et économie

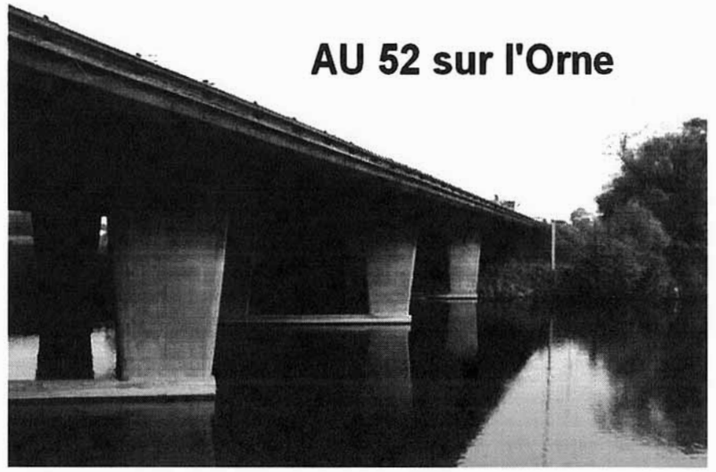
EPREUVE DE SYNTHESE

Durée: 5 heures – Coefficient : 1

DOSSIER TECHNIQUE

Elargissement du pont de Richemont

AU 52 sur l'Orne



©

SOMMAIRE

PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE	Pages 1/21 à 3/21
DOCUMENTS TECHNIQUES	- DT 1:Données techniques - DT 2:Données mécaniques - DT 3:Sondages géotechniques - DT 4:Rapport géotechnique - Extraits - DT 5:Eurocode 7 - Extraits EN 1997-1 - DT 6:Eurocode 7 - Extraits EN 1997-2 - DT 7:Coupe longitudinale de l'ouvrage - DT 8:Détails de l'ouvrage - DT 9:Elevation au droit de P2 - DT 10:Pile P2 – coupe – vue en plan - DT 11:Elevation au droit de C0 - DT 12:Culée C0 – coupe – vue en plan - DT 13:Documentation DURIPANEL - DT 14:Documentation SPIT EPCON 8 - DT 15:Documentation FRYSSINET TFC - DT 16:Formulaire de mécanique - DT 17:Eurocode 2 - Extraits EN 1992 - DT 18:Eurocode 2 - Extraits EN 1992
DOCUMENTS REPONSES	- DR 1: Coupe lithologique - DR 2 : Coffrage du clavage - DR 3 : Armatures du chevêtre

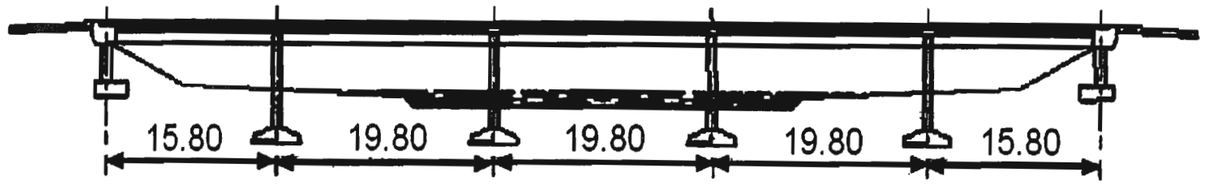
PRESENTATION DE L'OUVRAGE

L'ouvrage étudié est un pont en béton précontraint construit en 1964, situé sur l'autoroute A31 entre Metz et Thionville (département de la Moselle). Il est du type PIDN (Passage Inférieur à Dalle Nervurée) précontraint transversalement et longitudinalement. Cet ouvrage porte initialement 3 voies de circulation, de largeur unitaire 3,50 m.

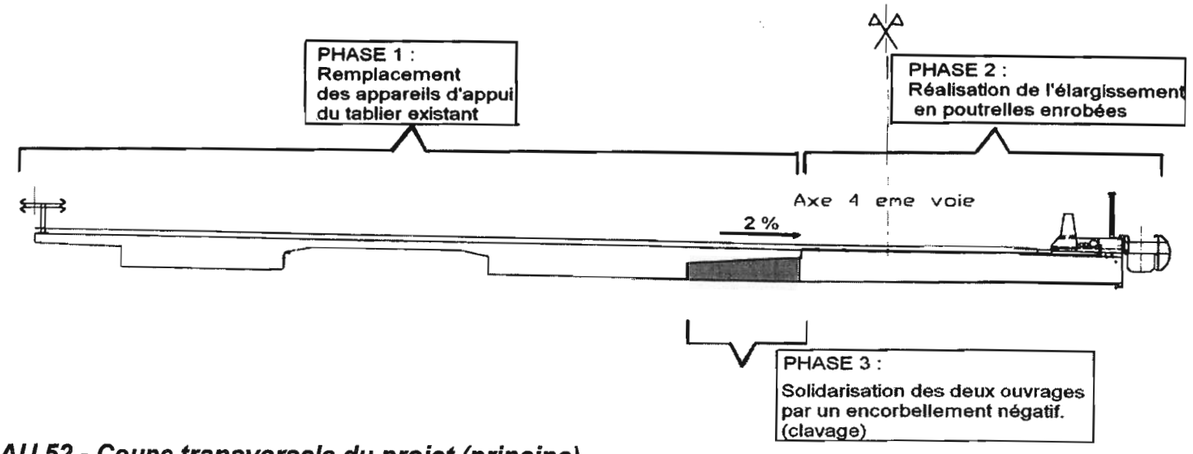
Le tablier existant a une longueur totale de 91m (de portée), en 5 travées de 15,80 m + 19.80 m x 3 + 15,80 m.

Afin de répondre à un trafic croissant, il a été décidé de réaliser une 4ème voie sur 1100 m d'autoroute, ce qui a nécessité un élargissement du pont existant de 6,5 m, bande d'arrêt d'urgence inclue (BAU).

