

CORRIGE

- . **Ces éléments de correction n'ont qu'une valeur indicative. Ils ne peuvent en aucun cas engager la responsabilité des autorités académiques, chaque jury est souverain.**

Table des matières

1	Plateforme : sol et fondations (55 points)	2
1.1	Étude des sols (10 points)	2
1.2	Pieux du chevêtre (25 points)	2
1.3	Tirants d'ancrage (20 points)	5
2	Plateforme en béton armé (70 points)	7
2.1	Bétons de la plate-forme (10 points)	7
2.2	Armatures de principe de la poutre (20 points)	7
2.3	Phasage de réalisation de la plate-forme (40 points)	9
3	Mur de soutènement (30 points)	11
3.1	Analyse des constituants (15 points)	11
3.2	Variante « mur préfabriqué » (15 points)	12
4	Plate-forme : remblai et chaussée (45 points)	13
4.1	Remblai et couche de forme (30 points)	13
4.2	Chaussée (15 points)	14

Avertissement : cette correction n'est fournie qu'à titre indicatif, d'autres réponses sont possibles. En particulier pour les phasages et les choix technologiques.

Table des matières

1	Plateforme : sol et fondations (55 points)	2
1.1	Étude des sols (10 points)	2
1.2	Pieux du chevêtre (25 points)	2
1.3	Tirants d'ancrage (20 points)	5
2	Plateforme en béton armé (70 points)	6
2.1	Bétons de la plate-forme (10 points)	6
2.2	Armatures de principe de la poutre (20 points)	6
2.3	Phasage de réalisation de la plate-forme (40 points)	8
3	Mur de soutènement (30 points)	10
3.1	Analyse des constituants (15 points)	10
3.2	Variante « mur préfabriqué » (15 points)	11
4	Plate-forme : remblai et chaussée (45 points)	12
4.1	Remblai et couche de forme (30 points)	12
4.2	Chaussée (15 points)	13

Avertissement : cette correction n'est fournie qu'à titre indicatif, d'autres réponses sont possibles. En particulier pour les phasages et les choix technologiques.

1 Plateforme : sol et fondations (55 points)

1.1 Étude des sols (10 points)

1. Définir les caractéristiques mesurées dans le tableau suivant, citer les essais qui permettent de les obtenir (8 points) :

Caractéristiques	Définition	Essai
C_u	Cohésion non drainé	Essai non drainé : – boîte de Casagrande – triaxial
c', φ'	Caractéristique de la courbe intrinsèque d'un sol cohérent donnant : $\tau = \sigma' \tan \varphi' + c'$	– triaxial
p_l	pression limite	– pressiomètre
E	module pressiométrique	– pressiomètre

2. Expliquer ce qu'est une vase consolidée, et avec quel essai peut-on déterminer son degré de consolidation (2 points) ?

C'est une vase qui a été chargée et qui a tassé sous ce chargement. Elle s'est consolidée, son indice des vides a diminué. L'essai œdométrique permet de déterminer la pression de consolidation.

1.2 Pieux du chevêtre (25 points)

1. Calculer à la main la longueur minimum nécessaire du pieu A sachant que le toit du substratum est à $-21,750$ N.G.F.. Faire un schéma faisant apparaître le détail du calcul (5 points).

