



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE

EDE ARC 2

SESSION 2019

**CAPET
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP CORRESPONDANT**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Option : INGÉNIERIE DES CONSTRUCTIONS

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE
ORGANISATION**

Durée : 4 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.

Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

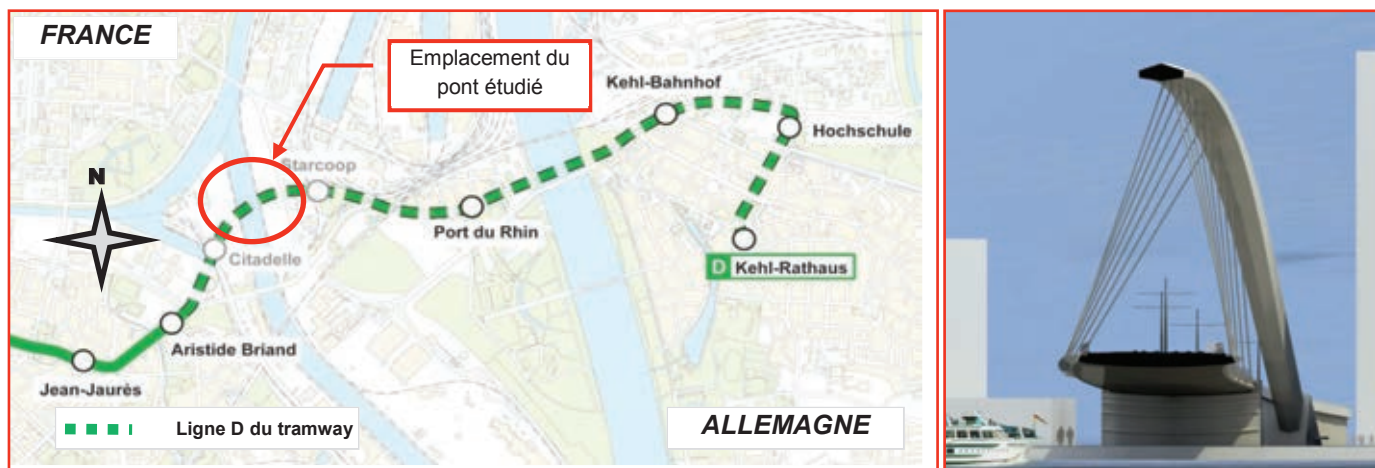
SOMMAIRE

Présentation :	Page
Information aux candidats et sommaire du sujet	02
Éléments de contexte	03
Questionnaire :	
Étude 1 : Conception architecturale d'un lieu d'accueil.	04
Étude 2 : Choix constructifs ; Élingage	05
Étude 3 : Études des bétons et de ses composants	07
Étude 4 : Environnement numérique collaboratif	08
Étude 5 : Étude structurelle de l'arc du pont	09
Étude 6 : Organisation et coût des essais de convenance	10
Documents techniques :	
DT N°1 : Planches de concours et dossier de plans d'ouvrage : extraits	12
DT N°2 : Extraits du phasage travaux	14
DT N°3 : Bétons et granulats	15
DT N°4 : Essais de convenance sur la structure	18
Documents réponses :	
DR 1 : Questions Q11 à 14 liées à l'étude 3	23
DR 2 : Question Q19 liée à l'étude 5	26
DR 3 : Questions Q23 et 24 liées à l'étude 6	28
<i>Nota : Les différentes études de ce questionnaire sont totalement indépendantes les unes des autres et peuvent être traitées dans un ordre quelconque choisi par le(la) candidat(e). Tous les documents réponse, y compris ceux non renseignés, sont à remettre en fin d'épreuve. Les compléments sur copie doivent être référencés au numéro de question.</i>	

Présentation du support d'études : Pont de la Citadelle.

ÉLÉMENTS DE CONTEXTE :

Avec une offre de service de transport public s'étendant sur l'ensemble de l'Eurométropole de Strasbourg, la CTS (compagnie des transports strasbourgeois) poursuit son développement au service des usagers. L'un des axes de croissance passe par la (re)création d'une ligne continue de tramway entre Strasbourg et Kehl, la ville-frontière allemande. En plus de la réalisation d'un ouvrage d'art de franchissement du Rhin à hauteur de Strasbourg, le tracé de la ligne impose la construction d'un deuxième ouvrage d'envergure. Ce pont franchissant le bassin portuaire "Vauban" est le **support de l'étude** proposée pour cette épreuve.



Source autorisée par CTS Compagnie des transports strasbourgeois Maître d'ouvrage

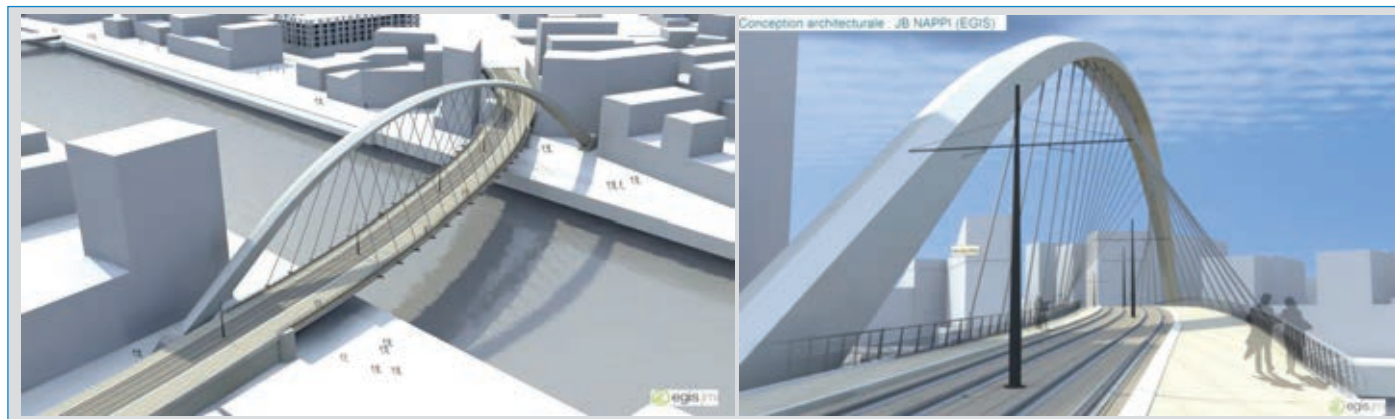
Dispositions principales :

L'ouvrage est un pont métallique à arc supérieur supportant un tablier intermédiaire suspendu courbe, d'une portée de 163 m entre axes des culées.

L'arc, qui se développe suivant une ligne d'épure située dans un plan vertical, présente un biais par rapport au tablier qu'il "enjambe". Son axe de symétrie est également vertical (les deux platines métalliques en pied sont calées au même niveau).

Le tablier est suspendu à l'arc par l'intermédiaire de suspentes.

La réalisation de cette opération, hors études de conception et d'équipements du tablier, est planifiée avec un délai de 18 mois et ne doit en aucun cas perturber le trafic fluvial. Elle nécessite environ 2300 tonnes d'acier de charpente métallique dont 1300 pour le tablier et 1000 pour l'arc, ainsi que 4750 m³ de bétons pour les appuis et fondations.



Photos montage du pont pour le concours d'architecture ; Conception EGIS

Tournez la page S.V.P.

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

► **Concours externe du CAPET de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EDE	1411E	102	7048

► **Concours externe du CAFEP/CAPET de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EDF	1411E	102	7048

Étude 1 - CONCEPTION ARCHITECTURALE D'UN LIEU D'ACCUEIL

Objectif : Esquisser un bâtiment multi services au profit des croisiéristes.

Voir **D.T. N°1**. Extraits planches de concours et Extraits du dossier de plans p. 12-13

Le lauréat (**EGIS**) du concours d'architecture pour ce projet a imaginé dans ses planches de présentation, le pont dans un nouvel environnement urbain.

Bien que pouvant servir de base de travail aux urbanistes et architectes, les photomontages de cet ancien quartier du port fluvial de Strasbourg n'ont strictement aucune valeur contractuelle et laissent place à d'autres choix.

C'est ainsi que l'une des propositions d'idées porte sur le déplacement des appontements (les embarcadères étant situés actuellement au niveau du bassin Dusuzeau) vers le bassin Vauban, concomitamment à la réalisation d'un **lieu d'accueil**.

Les tenants de cette solution avancent l'argument de mobilité pour les nombreux **croisiéristes** en transit à Strasbourg, du fait de la proximité immédiate de la station de tram "Starcoop".

Dans ce bâtiment pourraient être installés des services telles une antenne de l'office de tourisme, des toilettes publiques, une salle d'exposition, une cafétéria et/ou autres, le tout au service principalement des touristes.

Dans le cahier des charges imposées par l'Eurométropole, de nombreuses contraintes techniques imposent au bâtiment des contraintes **dimensionnelles** (*emprise totale hors-tout dans un cube de 10 m de côté maximum -non compris terrasses et balcons éventuels-*) et **environnementales** (*bâtiment à énergie positive, soit un BEPOS*).

Par ailleurs, les urbanistes de la ville souhaitent faire de ce bâtiment un marqueur des références suivantes :

- Visibilité et écho à l'architecture du pont,
- Visibilité de l'excellence du "génie français" en matière de construction d'ouvrages d'art,
- Visibilité du rapport de Strasbourg à ses origines (camp romain il y a plus de 2000 ans) à l'eau, à son port et à l'Europe.

Question 1 : Traité architectural de Vitruve

Dans son traité "De architectura", l'architecte romain *Vitruve* (1^{er} siècle av J.C.), décrit les principes constitutifs de l'architecture selon sa formule : *utilitas, firmitas, venustas*, soit l'utilité, la solidité, la beauté.

⇒⇒⇒ Associer succinctement quelques liens possibles entre les mots de Vitruve et les contraintes du cahier des charges pour le lieu d'accueil.

Question 2 : Esquisse du bâtiment

⇒⇒⇒ Sur les 2 pages intérieures d'une copie, permettant un travail au format **A3**, proposer **obligatoirement à MAIN LEVÉE** une planche d'esquisse dans laquelle doivent apparaître les positions planimétrique et altimétrique du bâtiment, les façades orientées ainsi que 2 coupes représentatives de l'ensemble. Commenter très simplement le positionnement des espaces et l'orientation du bâtiment.

Question 3 : Analyse du choix architectural

⇒⇒⇒ Conclure quant aux choix des habillages dans le parti pris architectural.

Étude 2 - CHOIX CONSTRUCTIFS - ÉLINGAGES -

Objectif : Justifier les choix constructifs proposés, dimensionner les efforts à reprendre par certains appareils de levage pendant les phases de mise en place de l'arc du pont.

Voir document technique **D.T. N°2** : Phasage travaux et manutention du tronçon Ci-A3 **p. 14**

Question 04 : Choix constructifs

Les méthodes de construction envisagées pour la réalisation du tablier du pont s'orientent vers la technique du pont lancé. Dans un 1^{er} temps, le tablier est assemblé par tronçon sur l'une des berges, puis accompagné d'un avant- bec en tête de pont, poussé jusqu'à atteindre la 1^{ère} palée provisoire. L'opération est réitérée jusqu'à atteindre la 2^{ème} culée.

⇒⇒⇒ Justifier la pose d'un avant-bec en tête de pont dans ce type de mode opératoire. Rappeler la principale contrainte excluant d'office d'autres modes d'assemblage.

Question 05 : Poids d'un élément à manutentionner.

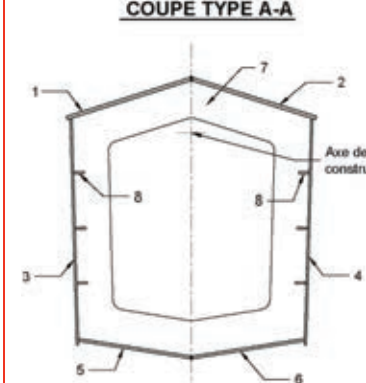
Quant à l'arc, le mode opératoire consiste à préparer les tronçons -de section variable- en usine, de les transporter sur chantier et de les assembler in situ au fur et à mesure de l'avancement.

En phase travaux, le maintien de l'équilibre statique est assuré grâce à des tours d'étaie adaptées aux géométries propres au tronçon posé. La partie centrale de l'arc est posée sur le tablier avant poussage et hissée d'un seul tenant.

On s'intéresse particulièrement à la pose du tronçon **N° Ci-A3**, dernier tronçon du pied droit de l'arc juste avant la partie médiane de rayon 120 mètres. Raidi par 2 diaphragmes et de longueur **13,5** mètres, il doit être positionné sur une tour d'étaie et prendre appui sur le tronçon Ci-A2.

⇒⇒⇒ Calculer le poids total de l'élément Ci-A3.