L'abréviation "OA" remplace le terme "Ouvrage d'Art" dans certains documents du marché.



AU 52 : Coupe longitudinale



AU 52 - Coupe transversale du projet (principe)

Le profil en travers définitif de l'ouvrage d'élargissement sera finalement constitué de:

- une voie de 1,56 m (faisant partie des 3,5m de la 4ème voie)
- une bande d'arrêt d'urgence de 3m
- une bande de 1,30 m contenant une glissière, un passage de service de 0,54m, et un garde corps.

L'objet de cette étude se limite aux travaux structurels de ce projet.

Description simplifiée des travaux.

La première opération consiste à lever par vérinage le tablier existant afin de procéder au remplacement de ses appareils d'appui, en néoprène fretté.

Pendant ce temps, on réalise les culées C0 et C5, ainsi que les piles P2 à P4 de l'élargissement. Elles sont alignées sur les appuis du tablier existant. Les portées des travées sont donc les mêmes entre l'ancien tablier et son élargissement.

Afin de respecter l'élancement du tablier, et de limiter les délais de durcissement d'un tablier en béton, il a ensuite été décidé de réaliser l'élargissement par un ouvrage juxtaposé, de type Poutrelles Enrobées.

En dernière phase, l'élargissement est solidarisé au tablier par la réalisation d'un clavage en béton armé sous l'ouvrage existant. Ce clavage sera désormais appelé "encorbellement négatif".

Compte tenu de la rivière Orne qui passe sous l'ouvrage et rend impossible la mise en place d'un étaiement traditionnel, le coffrage de l'encorbellement négatif a été réalisé suspendu en sous face du tablier existant, grace à des tiges crénelées verticales passées dans des perçages.

La partie coulée est aussi couturée en sous-face à l'encorbellement existant par un ensemble d'aciers scellés.

Entre deux têtes d'ancrage de la précontrainte transversale, un redan est taillé dans l'encorbellement existant, afin de permettre un bétonnage correct, et une bonne couture des deux parties.

Contraintes du marché

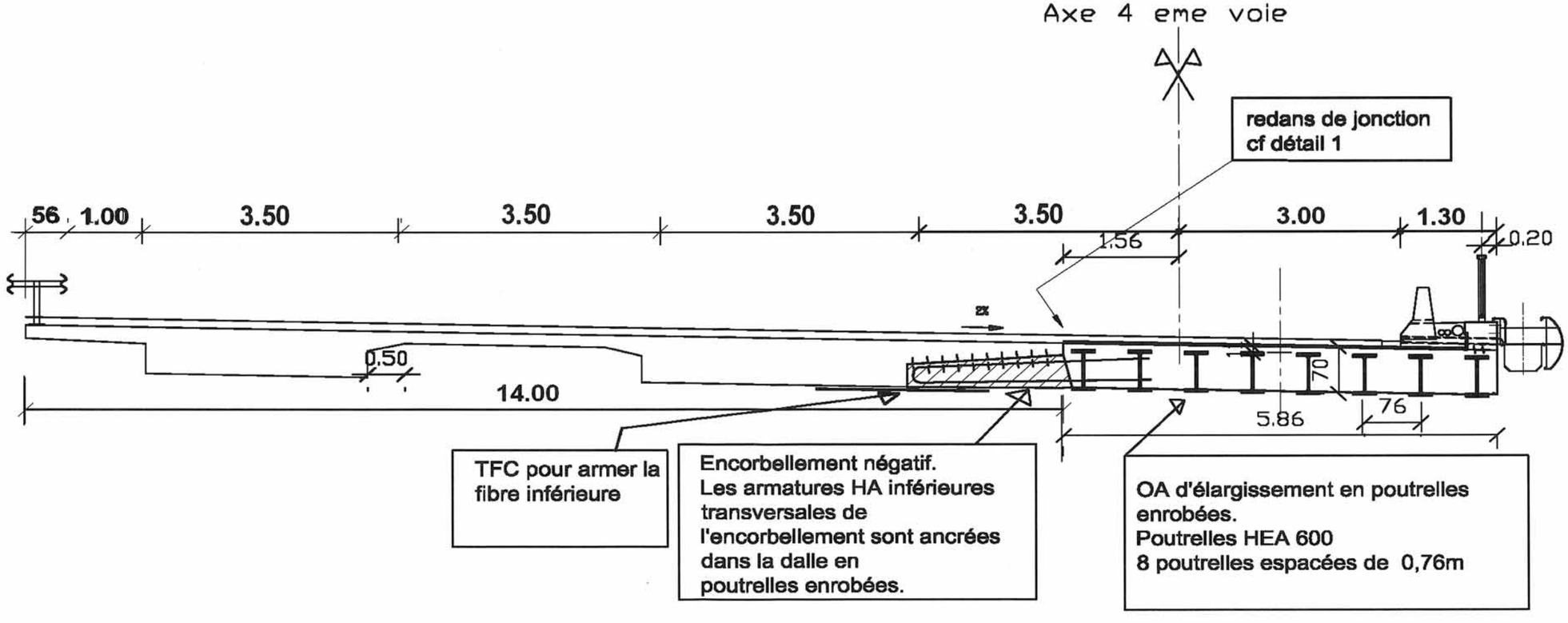
Le délai d'exécution est de 10 semaines de préparation, et 10,5 mois d'execution.

La principale contrainte imposée au marché du fait de l'exploitation autoroutière était que l'entreprise ne disposait que de 48 h de coupure de circulation pour le bétonnage-durcissement de l'encorbellement négatif dont 30 h de durcissement imposé avant remise en circulation.

La pose des renforts en tissus de fibre de carbone (TFC) n'a pu intervenir qu'après un délai de séchage du béton, pendant lequel le trafic a dû être limité sur l'ouvrage (nombre et position des voies).

S'ajoutant aux contraintes d'exploitation de l'A31 (jusque 100 000 véhicules par jour en période estivale), des constructions avoisinantes (un Oxyduc Air Liquide, une conduite d'eau, des lignes électriques Ht nombreuses), et enfin les champs d'inondation de l'Orne et de la Moselle.

OA D'ELARGISSEMENT - COUPE TRANSVERSALE



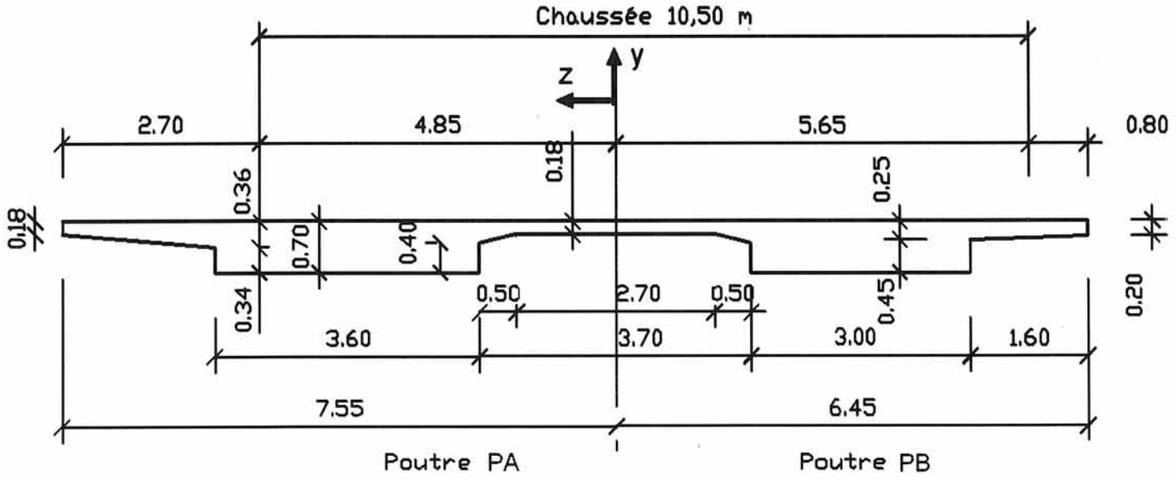
Données techniques:

Généralités

- Classe d'environnement : XC3
- Zone de sismissité : 0
- Le profil en travers de l'ouvrage d'élargissement est constitué comme suit :
  - une voie de 1,56 m (partie des 3,5m de la 4ème voie),
  - une bande d'arrêt d'urgence de 3 m,
  - une bande de 1,30m contenant notamment un passage de service de 0,54 m,
- Le tracé en plan de l'ouvrage est rectiligne.
- La ligne de référence choisie pour définir le profil en long de l'ouvrage est à 1,56m du bord de dalle du tablier existant et se situe au sommet de la couche de roulement.
- Le biais de l'ouvrage est de 60,33 gon.

Tablier existant

Le tablier existant est en première approche assimilable à deux poutres reliées. On considèrera que la géométrie du tablier est définie par la coupe ci-dessous, dans laquelle la moitié gauche est nommée poutre "PA", et la moitié droite poutre "PB". L'encorbellement sera noté "PC" et vient sous la poutre "PB".



Précontrainte du tablier existant

Le tablier existant est précontraint transversalement par des cables post contraints espacés de 1 mètre.

Une post-contrainte longitudinale est réalisée par 33 câbles excentrés sur chaque poutre PA et PB, le tracé de ces câbles est droit dans les travées extrêmes C0-P1 et P4-C5, et se transforme en tracé parabolique entre les piles P1 et P4.

Nouvelles piles P2 à P4

Les nouvelles piles sont constituées

- d'un voile unique, de forme trapézoidale puis d'un chevêtre de tête plus long permettant d'atteindre toutes les poutrelles.
- d' une semelle de répartition en tête de pieux, réalisée dans un batardeau.

Fondations des piles P2 à P4 et des culées C0 et C5.

Les appuis sont chacun fondés profondément sur une file de pieux verticaux.

Ces pieux sont des forés, tubés temporairement, et de diamètre de 1200.

On considèrera les hypothèses suivantes:

- les pieux des appuis C0, P1 et P2 sont suffisament proches du sondage PR AU 52-1, pour qu'on puisse utiliser les résultats de cet essai.
- Le forage des pieux sera arrêté de telle sorte que les pieux soient ancrés d'au moins 3 diamètres (de pieu) dans un substratum compact non altéré(Pl>3,5 MPa).
- Pour les piles, les semelles de répartition en tête de pieux seront placées à la cote NGF 153,000.
- la pression limite à la base du pieu P_{LM} sera mesurée au pressiomètre dans la couche concernée.
- Le poids volumique des sols en présence sera simplifié par la valeur γ = 22 kN/m3
- La pression interstitielle mesurée à la cote estimée de fin de forage sera u = 0,2 Mpa.

Tablier d'ouvrage à poutrelles enrobées

Le tablier est constitué de 8 poutrelles laminées de profil HEA 600 enrobées de béton.

La dalle, d'une épaisseur totale de 70 cm centimètres (de dessous de semelle inférieure de HEA à extrados de dalle), réserve un enrobage de 11 cm centimètres au dessus de la semelle supérieure des poutrelles.

L'ouvrage est continu (les poutrelles sont assemblées bout à bout par soudage) et comporte 5 travées

Les poutrelles sont classées en catégorie 1 telle que définie par l'article 1.3 du fascicule 56 du CCTG.

La protection contre la corrosion des poutrelles est assurée par métallisation et peinture, sur acier mis à nu.