NB : Par souci de simplification, on prendra les valeurs renseignées dans le tableau suivant:

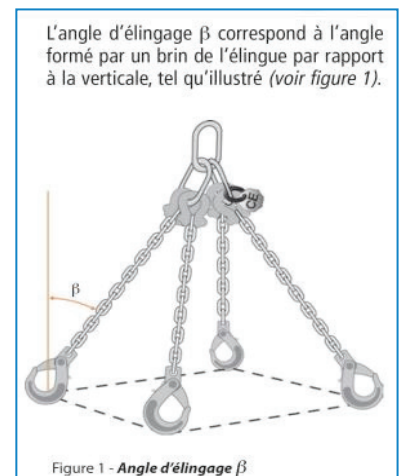
	Pièces	Désignation	Ép.	Largeur	Long ^{ueur}	
	Tôle 1 (id 2)	Semelle supérieure	60	1578/1856	13500	
	Tôle 3 (id 4)	Âme Nord et Sud	30	3791/3190	13500	
	Tôle 5 (id 6)	Semelle inférieure	35	1339/1623	13500	
	Tôle 7	Diaphragmes	40	350	12000	
	<i>NB : 12000 = Longueur développée d'un diaphragme (il y en a 2 sur tout le tronçon).</i>					
	Tôle 8	Raidisseurs d'âme	30	150	13500	
	<i>NB : Toutes les valeurs sont exprimées en mm ; Prendre $MV_{acier} = 7850 \text{ kg.m}^{-3}$</i>					

Question 06 : Centre de gravité du tronçon Ci-A3

⇒⇒⇒ Rappeler la valeur de l'angle maximal d'élingage β conseillée par les organismes tels **OPPBTP** et **INRS**.

⇒⇒⇒ Déterminer l'abscisse x_G du centre de gravité de ce tronçon, l'axe de ces abscisses étant confondu avec sa longueur.

NB : Par souci de simplification et contrairement à la question précédente, on négligera l'impact des 2 diaphragmes et des raidisseurs (tôles 7 et 8)



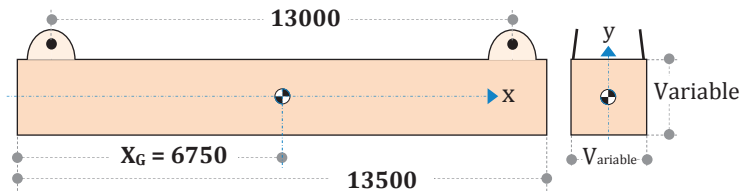
Question 07 : Efforts de tension dans les chaînes - Manutention Camion ► zone de stockage

La manutention des tronçons s'effectue grâce à une grue mobile dont le crochet de levage porte 4 chaînes. Celles-ci sont accrochées aux 4 oreilles soudées aux extrémités de l'élément.

Pour minimiser les risques, Il est impératif d'apporter et de présenter la pièce dans la même position que celle qu'elle aura dans sa position définitive.

Pour des raisons de sécurité, on considérera que **seules 2 chaînes assurent la stabilité** du tronçon. Par ailleurs et ce, **quels que soient les résultats trouvés précédemment**, les valeurs à prendre pour les calculs inhérents aux chaînes sont les suivantes :

- Parfaite symétrie de l'ensemble du tronçon impliquant une position du centre de gravité x_G située à **6,750 m** sur l'axe de longueur,
- Masse de l'élément : **67,5 tonnes**
- Angle d'élingage égal à **30° maximum**.
- Position des oreilles située à **250 mm des extrémités**,
- Inclinaison du tronçon égale à **30°** par rapport à l'horizontale lors de la manutention de la zone de stockage jusqu'à sa position finale.
- Accélération de la pesanteur supposée égale à 10 m/s^2 ,



Dans un 1^{er} temps, le tronçon arrivant sur site par convoi exceptionnel doit être déchargé en **position horizontale** et stocké avant sa pose in situ.

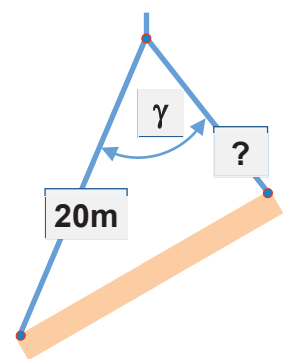
⇒⇒⇒ *Calculer les efforts dans les chaînes lors du déchargement. Quelle est leur longueur minimale dans cette configuration ?*

Question 08 : Longueur de chaînes lors de la manutention de la zone de stockage ► In situ

La 2^{ème} phase de manutention nécessite l'inclinaison de la pièce. Des chaînes de longueur 20 mètres sont à disposition pour ce type de transport.

On rappelle que les chaînes, contrairement aux élingues peuvent être facilement adaptées aux longueurs désirées.

⇒⇒⇒ *Quelle est la longueur à donner à la 2^{ème} chaîne dans cette 2^{ème} configuration, sachant que la 1^{ère} chaîne a une longueur de 20 mètres et que l'angle d'ouverture des chaînes au sommet γ est de 60° ?*



Question 09 : Efforts de tension dans les chaînes dans cette phase

⇒⇒⇒ *En considérant que la longueur du 2^{ème} brin est de 14 m, montrer que la valeur de l'angle d'ouverture est inférieur à 60° et déduire les efforts de traction dans les 2 chaînes.*

⇒⇒⇒ *Conclure quant au choix du type de chaînes à utiliser pour ce tronçon Ci-A3.*

Étude 3 – ÉTUDE DES BÉTONS ET DE SES COMPOSANTS

Objectif : Valider la qualité des matériaux issus de 3 centrales différentes et mesurer l'impact environnemental des bétons produits.

Voir Doc Technique **D.T. N°3** : Bétons et granulats utilisés p.15-17 et doc réponse **DR1 p.23-25**

Le fabricant de béton titulaire du marché d'approvisionnement a mis en avant dans sa réponse à l'appel d'offre, l'assurance de livraison en matériaux bétons à tous moments en fonction des besoins et ce, en raison d'un réseau de 3 centrales de fabrication de béton pouvant se substituer l'une à l'autre si nécessaire.

Question 10 : Masses volumiques du béton de propreté.

Le squelette granulaire des bétons utilisés pour l'ouvrage est composé de granulats issus de 3 gravières différentes, alimentant elles-mêmes les 3 centrales à béton capables de fournir tous les types de bétons exigés par les besoins du projet.

Extraits par dragage, ils sont embarqués par convoyeur sur le site de stockage et enfin, acheminés par camion-benne dans les 3 centrales du groupe.

Voir **D.T. N°3 §A p.15** : Processus de fabrication du béton.

L'étude ne concerne que les **3 bétons de propreté** (formule N°16005058) issus des 3 centrales.

Voir **D.T. N°3 §B p.15** : Cartes d'identité et Compositions des bétons de propreté.

⇒⇒⇒ Connaissant la moyenne des masses volumiques réelles mesurées des bétons issus des 3 centrales, soit **2329 kg/m³** et sachant que la formulation est validée si l'écart entre les MV théorique et réelle n'excède pas **2,5%**, calculer la masse volumique théorique des 3 bétons frais et en déduire la validation –ou non- de la formulation pondérale.

Question 11 : Granularité des sables.

Voir **D.T. N° 3 §C p.15-16** Granulométrie des granulats

Pour rentrer dans la composition des bétons issus de la centrale d'ENTZHEIM, le matériau **S①**, dont la courbe granulométrique est établie sur le **document réponse DR1 p.23**, doit être mélangé à un autre sable **S②**, pour produire le **sable 0/4 recomposé** retenu dans la composition.

⇒⇒⇒ Établir la courbe granulométrique du sable **S②** à partir du tableau de ses mesures d'essai sur le document réponse **DR1 p.23**.

Question 12 : Mélange granulaire du sable 0/4 recomposé.

La valeur du module de finesse M_f attendu pour ce sable 0/4 recomposé est de **2,75**.

⇒⇒⇒ Calculer les modules de finesse M_f ① et M_f ② des sables **S①** et **S②**

⇒⇒⇒ Établir sur le même document réponse **DR1 p.23**, la courbe granulométrique théorique du mélange granulaire « sable 0/4 recomposé ».

Question 13 : Quantité d'énergie par m³ de béton fabriqué.

En se calquant sur les attentes des calculs "**bilan E+C-**" appliqués généralement au secteur plus spécifique du bâtiment, la maîtrise d'ouvrage souhaite connaître l'impact environnemental du projet.

Voir **D.T. N° 3 §D et §E p.16-17** Tableau des distances et données environnementales

L'étude se limite à 2 catégories d'impacts: ① Réchauffement global ②: Énergie non renouvelable. Est exclu de l'étude l'impact "Épuisement des ressources" et sont négligées les conséquences liées à la consommation d'eau et à sa distribution.

⇒⇒⇒ Démontrer que la valeur arrondie moyenne de 14,5 MJ par m³ correspond à la quantité d'énergie nécessaire à la fabrication en centrale d'un m³ de béton.

Question 14 : Étude d'impacts.

Voir Doc Technique **D.T. N°3 p.15-17** et doc réponse **DR1 p.24-25**

⇒⇒⇒ Évaluer, pour les phases du processus complet de fabrication du béton développées dans les tableaux du **D.T. N° 3 §A**, les 2 indicateurs d'impacts (① Réchauffement global et ② Énergie non renouvelable) pour 1 m³ de béton fabriqué à partir des granulats et ciment et transporté jusqu'au chantier. Le calcul porte uniquement sur les bétons de propreté issus des 3 centrales.

⇒⇒⇒ Conclure quant à la qualité attendue des granulats pour les bétons proposés et commenter par une analyse succincte les résultats de l'étude d'impacts environnementaux.

Quelle influence -hors coût économique- cette étude pourrait-elle avoir dans la désignation d'un site de production pour l'approvisionnement en béton.

Étude 4 - ENVIRONNEMENT NUMÉRIQUE COLLABORATIF - BIM

Objectif : Identifier, analyser et exploiter les apports des nouveaux outils de transition numérique et modes de communication dans les projets de construction.

L'Éducation Nationale propose chaque année à l'ensemble des élèves et étudiants de nombreux concours comme les Olympiades des Sciences de l'Ingénieur ou la création de mini entreprise par exemple. Une aide est généralement apportée par différentes institutions (régions, villes etc.), fondations et associations diverses (Main à la pâte, ASCO TP, ConstruireAcier, École française du béton, UPSI, APMBTP etc.) et organisations professionnelles (FFB ; FNTF).

Ces concours ont pour objectif de mettre les apprenants en situation professionnelle réelle à partir de projets innovants existants ou à créer.

Question 15 : Réflexions autour des démarches collaboratives.

Pour comprendre au mieux les liens école-entreprise et mettre à profit leurs propres apprentissages universitaires, un groupe d'étudiants en « MASTER MEEF 2nd degré - parcours sciences industrielles de l'ingénieur – option ingénierie de la construction », participe au concours « Les génies de la construction (*anciennement Batissiel+*) », dont le thème est :

« Importance du développement numérique et de la démarche collaborative au profit de l'étude et de la réalisation d'un ouvrage public ».

Le support à partir duquel s'articuleront les travaux d'analyse et de réflexions du groupe est le pont de la citadelle.

⇒⇒⇒ En fonction de l'étude menée par le groupe, proposer un « poster » au format A4 en vue de la soutenance du projet.

Il conviendra de mettre en avant les points sur lesquels porteront l'exposé d'une part et de les argumenter par l'un ou l'autre exemple d'autre part.

⇒⇒⇒ Conclure quant aux bénéfices apportés par les démarches collaboratives numériques dans les projets de construction.

Étude 5 – ÉTUDE DE L'ARC DU PONT.

Objectif : Étudier la stabilité de l'arc du pont pour valider le mode constructif des appuis.

Voir doc technique **D.T.N°1 p. 13**: Extraits du dossier de plans et document réponse **DR2 p. 26-27**

L'étude concerne l'arc du pont et ce, lors de la phase précédant la pose des suspentes maintenant le tablier. Elle se limitera à un problème **plan**. Le repère global à utiliser pour l'analyse statique est orthonormé direct avec l'**axe des X** confondu avec l'horizontale.

Question 16 : Étude de la géométrie de l'arc.

Le schéma « Caractéristiques générales de l'ouvrage » du **D.T. N°1** donne la géométrie réelle de l'arc. Ce dernier est parfaitement symétrique et repose sur des appuis empêchant tous mouvements de rotation et de translation.

Il est constitué d'éléments métalliques soudés entre eux, de longueur 6,000 mètres à l'axe de construction (sauf les 2 premiers tronçons adjacents aux appuis dont la longueur est de 6,517 m).

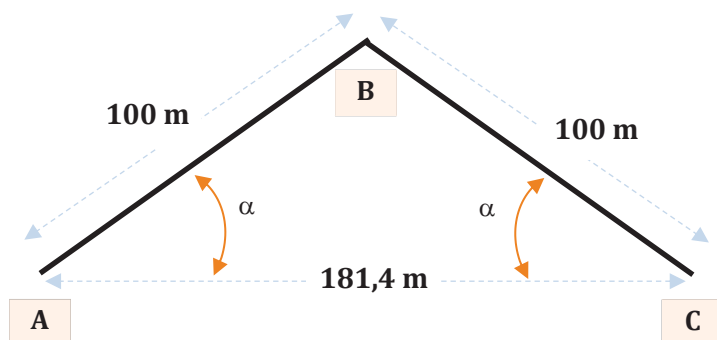
⇒⇒⇒ Calculer la longueur exacte de l'arc au niveau de son **axe de construction**. En déduire l'angle concerné par l'arc de cercle de rayon 120 mètres. Commenter la valeur obtenue.

Question 17 : Étude simplifiée du cas de charge lié au seul poids propre de l'arc.

Les suspentes n'étant pas encore fixées, l'étude de ce cas de charge ne prendra en compte que l'incidence du poids propre de l'arc et ce, **sans aucune pondération**.

Dans un souci de simplification, on considèrera que

- Géométriquement, l'arc devient arbalétrier, en "V inversé", constitué de 2 éléments droits (AB et BC) de pente régulière, symétriques par rapport à l'axe vertical passant par B. Voir schéma ci-contre
- la structure est **bi-encastée** au niveau de ses appuis.
- les valeurs suivantes sont à prendre en compte :
 - Le linéaire est de **200** mètres ($2 \cdot 100$ m) ;
 - La distance horizontale entre les appuis est de **181,4 m** ;
 - La masse totale, répartie de manière homogène est estimée à **1000 tonnes**. ($g : 10 \text{ m/s}^2$) ;



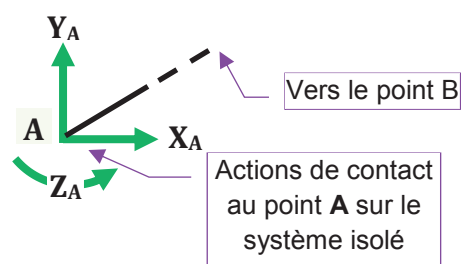
⇒⇒⇒ Faire le schéma du modèle mécanique de l'arc en vue de calculer ses actions aux appuis. Placer le repère global décrit précédemment. En déduire le degré d'hyperstaticité du système.

Question 18 : Calculs des actions à l'appui C.

Les résultats des calculs issus d'un logiciel de structure donnent les valeurs des intensités suivantes au point A (appui gauche)

$X_A = 5385 \text{ kN}$; $Y_A = 5000 \text{ kN}$; $Z_A = 37800 \text{ kN.m}$.

⇒⇒⇒ En déduire les actions au point C.



Question 19 : Graphe de $N(x)$, $V(x)$, $Mf(x)$ dans la partie BC.

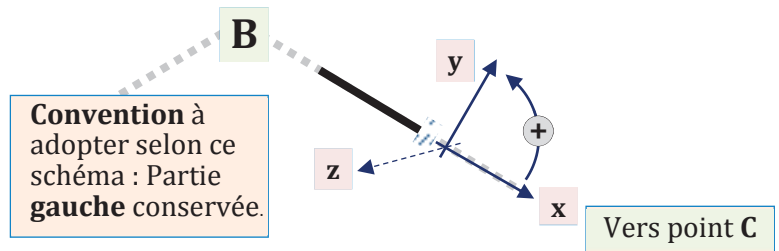
Utiliser le Document Réponse **DR2 p.26** pour les calculs et **p.27** pour les graphes

⇒⇒⇒ Établir les équations des éléments de cohésion dans cette « barre » **BC** en adoptant la convention ci contre.

Tracer sur le les graphes correspondants.

⇒⇒⇒ A la seule lecture des graphes, en

déduire et justifier l'endroit où les contraintes normales et de cisaillement sont les plus sévères.



Étude 6- ORGANISATION ET COUT DES ESSAIS DE CONVENANCE

Objectif : Organiser et valider un planning prévisionnel des essais de convenance de stabilité à réception du tablier et en établir le coût selon les variantes proposées.

Voir doc technique **D.T.N°4 p. 18-22** Essais de convenance sur la structure et doc rép **DR3 p.28**

La CTS impose au préalable de la réception du tablier une procédure d'essais et mesures conforme aux référentiels techniques applicables pour ce type d'ouvrage.

Elle demande par ailleurs que les mesures **soient systématiquement doublées** à partir de 2 zones d'implantation différentes des appareils télémétriques.

Question 20 : Expression des valeurs des résultats de mesures

Le tableau du document technique **DT4 §C p.19** donne une partie des résultats de mesures associées aux valeurs des résultats de calculs issus du BET.

⇒⇒⇒ Expliquer pourquoi tous les résultats des **mesures** donnés dans ce tableau sont libellés avec une décimale, -valeurs entières comprises-, sauf pour ceux concernant les arcs.

Question 21 : Analyse et validité des résultats de mesure. Convenance du tablier.

Voir document technique **D.T.N°4 §C p.19**

Une analyse des valeurs des résultats données dans le tableau doit être menée afin d'être en capacité -ou non- d'assurer la conformité de l'ouvrage.

On note pour ce faire que :

- tous les tassements d'appui relevés suite aux pré-chargements doivent être **inférieurs à 10 mm**.
- la flèche mesurée doit être comprise entre **0,8 et 1,1** fois la flèche théorique. Entre **1,1 et 1,5** fois, les mesures sont à refaire. Au-delà, le dossier doit être « repris ». Cette contrainte ne s'applique pas pour les valeurs mesurées **ET** calculées inférieures à **10 mm**.

⇒⇒⇒ Valider la conformité de l'ouvrage vis-à-vis de la flèche (tablier et arc) et du tassement (culées).

⇒⇒⇒ Que faudrait-il envisager –si besoin- comme remédiation ?

NB: Toutes les autres mesures affectant les files 29, 15 et 7 du tablier et la face NORD de l'arc ne sont reportées dans le tableau. Elles sont réputées, chacune pour ce qui les concerne, convenir aux exigences du CCTP.

Tournez la page S.V.P.

Question 22 : Analyse de l'organisation calendaire des essais menés lors de l'étape ①.

La maîtrise d'ouvrage impose pour ces essais de convenance un délai ne dépassant pas **une journée d'amplitude limitée à 13 heures (7h00 - 20h00)** et exige au préalable un planning.

Une 1^{ère} ébauche voir **D.T. N°4 §D et §E p.20-21** définit précisément le cadencement prévisionnel de **l'étape ①** -soit les pré-chargements-, en donnant l'enclenchement des tâches spécifiques de cette étape dans **2 configurations de travail** :

▶ **1** brigade avec **2** personnes soit :

1 ingénieur, 1 aide opérateur-géomètre et 1 station totale robotisée.

▶ **2** brigades avec **4** personnes soit :

1 ingénieur, 2 opérateurs-géomètre, 1 aide opérateur-géomètre et 2 stations totales.

⇒⇒⇒ *Démontrer l'impossibilité de répondre aux exigences calendaires si une seule brigade est sur site pour réaliser l'ensemble des étapes ① ▶ ④ de ces essais . Expliquer en quoi il est impossible d'avoir proportionnalité entre budget d'heures et délais ?*

Question 23 : Étude N°1 estimative du coût de l'opération "essais de convenance".

Le planning établi avec les 2 brigades (1 ingénieur, 2 opérateurs-géomètre et 1 aide) et les 2 stations totales robotisées » est retenu. L'ensemble de la mission peut être mené à bien en **12** heures.

voir **DT N°4 §F p.22** : tableau « Données communes pour l'établissement des offres de prix ».

⇒⇒⇒ *Établir sur le document réponse **DR3 –partie gauche du tableau de la page 28-** le prix de revient HT de la prestation dans le format : 2 brigades et 2 stations totales LEICA TS50.*

Question 24 : Étude N°2 estimative avec les nouvelles technologies.

La **veille normative et technologique** des personnels du BET amène à repenser complètement la mission. De nouvelles obligations réglementaires tels l'établissement d'un PCRS (Plan de Corps de Rue Simplifié) ou le suivi de la réforme des DT/DICT, imposent aux entreprises et bureaux à anticiper et chercher à moderniser leurs modes opératoires et ce, allant de pair avec l'utilisation de nouveaux matériels.

Dans le domaine du génie civil, des solutions innovantes de capture de la réalité 3D sont à même de proposer une réponse bien au-delà des contrôles exigés par la CTS : le traitement numérique du nuage de points obtenu permettant en effet de construire l'image réelle du pont au format IFC tout en la comparant au modèle virtuel.

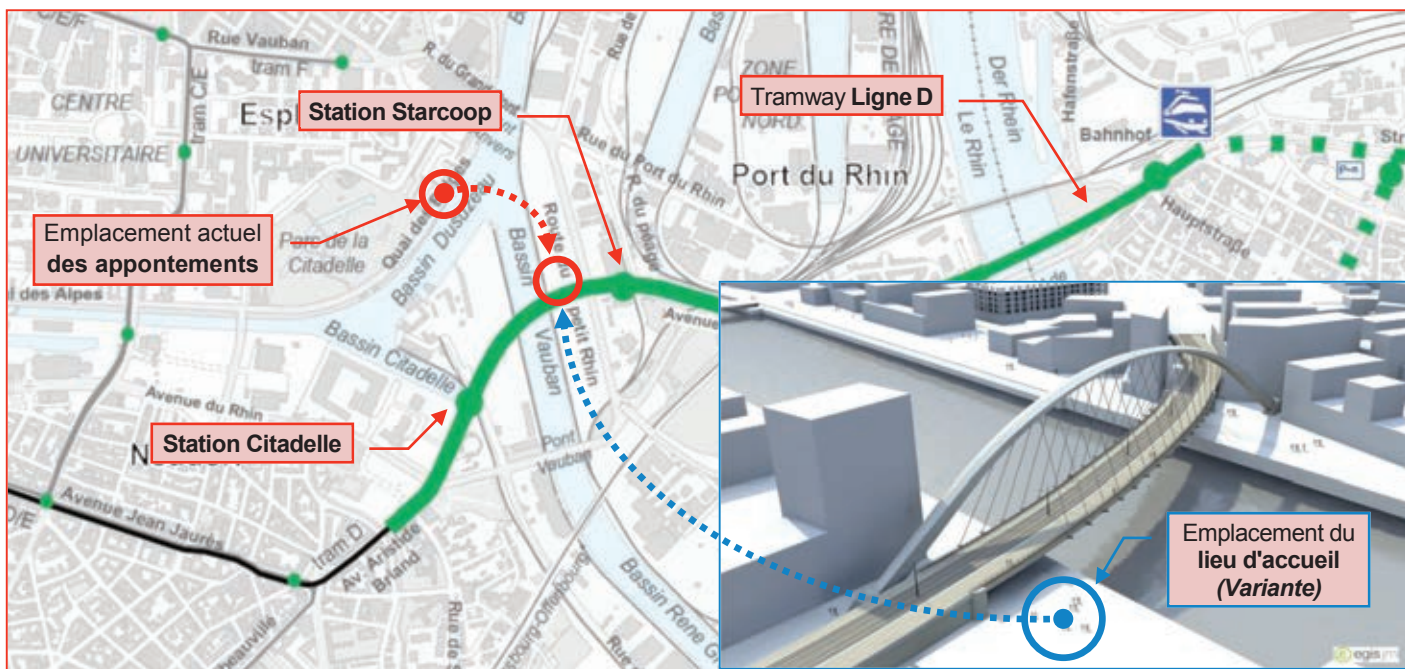
Le planning ainsi modifié montre que la capture par visée scanner ne nécessite qu'une **seule demi-journée sur site**, avec le seul ingénieur et un seul appareil de type **LEICA RTC360** sans aucune plateforme à préparer. Cependant, il faut prévoir une formation complémentaire si besoin.

⇒⇒⇒ *Établir une 2^{ème} offre (prix de revient hors taxes) de cette même mission en utilisant les nouveautés technologiques décrites ci-dessus et ce, avec l'option location. Utiliser le **DR3 - partie droite du tableau de la page 28-***

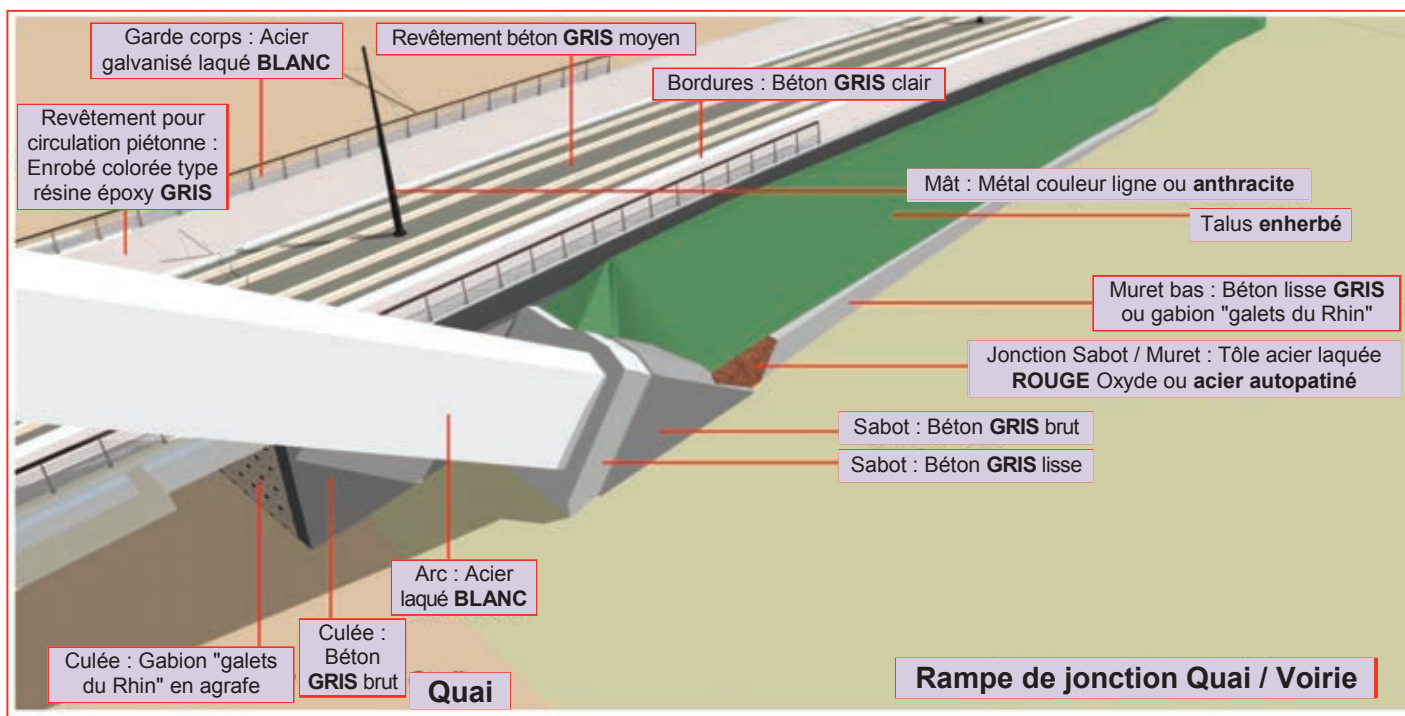
Question 25 : Réflexions autour des nouvelles technologies.