Appareils d'appui

Le tablier repose sur ses appuis par l'intermédiaire d'appareils d'appui en caoutchouc fretté. Leur liaison sera considérée comme un appui simple.

Afin de permettre son réglage et son remplacement, chaque appareil d'appui est associé à un ou plusieurs emplacements de vérinage du tablier, matérialisés par des bossages en béton intégrés au chevêtres

Nouvelles culées C0 et C5 (inclus chevêtre):

Les culées sont constituées d'un sommier et d'une semelle de répartition reposant sur une file de pieux verticaux, en béton armé de diamètre 1200 mm.

Ils sont de type forés tubés sur une partie et forés sous boue sur le reste. Ils ont un diamètre de 1200.

Le béton du chevêtre sera de type C30/37. Les armatures seront de type HA 500.

Classe d'exposition XC2:

Diamètre maximal des armatures de flexion : 25 mm.

Diamètre maximal des armatures d'effort tranchant: 16 mm

Dmax des granulats: 20 mm

Charges en présence:

Poids propres:

- Béton armé : 25 kN/m3
- Enrobés bitumineux pour chaussée: 24 kN/m3
- Chape d'étanchéité bitumineuse : 24 kN/m3

Equipements existants sur la poutre PA:

- Chape d'étanchéité bitumineuse :1 cm
- Enrobés bitumineux : 5 + 5 cm.
- Corniche BA: 2,78 kN/m
- Garde corps métallique: 35 Kg/m
- Glissière GBA : 6 KN/m

Equipements existants sur la poutre PB:

- Chape d'étanchéité bitumineuse :1 cm
- Enrobés bitumineux : 5 + 5 cm.
- Glissière métallique: 30 kg /m.

Charges de chantier pour le bétonnage de l'élargissement : 250 daN/m2 (personnel, matériel, effets dynamiques)

Caractéristiques des matériaux du tablier existant :

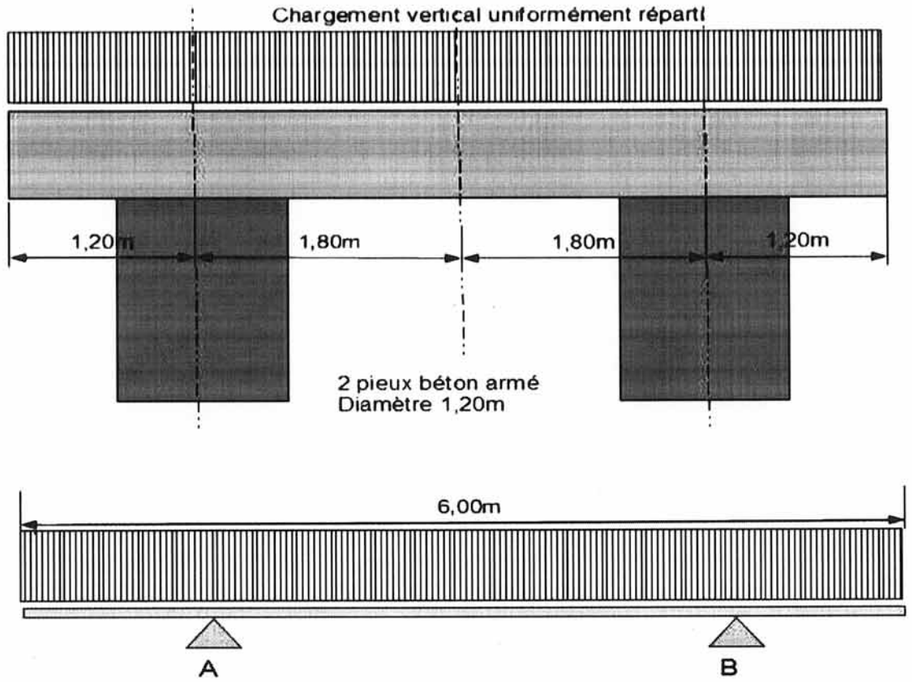
- Béton de l'ancien tablier :
  - Fc28 = 40 Mpa, sera considéré en sécurité comme du C35/45 , Ft28 = 3,00 Mpa.
- Béton des anciennes piles et culées
- Fc28 = 30 Mpa , Ft28 = 2,40 Mpa.
- Aciers à haute adhérence (ancien tablier): Fe = 400 Mpa

Modélisation et charges pour l'étude 5:

Dans l'étude 5, on simplifiera la configuration tablier – chevetre – fondations.

Le chevêtre sera assimilé à une poutre de 2m de large, 1,20m de haut, 6m de portée, reposant sur deux appuis simples, et soumis à des charges uniformément réparties.

On considèrera donc la configuration ci dessous.