⇒⇒⇒ *Conclure quant à l'offre à proposer à la maîtrise d'ouvrage et préparer un argumentaire susceptible d'influencer ou non l'achat d'un appareil de capture 3D.*

Document Technique D.T. N°1 : EXTRAITS PLANCHES DE CONCOURS



Plan de l'extension de la ligne D - sans échelle- En incrustation : photomontage du pont dans un environnement virtuel.

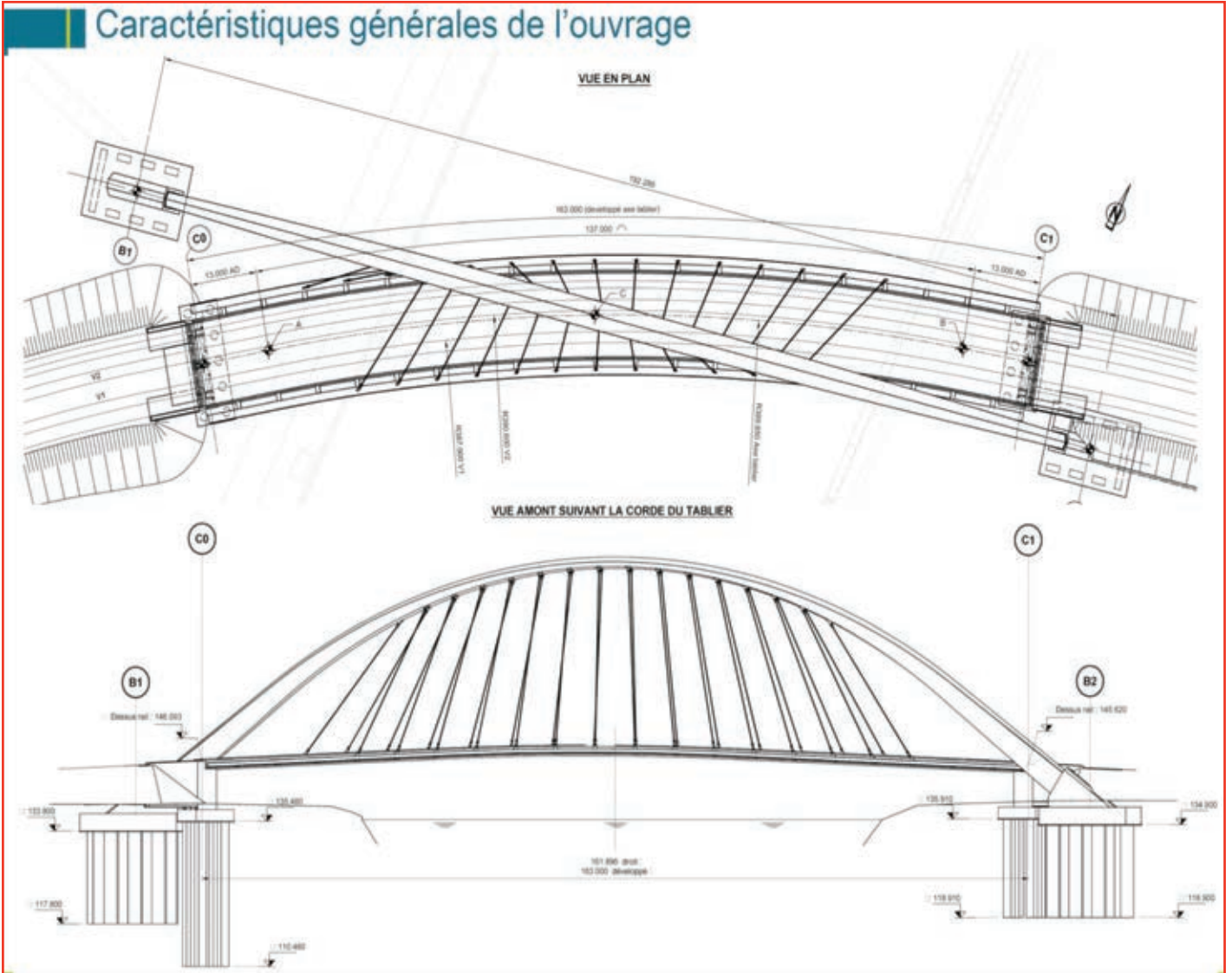


Photomontage de la culée C1 (côté EST du pont). Détails architecturaux : Formes, matières et couleurs.



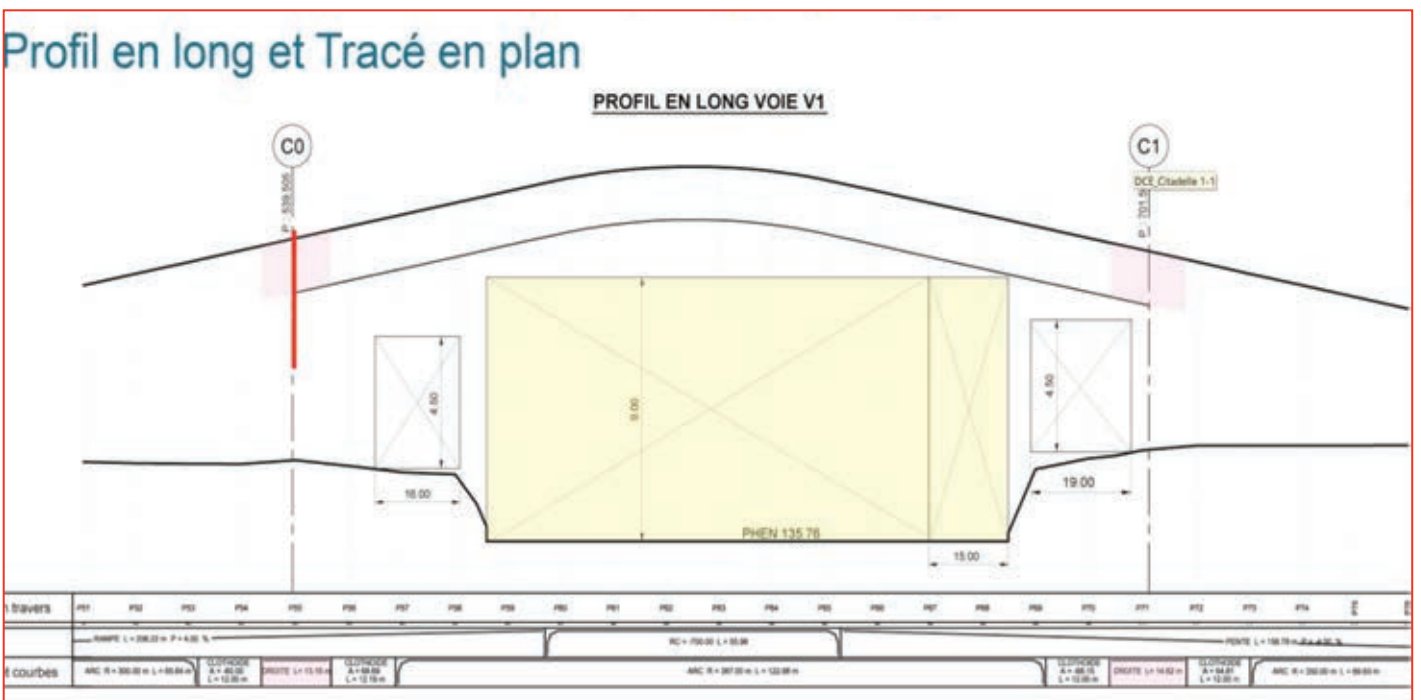
Photomontage du pont (vue du côté SUD). Architecture d'ensemble et urbanisation de son environnement

Caractéristiques générales de l'ouvrage



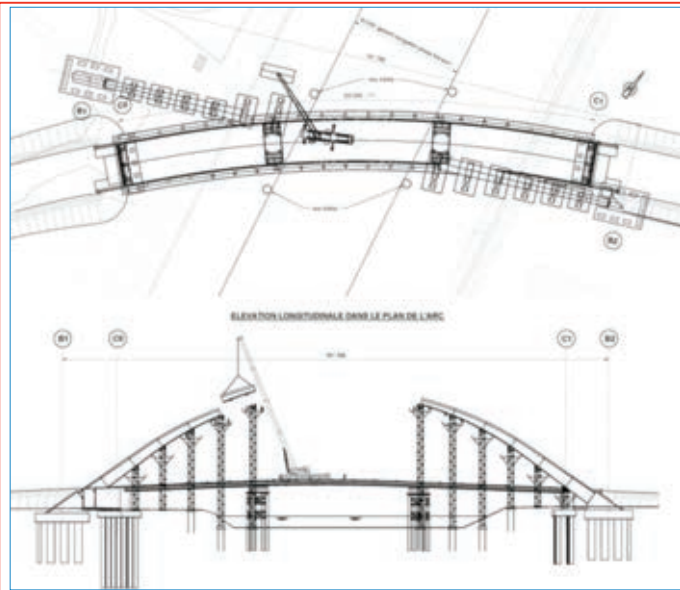
Caractéristiques générales de l'ouvrage

Profil en long et Tracé en plan



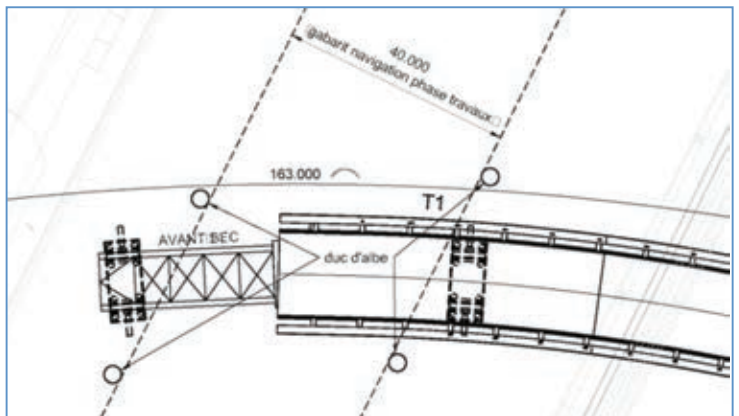
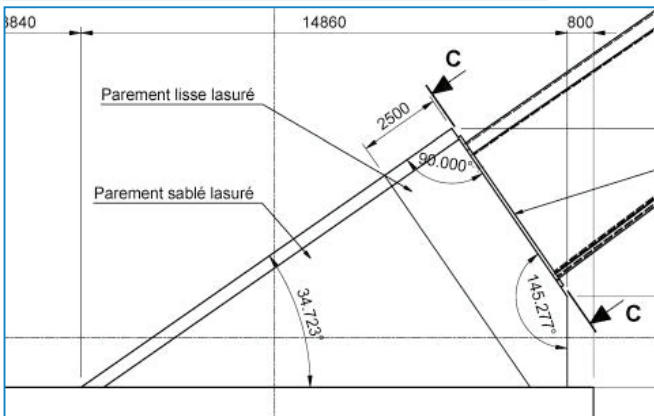
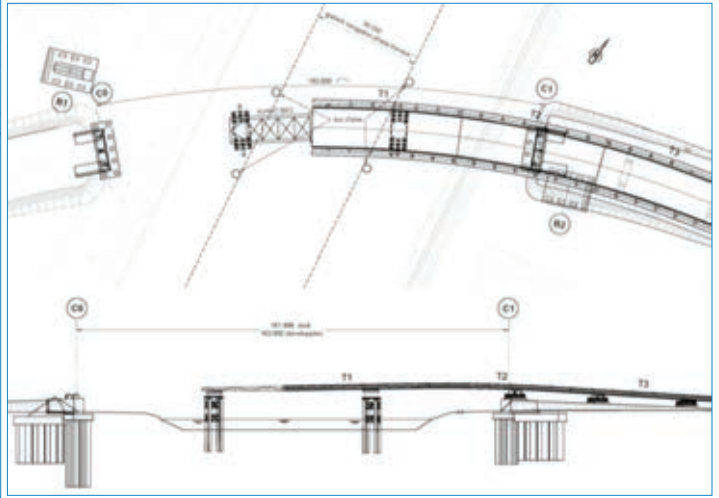
Profil en long et tracé en plan de l'ouvrage. Dimensions des gabarits de passage. Rapport d'échelle Longueur/hauteur = 5

Doc. Technique D.T. N°2 : PHASAGE TRAVAUX-MANUTENTION Ci-A3



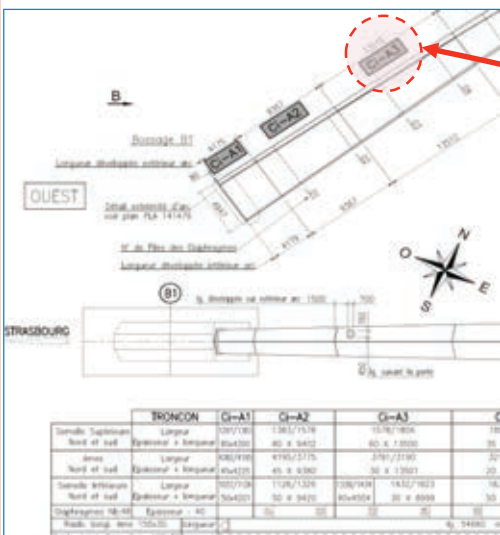
◀◀◀ Phase d'assemblage et de construction de l'arc

▼▼▼ Phase d'assemblage et de poussage du tablier ▼▼▼



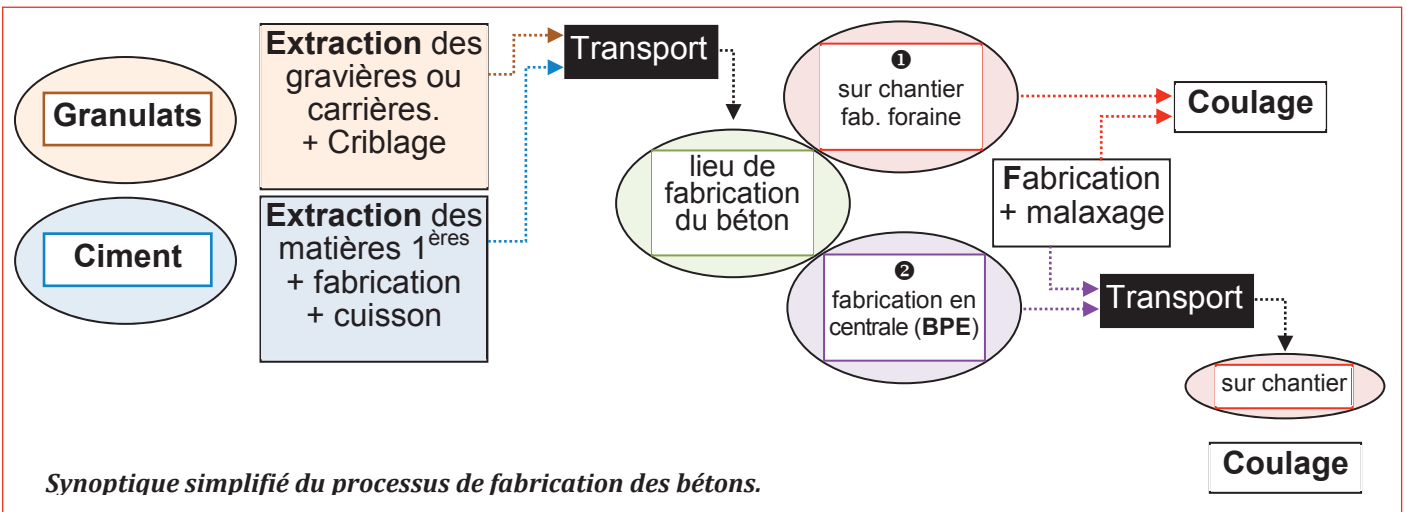
↑↑Photos et documents d'accompagnement pour l'étude de la manutention du tronçon CiA3↑↑

↓↓Tronçon Ci-A3 : Position et caractéristiques (Plan) ; Stockage sur site après déchargement et avant pose (Photo)↓↓



Document Technique D.T. N°3 : BÉTONS ET GRANULATS UTILISÉS

A] Processus de fabrication du béton



B] Cartes d'identité et compositions des bétons de propreté utilisés.

B. de propreté N°16005058	BPS NF EN 206/CN HB OUVRAGE D'ART	C16/20 250Kg/m3 CEM II/B-S 42,5
	N CE CP1 NF Dmax = 22 mm S3 AFFAIS. 100 à 150mm X0(F) CL 0,40	

Matériau	0/4 R	4/8R	8/16R	16/22R	CEM II/B 42,5	Filler	Plast Delta CER	Eau
	d _{abs} : 2,60	d _{abs} : 2,59	d _{abs} : 2,58	d _{abs} : 2,57	d _{abs} : 3,06			
Origine	Lingolsheim	Lingolsheim	Lingolsheim	Lingolsheim	HOLCIM Héming		Chryso	Puits
Quantité (kg)	830	200	300	620	250	0	0,75	154
Béton composé et fabriqué dans la centrale de ENTZHEIM								
Matériau	0/4 R	4/16R	16/22R	CEM II/B 42,5	Filler	Plast Delta CER	Eau	
	d _{abs} : 2,66	d _{abs} : 2,62	d _{abs} : 2,59	d _{abs} : 3,06				
Origine	Entzheim	Entzheim	Entzheim	HOLCIM Héming		Chryso	Puits	
Quantité (kg)	870	460	620	250	0	0,75	160	
Béton composé et fabriqué dans la centrale de STRASBOURG-Neudorf								
Matériau	0/4 R	4/16R	16/22R	CEM II/B 42,5	Filler	Plast Delta CER	Eau	
	d _{abs} : 2,63	d _{abs} : 2,62	d _{abs} : 2,61	d _{abs} : 3,06				
Origine	Hoerd	Hoerd	Hoerd	HOLCIM Héming		Chryso	Puits	
Quantité (kg)	870	460	620	250	0	0,75	160	
Béton composé et fabriqué dans la centrale de HOERDT								

Tableau de composition des différents bétons de propreté (N°16005058) issus des 3 centrales du groupe.

C] Granulométrie des granulats

Tableau de mesures pour l'Analyse granulométrique des sables S① et S②													
Les valeurs indiquées correspondent à la masse (en g) des refus cumulés à chaque tamis.													
Tamis	Fond	0,063	0,08	0,125	0,25	0,5	1	2	3,15	4	5	5,60	8
	Quantité de sable S1 analysée : 2550 g												
Sable S①	2543	2480	2425	2240	1276	715	460	77	0	0			
	Quantité de sable S2 analysée : 2875 g												
Sable S②	2869	2848	-	2790	2470	1877	1525	802	-	148	-	0	0

Producteur : HOLCIM - LINGOLSHEIM
Granulats : SABLE 0/4 RECOMPOSE
Pétrographie : Alluvions silico-calcaires
Elaboration : Reconstitués

Partie contractuelle

Valeurs spécifiées sur lesquelles le producteur s'engage

Classe granulaire

0	4
---	---

Norme

Norme NF P 18-545 Article 10 - EN 12620 et EN 13139

Catégorie

Code A (03/09/2009)

	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	D 4	1.4D 5.6	2D 8	FM	SE	f
Etendue e			40		40		10			0.6		10
V.S.S.+U			54.0		84.0		100.0			3.25		7.00
V.S.S.	6.0		50.0		80.0		98.0			3.10		6.00
V.S.I.			10.0		40.0		88.0	95.0	100.0	2.50	65.00	
V.S.I.-U			6.0		36.0		86.0	94.0		2.35	60.00	
LS							99.0					10.00
LI							85.0	95.0	100.0			

Rappels de définitions.

- Classe granulaire :** Les granulats sont désignés selon leur **classe granulaire d/D** (avec d : dimension inférieure et D : dimension supérieure). L'intervalle d/D est appelé classe granulaire. Elle est spécifiée suite à l'analyse d'essais issus des résultats nécessitant une série de tamis normalisés.
- Module de finesse :** Le module de finesse d'un sable est une valeur caractérisant sa granularité. C'est la somme des pourcentages des refus sur les 6 tamis de la série (en mm) :
 $[0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5]$
- Mélange granulaire :** Les mélanges granulaires sont issus des résultats donnés par les différentes valeurs suivantes de modules de finesse: **Mf^①** pour S^① ; **Mf^②** pour S^② et **Mf** pour celui visé du sable composé.
Le mélange est établi à partir de la formule ci-dessous avec l'hypothèse : $Mf^{②} > Mf > Mf^{①}$.

$$\%S^{①} = (Mf^{②} - Mf) / (Mf^{②} - Mf^{①}) \text{ et } \%S^{②} = (Mf - Mf^{①}) / (Mf^{②} - Mf^{①})$$

D] Tableau des distances de transport matériaux à effectuer.

Site ① Fabrication des ciments	Site ② Extraction des granulats	Site ③ Fabrication des bétons	Distance ① ► ③	Distance ② ► ③ (en km)	Site ④ Construction du pont	Distance (en km) ③ ► ④
Héming	Lingolsheim	Entzheim	100 km	2 km	Stbg-Citadelle	18 km
Héming	Entzheim	Strbg-Neudorf	110 km	12 km	Stbg-Citadelle	4 km
Héming	Hoerd	Hoerd	90 km	1 km	Stbg-Citadelle	15 km

E] Données issues des FDES & déclarations environnementales de produits

Catégorie d'impact	L'impact de la tonne*kilomètre est calculé en fonction des camions retenus pour le transport. Leur capacité de charge (camions-benne pour les granulats et camions dédiés pour ciments est de 32 tonnes soit le type ①. Pour les bétons, ce sont des camions-toupie de (16 ► 32T) de type ②.		
	Unité	Transport type ① <i>pour ciments et granulats</i>	Transport type ② <i>pour bétons</i>
① Réchauffement global	kg équivalent CO ²	0,105	0,165
② Énergie non renouvelable	MJ	1,83	2,76

Impacts dus aux transports des matériaux

Ces données sont calculées en considérant les camions chargés à plein lors de leur transport aller. Elles représentent une valeur moyenne rapportée à **1 tonne** de matériau transportée sur **1 km**.

Le retour est pris en compte dans ces valeurs.

NB: La tonne*kilomètre (T*km) est une unité de mesure correspondant au transport d'une tonne de marchandise (y compris le conditionnement et la tare des unités de transport intermodal) sur une distance d'un kilomètre par n'importe quel moyen de transport. Ce terme est défini par analogie avec la notion de travail en physique : il s'agit d'une quantité de transport. Les tonnes*kilomètres sont additives.

Catégorie d'impact	Unité	Granulats	Ciment
① Réchauffement global	kg équivalent CO ²	2,30	648
② Énergie non renouvelable	MJ	64,4	4050
③ Épuisement des ressources	kg équivalent Sb	1,62 * 10⁻²	1,59

Impacts pour l'extraction des granulats et la fabrication du ciment (extraction+cuisson) pour 1 t de matière.

NB: Le kg équivalent Sb (Sb étant le symbole chimique de l'Antimoine) exprime l'importance des réserves disponibles des différents éléments. Les consommations sont exprimées en kg puis multipliées par les coefficients de conversion propres à chaque élément pour tenir compte de l'impact d'épuisement des ressources. L'élément de référence est l'antimoine dont le coefficient est de 1.

Catégorie d'impact	Données complémentaires particulières de valeurs à prendre en compte pour les calculs d'impact.			
① Réchauffement global	Pour le fonctionnement de chaque centrale, le rejet de gaz à effet de serre par tonne de béton produite est estimé à 2,40 kg éq. CO ²			
② Énergie non renouvelable	Puissance (en kW) et Capacité réelle de production (en m ³ /h) de chaque malaxeur des 3 centrales sont	Hoerdt	243 kW	60 m ³ /h
		Entzheim	224 kW	56 m ³ /h
		Strasbourg	274 kW	68 m ³ /h

Impacts pour la fabrication du béton

NB₁ : Pour la fabrication du béton, l'impact "épuisement des ressources" est négligé. **NB₂ :** **1 kWh = 3,6 MJ**

A/ Essais, mesures et calculs de validation.

Les épreuves de chargement ont pour objet de s'assurer que l'ouvrage livré est apte à supporter les charges pour lesquelles il a été conçu. Elles permettront également de vérifier *a posteriori* que le fonctionnement de l'ouvrage sous charge est conforme au **modèle** de calcul utilisé.