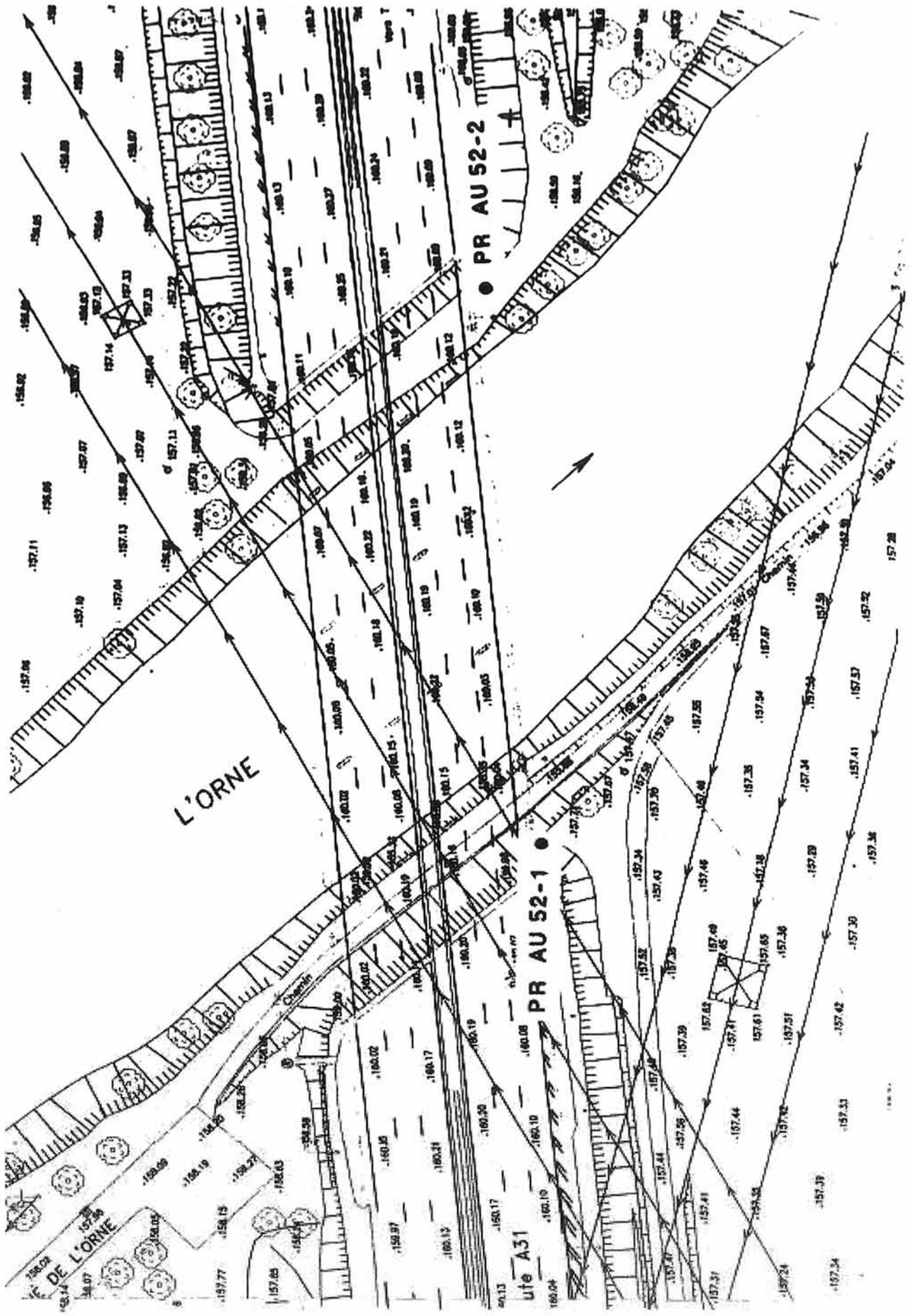


Simplification de la structure tablier - chevêtre - pieux de la culée C0

Les charges considérées sur le chevêtre seront les suivantes, résultantes de la combinaison des charges permanentes et des charges d'exploitation:

Etat limite	Résultante générale sur la culée (kN)	Charge répartie le long du chevêtre (sans le poids propre) (kN/m)	Poids propre du chevêtre. Section bh (m^2) =2,00m x 1,20m (kN/m)
ELS	3725	621	60
ELU	4980	830	81

Illustration 1: Carte des sondages géotechniques



Ininistere de l'Equipement, du Logement et des Transports

C.E.T.E DE L'EST

LABORATOIRE REGIONAL des PONTS et CHAUSSEES de NANCY

PROFIL PRESSIOMETRIQUE – Norme NF P_94_110

Chantier: A31-RICHEMONT-4ieme voie — Dossier

Sondage: PR AU 52-1 X = Y =

Date: Z = 157.90

Nappe 3.06 m

Nature du Sol

Outil: tube lisse battu tarière Ø3mm; ODG 63mm sonde metallique

Prof.

Module de deformation Em en MPa — Gray

Pression limite Pl° — Pression de fluage Pl* — Contrainte horiz. σ'h0 — en MPa

Prof.	Nature du Sol	Em (MPa)	Pl° (MPa)	Pl* (MPa)	σ'h0 (MPa)
1	argile brune fine + gros blocs taillés+ graves (1/10mm)	3.6	0.28	0.48	0.009
2	argile brune sableuse +blocailles(10/30mm)	4.9	0.34	0.59	0.018
3		40	1.8	3.1	0.027
4	sable calcaire gris	60	1.9	3.2	0.041
5	graves sableuses argileuses	72	2.3	3.9	0.056
6		38	1.8	3.2	0.069
7	marne grise polluee	>100	2.2	3.9	0.083
8	marne grise saine	>100	3.9	>5.0	0.097
9		72	3.0	4.7	0.111
10		29	2.1	3.6	0.125
11		>100	3.4	>5.0	0.139
12		>100	3.9	>5.0	0.153
13		>100	3.9	>5.0	0.167
14		>100	3.9	>5.0	0.181
15		>100	3.9	>5.0	0.195
16					
17					
18					
19					
20					
21					

tubage de 0 a 7m

piezometre 15m

crepine de 11 a 15m

EXTRAITS

1 – SITE GEOLOGIQUE

D'après la carte géologique au 1/50 000 ième d'Uckange, les sols rencontrés appartiennent à la formation géologique du Plienbashien, niveau des Marnes à Amalthées. Ce sont des marnes gris bleu, à nodules calcaires et microfaune silicifiée.
Ces marnes sont recouvertes par des alluvions argileuses et sableuses.

2 – RESULTATS DE LA RECONNAISSANCE

Deux sondages pressiométriques PR AU 52-1 et PR AU 52-2 de 15,0 m de profondeur ont été exécutés pour l'étude de fondation.
Ils complètent les deux sondages tarière T45 et T50 effectués lors des études antérieures à une centaine de mètres de l'ouvrage.
De même, les deux sondages pressiométriques F1 et F2 de la Société Fondasol effectués pour l'étude de l'ouvrage existant ont été consultés.