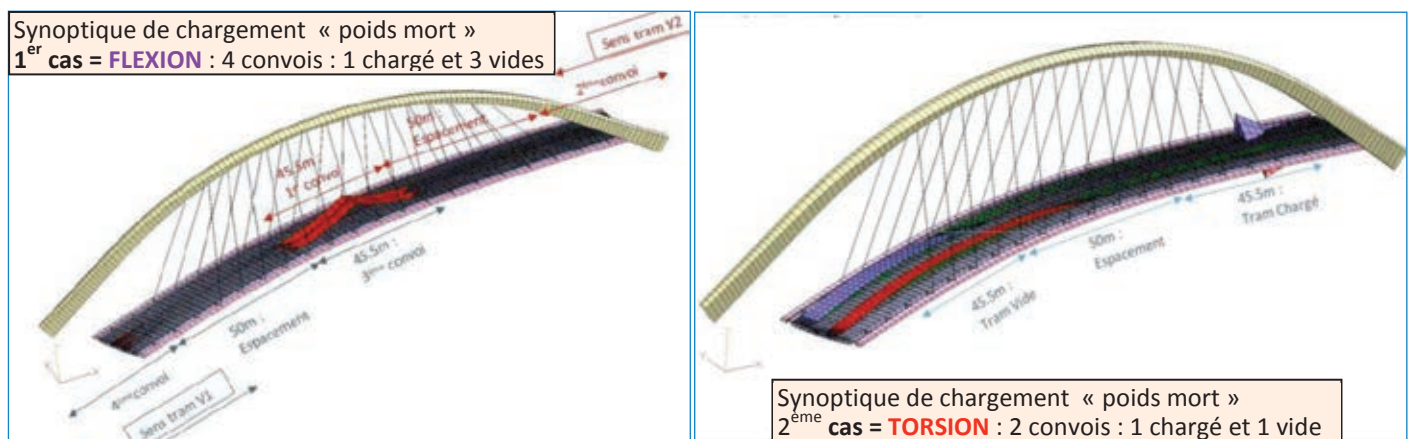
Les mesures sont faites sur à partir de points (*voir §B*) du tablier, de l'arc et des culées au cours des chargements, puis après déchargements pour calculer les déplacements réels et les écarts.

Les essais suivent un protocole organisé en 4 étapes. Ils se limitent au contrôle des éléments suivants : ① culées, ② tablier et ③ arc. **Voir résultats partiels dans le tableau de mesures §C**

Étape ① : Pré-chargement des appuis

Cette 1^{ère} étape permet de valider la bonne tenue des appuis et d'étalonner les mesures sur le tablier et l'arc en vue des étapes 2,3 et 4 qui s'en suivront.

Les culées **C0** et **C1** sont chargées successivement par des convois de tramways. Le protocole définit 2 cas de charge entraînant soit la **flexion**, soit la **torsion** du tablier. **Voir schémas ci-dessous**



Le nivellement du tablier est à effectuer avant et à l'issue des "pré-chargements", pour s'assurer de l'absence de tassements d'appuis avant de procéder à la mesure des flèches du tablier.

Voir §D et §E le planning d'enclenchement des opérations de l'étape ① avec 2 appareils (soit 2 brigades) et sa cinématique (positions des appareils) associée.

Le protocole des étapes suivantes ne sont pas développés dans cette étude :

- ② «Chargement par "**poids mort**" du tablier»
- ③ «Chargement par "**poids roulant**" du tablier»
- ④ «Essai de **freinage**»

On note que les résultats des mesures de niveau des différents points visés sont issus de la **moyenne arithmétique** établie à partir de **2 valeurs issues de 2 emplacements différents d'appareil** visant ce même point, sauf pour la **file 22** où chaque résultat est **validé pour 4 mesures**.

On note également que les cibles réfléchissantes sont placées au droit de chaque point visé sur le tablier (20 pts) et les culées (8 pts) soit **28 cibles** au total. Elles sont installées en extrados du tablier et ne doivent pas gêner le passage des convois. Pour les **6 points de l'arc**, les mesures faites à partir de l'appareil télémétrique par visée laser s'affranchissent de la pose de réflecteurs.

Voir §B: Repère des points de mesure sur les culées et le tablier et le repérage des joints de l'arc

B/ Planimétrie des mises en station, des cibles (tablier ; culées) et points visés (arc).

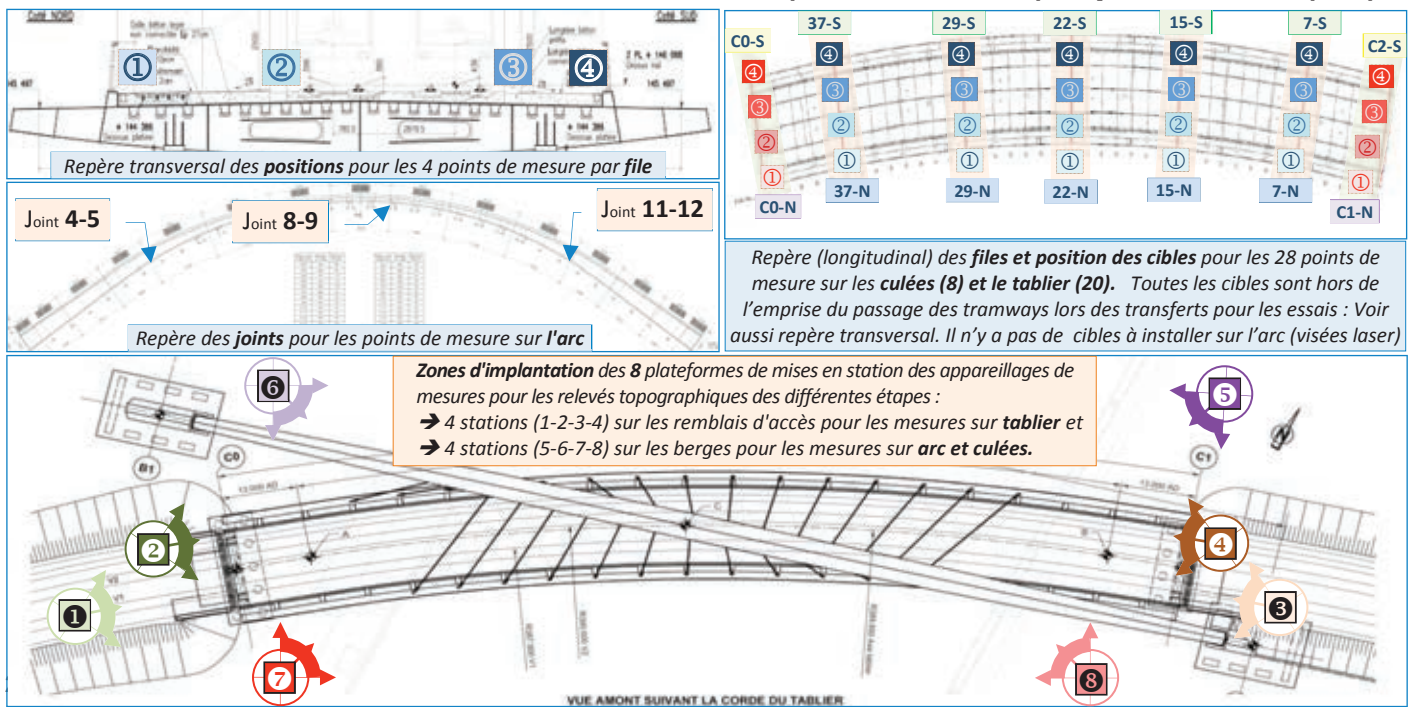


Tableau des correspondances entre les 8 mises en station et les différents points relevés sur culées, arc et tablier

N° Station	Files transversales du tablier					NB ₁ : Les mesures en tous points du tablier sont doublées et faites à partir de 2 stations, ce qui permet de valider les résultats (file 22 : 4 stations). NB ₂ : ①②③④ ; ①② et ③④ signifient les 4 pts d'une même file. "S et N" s'appliquent à l'arc. NB ₃ : Les 4 points ①②③④ sur chaque file du tablier sont visés à partir des stations ① ② ③ et ④. NB ₄ : Les 4 pts ①② et ③④ sur culées et "S" et "N" sur l'arc sont visés avec ⑤ ⑥ ⑦ ⑧.	N° Station	Culées		Joints de l'arc		
	37	29	22	15	7			C-0	C-1	4-5	8-9	11-12
①	①②③④	①②③④	①②③④									
②	①②③④	①②③④	①②③④									
③			①②③④	①②③④	①②③④							
④			①②③④	①②③④	①②③④							
⑤							③④		S	S	S	
⑥							③④		S	S	S	
⑦							①②		N	N	N	
⑧							①②		N	N	N	

C/ Tableaux des mesures de déplacements.

Les mesures des flèches sont assurées par des stations totales robotisées (type TS 50 LEICA) permettant une précision des mesures de 0,3 mm pour le tablier et de 1 mm pour l'arc. Chaque déplacement est calculé grâce aux mesures effectuées à partir de 2 stations différentes. Les tableaux ci-dessous renseignent quelques résultats de flèches et écarts. Ces mesures sont liées uniquement aux chargements en poids mort pour les vérifications en **FLEXION (4 convois)** et en **TORSION (2 convois)**. Les valeurs sont exprimées en mm.

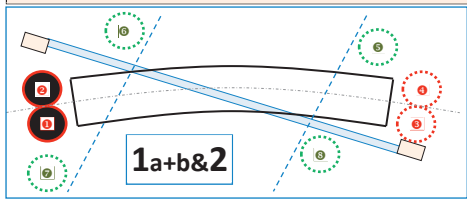
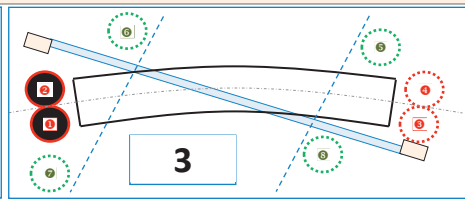
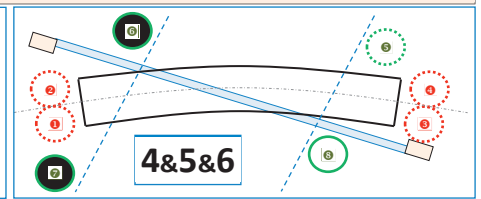
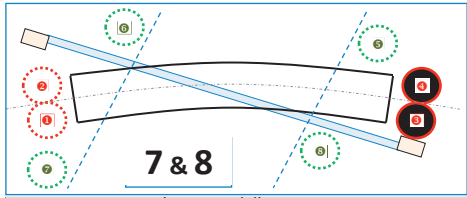
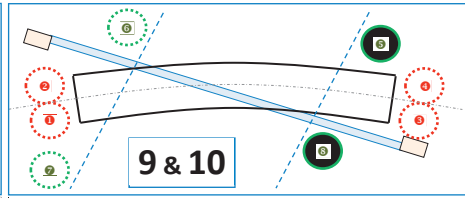
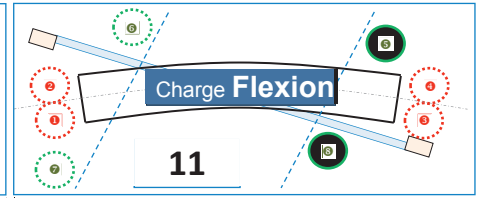
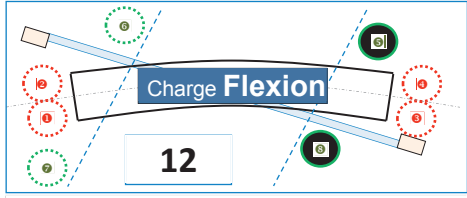
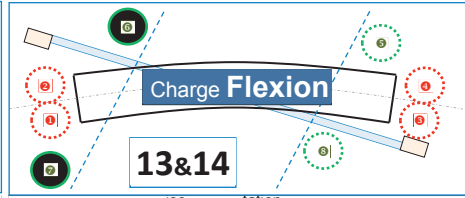
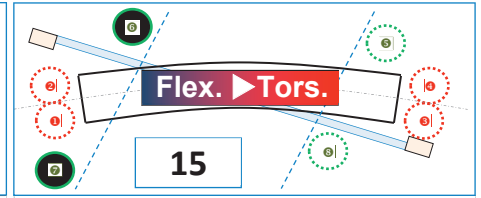
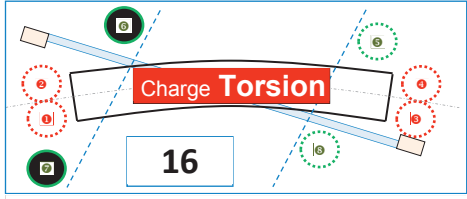
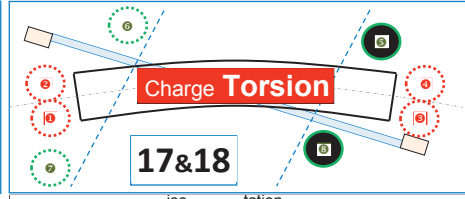
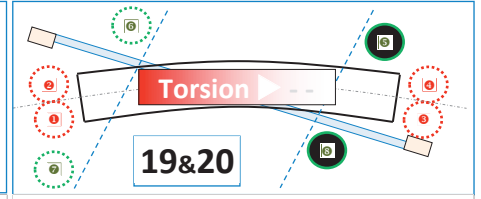
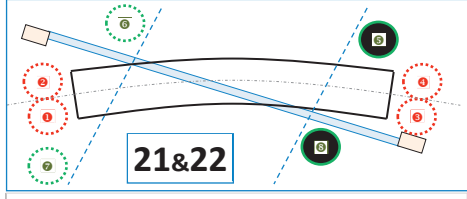
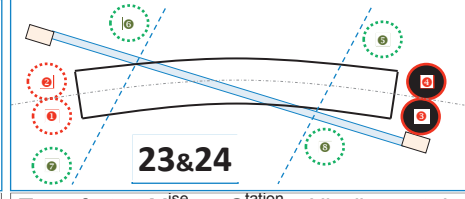
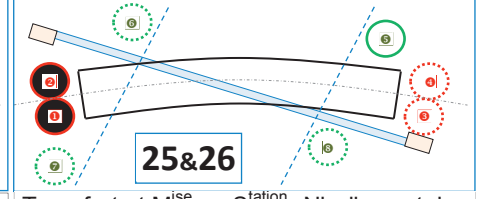
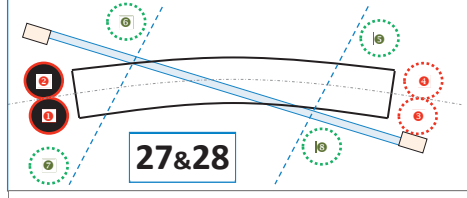
M est la valeur mesurée			C valeur théorique calculée			é : écart calculé entre M et C																				
Mesures sur tablier File 37									Mesures sur tablier File 22																	
La 1 ^{ère} ligne donne les valeurs obtenues après le chargement pour contrôle de FLEXION ; la 2 ^{ème} pour la TORSION																										
Point 1			Point 2			Point 3			Point 4			Point 1			Point 2			Point 3			Point 4					
M	C	é	M	C	é	M	C	é	M	C	é	M	C	é	M	C	é	M	C	é	M	C	é	M	C	é
-2,6	-1,4	1,2	-2,4	-1,2	1,2	-2,0	-0,6	1,4	-1,3	-0,2	1,1	-28,1	-29,9	1,8	-29,8	-29,7	0,1	-29,4	-28,9	0,5	-26,0	-28,4	2,4			
-9,9	-12,1	2,2	-9,3	-10,8	1,5	-8,1	-10,0	1,9	-4,9	+0,6	5,5	-3,6	-4,0	0,4	-4,5	-3,4	1,1	-1,6	-1,2	0,4	-0,7	+0,3	1,0			
Mesures sur la face SUD de l'arc.									Mesures des tassements sur les culées																	
Joint 4/5			Joint 8/9			Joint 11/12			Culée C0				Culée C1													
M	C	é	M	C	é	M	C	é	Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4										
+5	+5,2	0,2	-18	-17,0	1,0	+6	+5,6	0,4	0,0	0,0	0,0	-0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1										
+1	+1,1	0,1	-4	-3,5	0,5	-1	-0,7	0,3	-0,3	-0,1	0,0	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1										

D/ Description des opérations d'essais et mesures pour l'étape ①

Enclenchement des opérations de l'étape 1 avec 2 appareils (2 brigades)						
N°	Description succincte des tâches élémentaires à effectuer par la brigade en charge d'1 appareil	T. Unit équipe	Unité	Qté	Tps Total pour 1 brigade	Tps Total pour 2 brigades
Etape 1 : Pré-chargement des appuis. Contrôle de tassement des culées. Étalonnage des mesures						
1a	Préparation des plateformes pour les appareils	0,1	h / plateforme	8	0,8	0,4
1b	Marquage et installation des cibles ; géoréférencement .	0,12	h / cible installée.	28	3,36	1,68
2	Transfert et Mise en Station des appareils.	0,20	h / appareil mis en station	2	0,4	0,2
3	Mes. d'étalonnage du tablier $\Delta 0_{\text{Tablier}}$ files 37, 29, 22	0,001	h / cible visée	24	0,024	0,012
4	Transfert et Mise en Station des appareils.	0,20	h / appareil mis en station	2	0,4	0,2
5	Mesures d'étalonnage arc $\Delta 0_{\text{Arc}}$ Sud et Nord	0,005	h / point (visée laser)	12	0,06	0,03
6	Mesures d'étalonnage des culées $\Delta 0_{\text{Culées}}$ file C0	0,001	h / cible visée	8	0,008	0,004
7	Transfert et Mise en Station des appareils.	0,20	h / appareil mis en station	2	0,4	0,2
8	Mes. de nivellement du tablier $\Delta 0_{\text{Tablier}}$ files 22, 15, 7	0,001	h / cible visée	24	0,024	0,012
9	Transfert et Mise en Station des appareils.	0,20	h / appareil mis en station	2	0,4	0,2
10	Mesures d'étalonnage des culées $\Delta 0_{\text{Culées}}$ file C1	0,001	h / cible visée	8	0,008	0,004
11	Transfert convois pour charge « 0 » ► FLEXION	0,3	h / Chargement 0 → 4 convois	1	0,3	0,3
12	Mesures de nivellement des culées $\Delta 1F_{\text{Culées}}$ file C1	0,001	h / cible visée	8	0,008	0,004
13	Transfert et Mise en Station des appareils.	0,20	h / appareil mis en station	2	0,4	0,2
14	Mesures de nivellement des culées $\Delta 1F_{\text{Culées}}$ file C0	0,001	h / cible visée	8	0,008	0,004
15	Transfert convois pour charge « F » ► TORSION	0,4	h / transfert 4 → 2 convois	1	0,4	0,4
16	Mesures de nivellement des culées $\Delta 1T_{\text{Culées}}$ file C0	0,001	h / cible visée	8	0,008	0,004
17	Transfert et Mise en Station des appareils.	0,20	h / appareil mis en station	2	0,4	0,2
18	Mesures de nivellement des culées $\Delta 1T_{\text{Culées}}$ file C1	0,001	h / cible visée	8	0,008	0,004
19	Transfert convois déchargement « T » ► « 0 »	0,1	h / déchargement 2 → 0 convois	1	0,1	0,1
20	Tps de relaxation de la structure avant reprise essais	1	h	1	1	1
21	Mesures de nivellement des culées $\Delta 0'_{\text{Culées}}$ file C1	0,001	h / cible visée	8	0,008	0,004
22	Mesures de nivellement de l'arc $\Delta 0'_{\text{Arc}}$ Sud et Nord	0,005	h / point (visée laser)	12	0,06	0,03
23	Transfert et Mise en Station des appareils.	0,20	h / appareil mis en station	2	0,4	0,2
24	M. de nivellement du tablier $\Delta 0'_{\text{Tablier}}$ files 22, 15, 7	0,001	h / cible visée	24	0,024	0,012
25	Transfert et Mise en Station des appareils.	0,20	h / appareil mis en station	2	0,4	0,2
26	M. de nivellement du tablier $\Delta 0'_{\text{Tablier}}$ files 37, 29, 22	0,001	h / cible visée	24	0,024	0,012
27	Transfert et Mise en Station des appareils.	0,20	h / appareil mis en station	2	0,4	0,2
28	Mesures de nivellement des culées $\Delta 0'_{\text{Culées}}$ file C0	0,001	h / cible visée	8	0,008	0,004
L'analyse des mesures doit permettre le contrôle de ① Retour à la position initiale du tablier et de l'arc et ② Non tassement des culées. : $\Delta 0 \approx \Delta 0' \approx \Delta 1T \approx \Delta 1F$.						
L'étape ② –non décrite- concerne les essais statiques aux fins de mesurer les flèches du tablier réellement obtenues et les comparer aux flèches théoriques données par le calcul sur le modèle.						

E/ Cinématique des opérations de l'étape 1 avec 2 stations totales robotisées.

Étape 1 : Contrôle structurel des culées, tablier et arc par mesures de nivellement et visées laser pour calculer les valeurs d'étalonnage et de tassements sous les différents cas de charges : **F** ; **T**

 <p>1a+b&2</p>	 <p>3</p>	 <p>4&5&6</p>
<p>Préparation plateformes. Installation cibles. Transfert & MeS des appareils.</p>	<p>Mesures d'étalonnage du tablier $\Delta 0_{\text{tablier}}$ 12pts : (files 37;29;22)</p>	<p>Transfert+MeS ; Étalonnage culées et arc $\Delta 0_{\text{Culées}}$: 4 pts: file C0 $\Delta 0_{\text{Arc}}$: 6 pts</p>
 <p>7 & 8</p>	 <p>9 & 10</p>	 <p>Charge Flexion 11</p>
<p>Transfert et M^{ise} en S^{tation} & Étalonnage du tablier $\Delta 0_{\text{tablier}}$ 12pts : (files 22;15;7)</p>	<p>Transfert et Mise en Station ; Étalonnage des culées $\Delta 0_{\text{Culées}}$: 4 pts : (file C1)</p>	<p>Transfert et mise en place du convoi pour cas de charge FLEXION (4 tramways)</p>
 <p>Charge Flexion 12</p>	 <p>Charge Flexion 13&14</p>	 <p>Flex. ▶ Tors. 15</p>
<p>Mesures de nivellement des culées $\Delta 1F_{\text{Flexion Culées}}$ 4 pts : (file C1)</p>	<p>Transfert et M^{ise} en S^{tation} ; Nivellement des culées $\Delta 1F_{\text{Flexion Culées}}$ 4 pts : (file C0)</p>	<p>Transfert et mise en place du convoi pour cas de charge TORSION (2 tramways)</p>
 <p>Charge Torsion 16</p>	 <p>Charge Torsion 17&18</p>	 <p>Torsion ▶ -- 19&20</p>
<p>Nivellement des culées $\Delta 1T_{\text{Torsion Culées}}$ 4 pts : (file C0)</p>	<p>Transfert et M^{ise} en S^{tation} ; Nivellement des culées $\Delta 1T_{\text{Torsion Culées}}$ 4 p : (file C1)</p>	<p>Transfert du convoi de tramways, puis relaxation du tablier après déchargement</p>
 <p>21&22</p>	 <p>23&24</p>	 <p>25&26</p>
<p>Nivellement arc $\Delta 0'_{\text{Arc}}$ et culée $\Delta 0'_{\text{Culées}}$ 4 points (file C1) et 6 pts arc Nord Sud</p>	<p>Transfert et M^{ise} en S^{tation} ; Nivellement du tablier $\Delta 0'_{\text{Tablier}}$ 12 pts : (22;15;7)</p>	<p>Transfert et M^{ise} en S^{tation} ; Nivellement du tablier $\Delta 0'_{\text{Tablier}}$ 12 pts : (37;29;22)</p>
 <p>27&28</p>	<div data-bbox="574 1590 1484 2060"> <p>Les carrés numérotés et cerclés correspondent aux zones de M. en Station</p> <p>La couleur est rouge si le tablier est visé</p> <p>La couleur est verte pour les points visés des culées et arc</p> <p>Le disque intérieur est noirci si l'appareil est mis en station pour effectuer la tâche indiquée</p> <p>N&N⁺¹</p> <p>Le texte sous le schéma désigne le N° des tâches décrites au §D et donne le nombre de points à viser ainsi que leur position (N° de file ;</p> </div>	
<p>Nivellement culée $\Delta 0'_{\text{Culées}}$ 4 pts file C0</p> <p>Les cas de chargements (tâches de 11 à 20) sont indiqués par Flexion ou par Torsion sur le schéma du tablier. Les mesures données au §D sont doublées par rapport au nombre donné de pts à viser dans cette cinématique.</p>	<p>Légende des schémas de cinématique</p>	

F/ Données communes pour l'établissement des offres de prix N°1 et N°2

Main d'œuvre			
Tableau des différents taux (horaires et mensuel). Base 22j/mois et 35h/semaine.			Taux
	Technicien opérateur géomètre		28,42 € / heure
	Compagnon aide-opérateur		21,16 € / heure
	Cadre ingénieur chef de projet <i>payé au mois</i>		11580,80 € / mois
Frais de déplacement			
	Frais de déplacement pour personnels ETAM et ouvriers		35 € / jour
	Frais de repas pour Cadre et ETAM		18,30 € / jour
Matériels et consommables			
	Petits consommables pour le marquage et cibles des culées et tablier.		78,00 € forfait
	Petits consommables pour les appareils (batteries, etc)		2,20 € / appareil
	Matériaux divers pour aménagement des plateformes.		150,00 €
	Appareil télémétrique LEICA TS50 en location		400 € / jour
	Appareil de capture 3D LEICA RTC360 en location		1500 € / jour
	Journée de formation (appareils et logiciels)		1200 € / jour
	Véhicules 4 places (location mensuelle en leasing -base d'utilisation 15j/mois)		300 € / mois
	Véhicule de service pour cadre : comptabilisé dans les frais généraux		-
Données complémentaires			
	Appareil de capture 3D LEICA RTC360, compris suite logicielle, maintenance et formation des personnels avec durée d'utilisation garantie de 3 ans		100000 €
	Coefficient frais généraux (coûts indirects) appliqué sur tous les déboursés.		18,2%
Selon les accords d'entreprise, les "heures supplémentaires" sont rémunérées pour les ETAM et ouvriers comme suit :	Durée du tps de travail	> 7h/j	> 10h/j
	Majoration	25%	50%
Données spécifiques pour l'établissement des offres de prix N°1 et N°2			
Étude N°1		Étude N°2	
L'opération complète (Étude du projet, préparation, encadrement in situ et rédaction du rapport d'essais suite aux résultats) nécessite 3 journées de travail –dont 1 sur le terrain et 2 pour les études au bureau- pour l'ingénieur responsable.		L'opération complète et rédaction du rapport d'essai après analyse des résultats et rendu du fichier IFC) nécessite 3 journées de travail -dont 2,5 journées d'études au bureau- pour l'ingénieur. A cela, s'ajoute une journée de formation pour découvrir appareils et logiciels d'exploitation des données.	