2.1– Nature des sols en place

Les sondages pressiométriques font apparaître:

- Des remblais qui sont, soit les remblais autoroutiers composés d'argile brune avec des blocs de laitier en rive droite (PR AU 52-1), soit uniquement des blocailles de laitier en rive gauche (PR AU 52-2), qui correspondent vraissemblablement à la zone remblayée de l'ancien lit de l'Orne.
- Un sable calcaire dense, épais de 0,50 m rencontré seulement en rive droite sous les remblais généraux.
- Des graves argileuses brun jaunes humides, denses sur une épaisseur de 2,20m en rive gauche (PR AU 52-2).
- Des marnes gris bleu dont le toit se situe à une profondeur, par rapport au zéro des sondages, de 5,90m en rive droite (cote NGF 152,000) et 4,40m en rive gauche (cote NGF 151,600). Ces marnes sont polluées par les alluvions sur une épaisseur de 1,0m en rive droite, et de 0,50m en rive gauche. Elles sont saines et raides au delà.

Les sondages ont été arrêtés dans cette couche de marne.

2.2– Hydrogéologie

Une nappe phréatique a été rencontrée en cours de sondages (fin juin – début juillet) dans la couche de graves argileuses aux profondeurs et cotes suivantes:

- PR AU 52-1 : 3,05m cote NGF 154,850
- PR AU 52-2 : 1,75m cote NGF 154,250

Les relevés piézométriques du 11 juillet montrent une légère remontée du niveau des eaux, avec stabilisation pratiquement au niveau de la rivière Orne.

- PR AU 52-1 : 2,90m cote NGF 155,000
- PR AU 52-2 : 2,00m cote NGF 154,000

2.3– Résultats des sondages pressiométriques

Les caractéristiques pressiométriques (Pl et E) des sols rencontrés sont les suivantes:

Forage PR AU 52-1 : En rive droite, coté Metz, cote à l'origine estimée à NGF 157,900

- De 0,00 à 2,80m : remblais d'argile brune, fine et sableuse avec blocailles de laitier.
  - Pl = 0,48 à 0,59 MPa
  - E = 3,6 à 4,9 Mpa
- De 2,80 à 3,30m : sable calcaire compact
  - Pl = 3,1 MPa
  - E = 40 Mpa
- De 3,30 à 5,90 m : grave argileuse brun jaune humide dense
  - Pl = 3,2 à 3,9 MPa
  - E = 38 à 72 Mpa
- De 5,90 à 6,90 m : marne gris bleu mêlée à des graves
  - Pl = 3,2 MPa
  - E = 38 Mpa
- De 6,90 à 15,00m : marne gris bleu compacte
  - Pl = 3,6 à 5,0 MPa
  - E = 70 à 100 Mpa sauf à 10m ou E = 29 MPa
- A 15,00 m : arrêt dans le même sol

Forage PR AU 52- 2 : En rive gauche, coté Thionville, cote à l'origine estimée à NGF 156,000

- De 0,00 à 3,20m : remblais de blocailles de laitier.
  - Pl = 0,38 à 0,51 MPa
  - E = 4,3 à 6,1 Mpa
- De 3,20 à 4,40m : graves argileuses brun jaune humide moyennement denses.
  - Pl = 1,8 MPa
  - E = 22 Mpa
- De 4,40 à 5,00m : marne gris bleu très compacte.
  - Pl = 3,3 à 5 MPa
  - E > 100 Mpa
- A 15,00 m : arrêt dans le même sol

Avant-propos

Le présent document (EN 1997-1) a été préparé par le Comité Technique CEN/TC 250 «Eurocodes structuraux», dont le secrétariat est tenue par le BSI. Le Comité technique CEN/TC 250 est responsable de tous les Eurocodes structuraux.

Cette norme européenne devra recevoir le statut de norme nationale, soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement, au plus tard en mai 2005, et toutes les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en mars 2010.

Le présent document remplace l'ENV 1997-1:1994.

Selon le Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus de mettre cette Norme européenne en application: Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Lettonie, Lituanie, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

2.4.7 États limites ultimes

2.4.7.1 *Généralités*

(1)P Il est nécessaire de vérifier que les états limites suivants ne sont pas dépassés, lorsqu'ils sont pertinents :

— perte d'équilibre de la structure ou du terrain, considéré comme un corps solide dans lequel les résistances des matériaux (de la structure ou du terrain) n'apportent pas de contribution significative à la résistance (EQU) ;

— rupture interne ou déformation excessive de la structure ou d'éléments de structure, tels que les semelles, les pieux ou les murs de sous-sol, dans lesquels la résistance des matériaux de la structure contribue significativement à la résistance (STR) ;

— rupture ou déformation excessive du terrain, dans lequel la résistance des sols ou des roches contribue de façon significative à la résistance (GEO) ;

— soulèvement global de la structure ou du terrain provoqué par la pression de l'eau (poussée d'Archimède) ou par d'autres actions verticales (UPL) ;

— soulèvement local du terrain, érosion interne ou érosion régressive du terrain, sous l'effet des gradients hydrauliques (HYD).

NOTE L'état limite GEO est souvent critique pour la détermination des dimensions des éléments de structure dans les fondations et les soutènements et parfois critique pour la résistance des éléments de structure.

(2)P Les facteurs partiels pour les situations permanentes et transitoires définis dans l'Annexe A doivent être utilisés.

A.3.3.2 *Facteurs partiels de résistance pour les fondations sur pieux*

(1)P Pour les fondations sur pieux et les vérifications des états limites de la structure (STR) et géotechniques (GEO), on doit appliquer les ensembles *R1*, *R2*, *R3* ou *R4* des facteurs partiels de résistance (γ_R) suivants :

— γ_b pour la résistance de pointe ;

— γ_s pour la résistance par frottement sur le fût des pieux en compression ;

— γ_t pour la résistance totale/combinée des pieux en compression ;

— $\gamma_{s;t}$ pour la résistance par frottement sur le fût des pieux en traction.