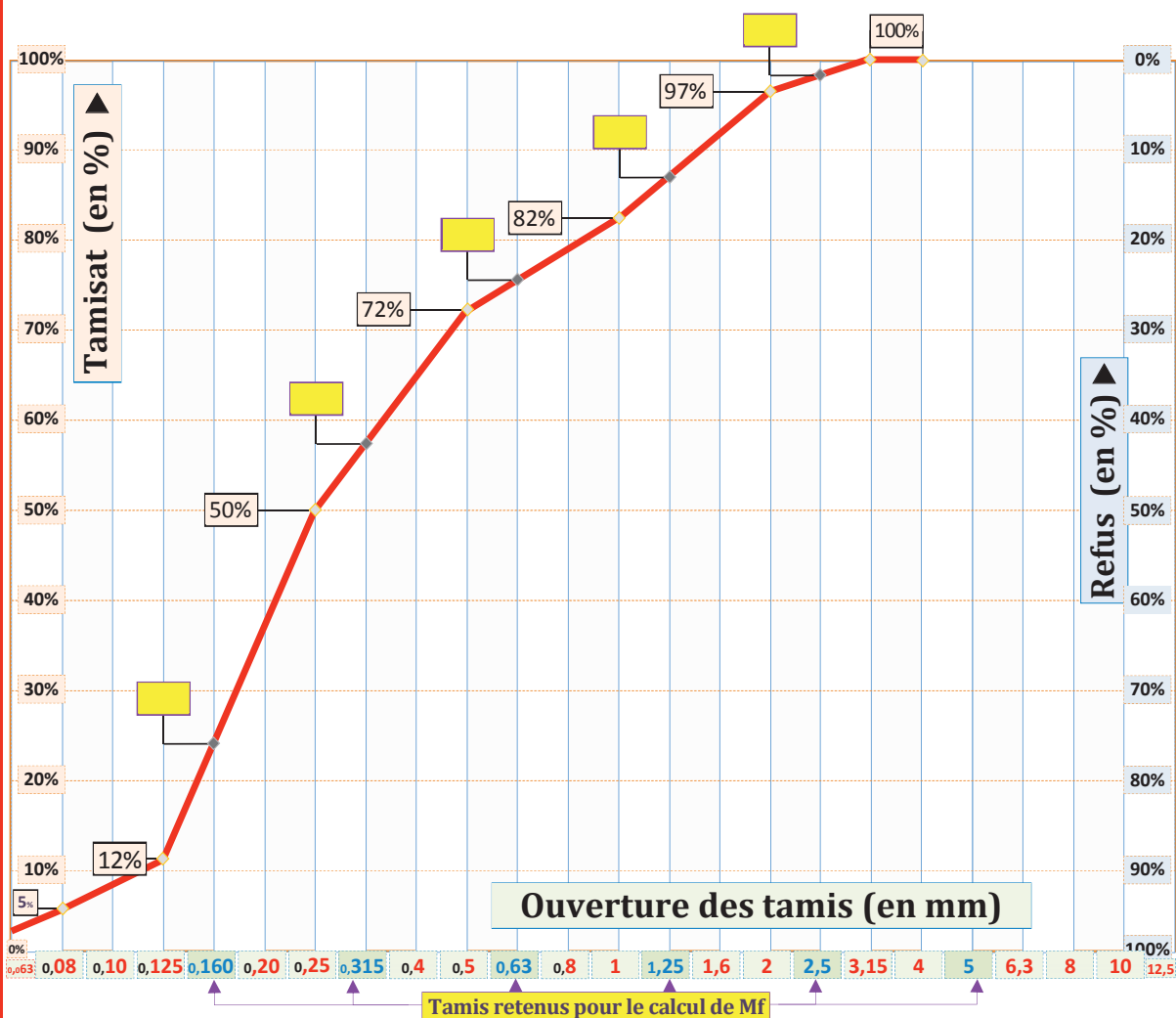
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Doc Réponse DR1 ▲ Étude 3 : Étude des bétons & composants ▲ **Question 10** ▲

⇒ Calculer la MV théorique des 3 bétons frais et en déduire la validation –ou non- de la formulation pondérale.

Doc Réponse DR1 ▲ Étude 3 : Étude des bétons & composants ▲ **Questions 11-12** ▲

Q11 : ⇒ Établir la courbe granulométrique du sable S② à partir du tableau de ses mesures d'essais.



Q12 ⇒ Calculer les modules de finesse Mf ① et Mf ② des sables S① et S②

Q12 ⇒ Établir la courbe granulométrique théorique du mélange granulaire « sable 0/4 recomposé

Doc Réponse DR1 ▲ Étude 3 : Étude des bétons & composants ▲ Question 13 ▲

⇒ Démontrer que la valeur $14,5 \text{ MJ/m}^3$ correspond à la Q. d'énergie nécessaire pour fabriquer 1 m^3 de B. en centrale

Impact (Énergie non Renouvelable) de la fabrication d'1 m³ de béton en centrale

Données ↓ Origine ►	Hoerdt	Entzheim	Strasbourg
Puissance en kW	243	224	274
Production en m ³ /h	60	56	68

Quelle que soit la moyenne trouvée à l'issue des calculs précédents, la valeur de la Q. d'énergie à prendre en compte pour fabriquer 1 m^3 de béton en centrale est : **14,5 MJ/m³**

Doc Réponse DR1 ▲ Étude 3 : Étude des bétons & composants ▲ Question 14 ▲

⇒ Évaluer les impacts ÉnR et réchauffement global pour le processus complet de fabrication du béton.

Impact (Énergie non Ren.) du transport des Granulats et Ciments par camion

		Granulats		Ciment
	Impact Unit	Quant.	Distance	Total Imp
Origine ▼	t.km/m ³	En t.	En km	
Entzheim	0,105	1,95	2	274
Strasbg				68
Hoerdt				

Impact (Réchauffement global en kg éq CO².) du transport des G et C par camion

Granulats	Ciment
-----------	--------

Impact (Énergie non Ren.) du transport d'1 m³ de béton par camion

Impact (ÉnR et RG) pour 1 m³ de béton à prendre en compte dans le bilan E+C-

Énergie non Renouvelable en MJoules Réchauffement global en kg éq CO².

Entzheim

Strasbourg

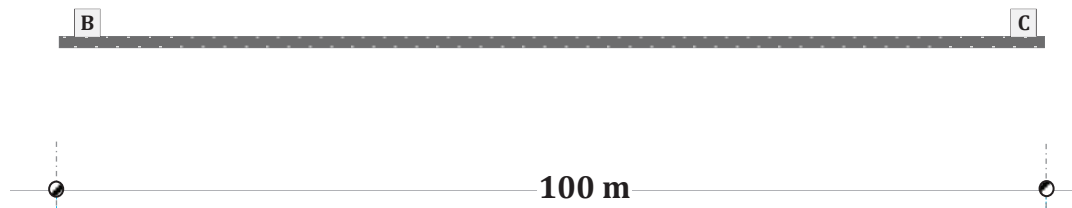
Hoerd

⇒⇒⇒ Conclusion : _____

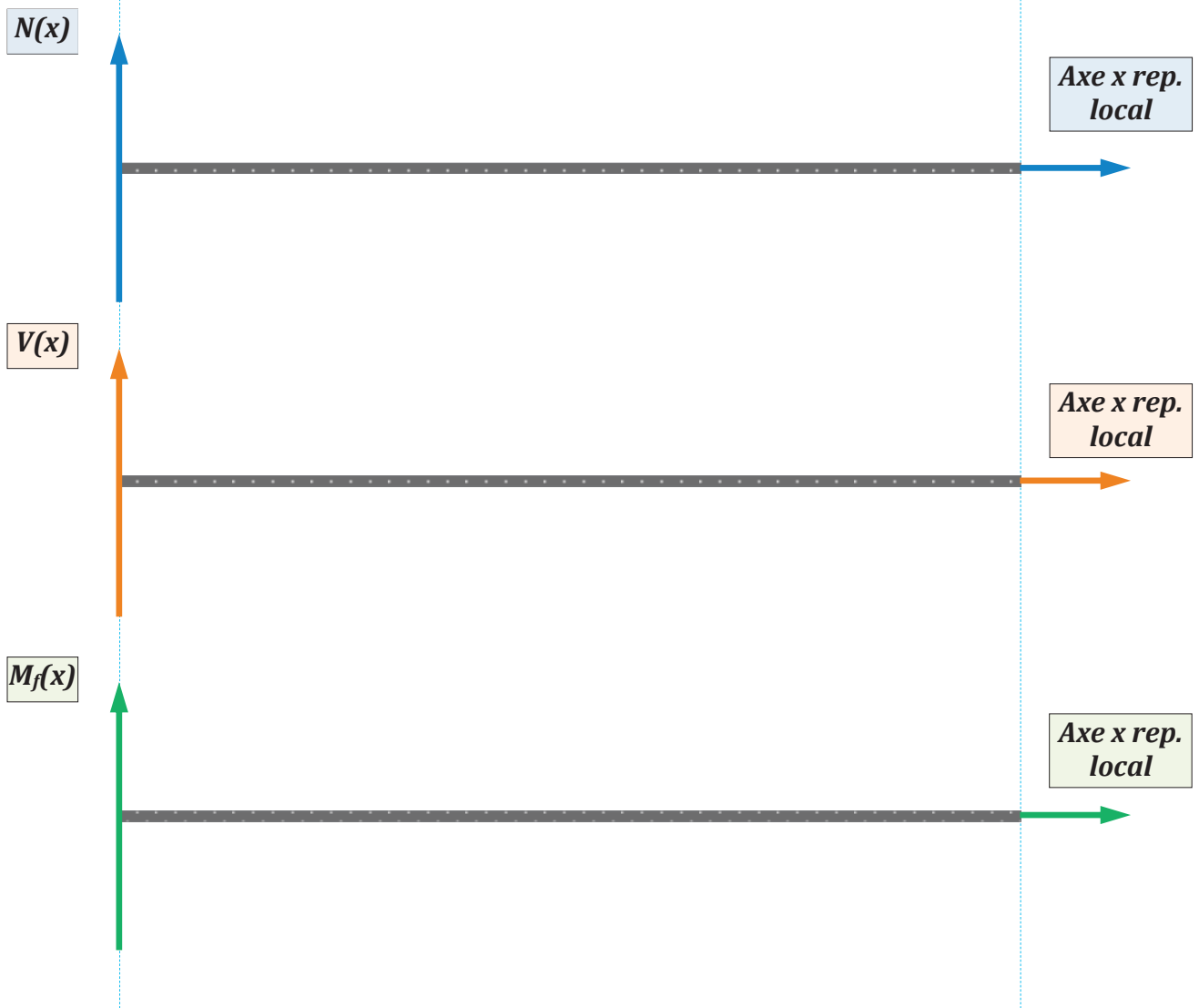
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

⇒ Tracer les graphes correspondants

Toutes les actions extérieures au système BC sont à indiquer sur le schéma mécanique (sans éch.) ci-dessous.



Tous les graphes $N(x)$, $V(x)$, $M_f(x)$ sont à tracer ci-dessous avec les valeurs caractéristiques (sans échelle)



Les zones de contraintes maximales sont situées :

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Doc réponse DR3 ▲ Étude 6 : Coût des essais de convenance ▲ **Questions 23 et 24** ▲

		Format 1 : 1 Ing ; 2 OG ; 1 aide				Format 2 : 1 ingénieur			
Main d'œuvre		Nb H	H à payer	Q	Coût T.	NbH	Hàp.	Q	Coût T.
Taux h. personnels									
Opérateur Géomètre	28,42 €/h								
Aide Op. Géomètre	21,16 €/h								
Taux journée cadre		Sur site	au BET			Site	BET		
Ingénieur	526,4 €/j	1	2	1	1579,2				
Coût total Main d'oeuvre HT					2651,70	Coût total			
Matériels locations		Prix /..	Nb j	Q	Coût T.	P /..	Nb j	Q	Coût T.
Coût total HT matériels						Coût total			
Matériaux et consommables		Prix U		Q	Coût T.	Px/ j	Nb j	Q	Coût T.
Coût total mat ^{ériaux} et conso. HT						Coût total			
Divers		Prix U	Q		Coût T.				
Frais de déplacement OG + aide									
Coût total divers HT						Coût total			
Total global HT						Total HT			
Données complémentaires									
Coefficient FG appliqué sur tous les déboursés, frais d'études et divers		18,20%	Total FG HT			Total FG HT			

Prix de revient HT format 1

Prix de revient HT format 2