Tableau A.7 — Facteurs partiels de résistance (γ_R) pour les pieux forés

Résistance	Symbole	Ensemble			
		R1	*R2*	*R3*	*R4*
Pointe	γ_b	1,25	1,1	1,0	1,6
Fût (compression)	γ_s	1,0	1,1	1,0	1,3
Total/combine (compression)	γ_t	1,15	1,1	1,0	1,5
Fût en traction	$\gamma_{s;t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

2.4.7.3 *Vérification de la résistance pour les états limites de la structure et du terrain dans les situations permanentes et transitoires*

2.4.7.3.1 *Généralités*

(1)P Pour les états limites de rupture ou de déformation excessive d'un élément de structure ou du terrain (STR et GEO), on doit vérifier que :

$$E_d \leq R_d \quad \text{... (2.5)}$$

E.3 Exemple de méthode de calcul de la capacité portante d'un pieu isolé

(1) Ce paragraphe présente un exemple de méthode pour calculer la capacité portante Q_c des pieux à partir des résultats des essais pressiométriques Ménard MPM :

$$Q = Ak\left[p_{LM} \quad p_0\right] + P\Sigma\left[q_{si} \cdot z_i\right]$$

où :

A est l'aire de la base du pieu. Elle est égale à l'aire réelle des pieux à base fermée et à une partie de cette aire pour les pieux à base ouverte ;

p_{LM} est la valeur représentative de la pression limite au niveau de la base du pieu, corrigée en fonction des couches molles sous-jacentes ;

p_0 est égal à $[K_0 (\sigma_v - u) + u]$, avec, par convention, K_0 égal à 0,5, σ_v étant la contrainte verticale totale (initiale) et u la pression interstitielle au niveau d'essai ;

k est un facteur de portance indiqué dans le Tableau E.4 ;

P est le périmètre du pieu ;

q_{si} est la contrainte de résistance par frottement sur le fût d'un pieu pour la couche de sol i donnée sur la Figure E.1, lue conjointement avec le Tableau E.5 ;

z_i est l'épaisseur de la couche de sol i.

NOTE Cette méthode a été publiée par le Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports Français (1993). Pour plus d'informations et d'autres exemples, voir X.3.2.

Tableau E.4 — Valeurs du facteur de portance, k, pour les pieux chargés axialement

Catégorie de sol	Catégorie de p_{LM}	p_{LM} [MPa]	Pieux forés et pieux à faible refoulement	Pieux avec refoulement total
argile et limon	A	< 0,7	1,1	1,4
	B	1,2 – 2,0	1,2	1,5
	C	> 2,5	1,3	1,6
sable et gravier	A	< 0,	1,0	4,2
	B	1,0 – 2,0	1,1	3,7
	C	> 2,5	1,2	3,2
craie	A	< 0,7	1,1	1,6
	B	1,0 – 2,5	1,4	2,2
	C	> 3,0	1,8	2,6
marne	A	1,5 – 4,0	1,8	2,6
	B	> 4,5	1,8	2,6
roche altérée	A	2,5 – 4,0	a)	a)
	B	> 4,5		

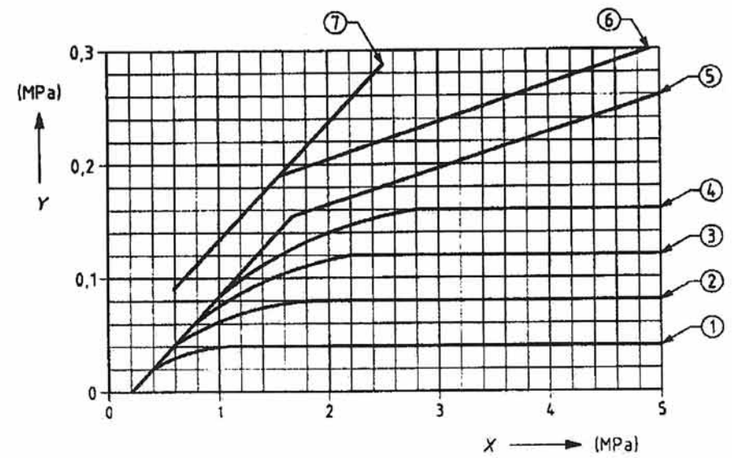
a) Choisir k pour la catégorie de sol la plus proche.

EN 1997-2:2007 (F)

Tableau E.5 — Choix des courbes de frottement latéral sur le fût d'un pieu

Catégorie de sol		Argile et limon			Sable et gravier			Craie			Marne		Roche altérée
Catégorie de p_{LM}		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	
Type de pieu													
pieux forés et caissons	simple	1	1/2	2/3	—	—	—	1	3	4/5	3	4/5	6
	à la boue	1	1/2	1/2	1	1/2	2/3	1	3	4/5	3	4/5	6
	tubage temporaire	1	1/2	1/2	1	1/2	2/3	1	2	3/4	3	4	—
	tubage permanent	1	1	1	1	1	2				2	3	—
puits creusé manuellement		1	2	3	—	—	—	1	2	3	4	5	6
pieux avec refoulement	tube en acier fermé à la base	1	2	2	2	2	3				3	4	4
	béton préfabriqué	1	2	2	3	3	3				3	4	4
	battu moulé en place	1	2	2	2	2	3	1	2	3	3	4	—
	fût enrobé (acier battu et béton) [a)]	1	2	2	3	3	4				3	4	—
pieux injectés	basse pression	1	2	2	3	3	3	2	3	4	5	5	—
	haute pression	1	4	5	5	5	6	—	5	6	6	6	7

a) Un pieu préfabriqué en acier de section tubulaire ou en H, avec base élargie, mis en œuvre par battage avec pompage simultané de béton (ou mortier) dans l'espace annulaire.



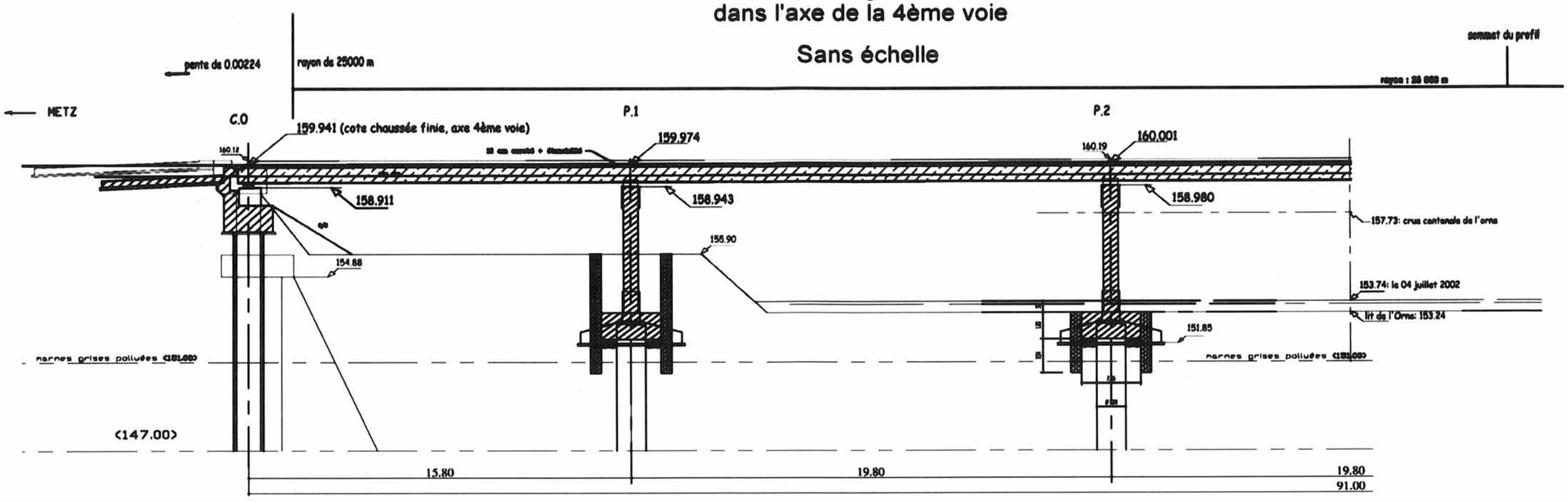
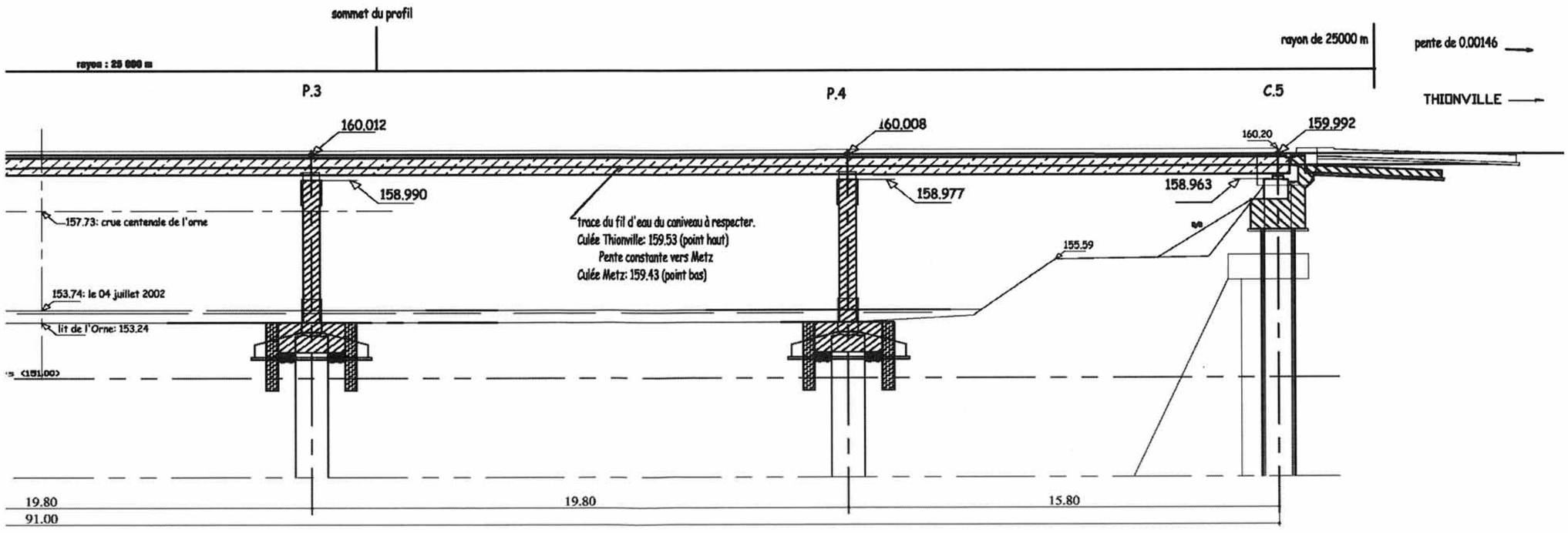
Légende

X Pression limite (p_{LM}) (MPa)

Y Frottement latéral unitaire (Mpa)

1 à 7 Courbes de frottement latéral unitaire

Figure E.1 — Frottement latéral unitaire sur le fût d'un pieu chargé axialement

Coupe longitudinale dans l'axe de la 4ème voie

Sans échelle