Pieu	Détail	Longueur
A : N° 6035	$0,711 + 21,75 + 1,02 - 0,329 + 1,000$	24,15m

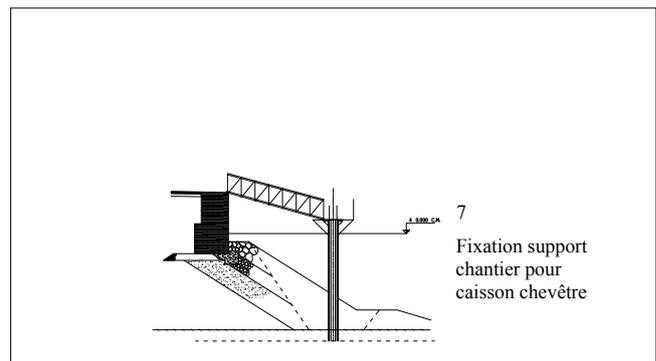
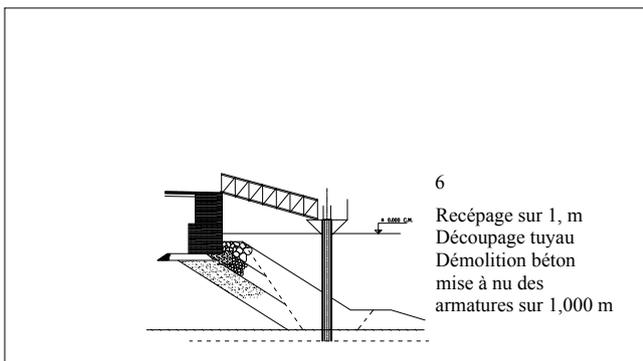
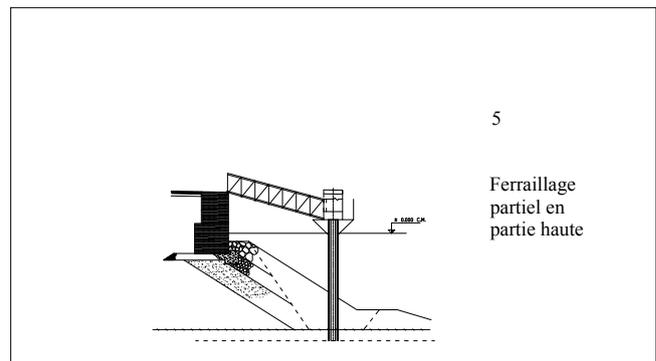
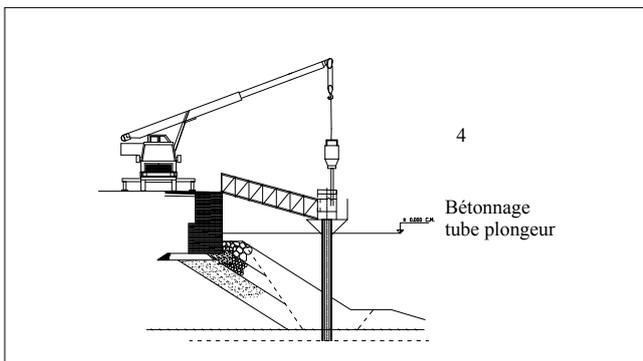
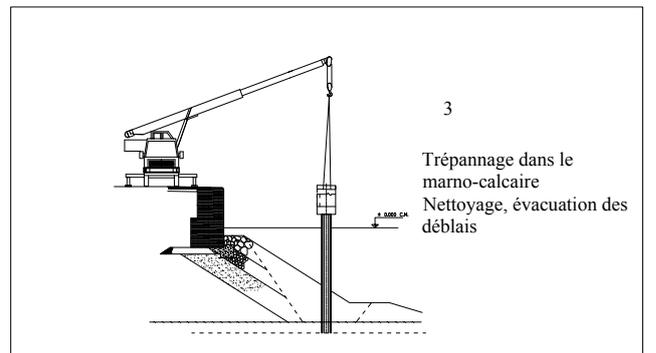
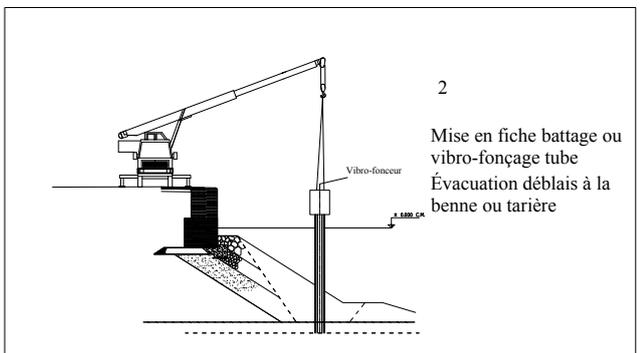
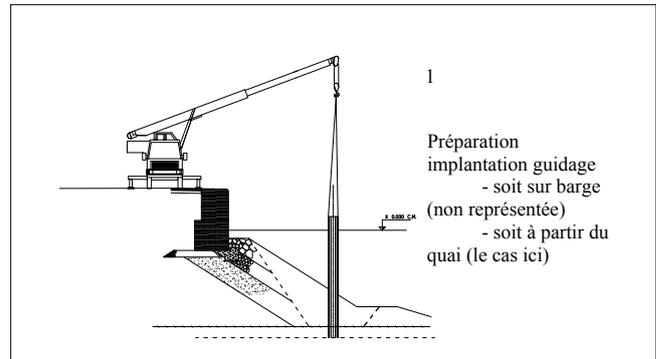
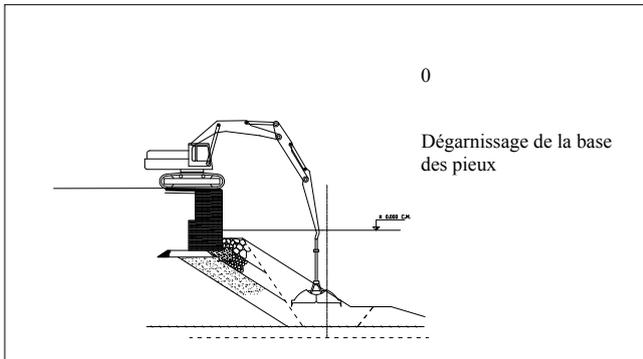
$$0,711 + 21,750 + 1,020 - 0,329 + 1,000 = 24,150$$



FIG. 1 – Calcul de la longueur du pieu A, attention, pivoté de 90° pour la mise en page

2. Établir, à l'aide de schémas commentés, le mode opératoire d'exécution d'un pieu, jusqu'au recépage compris.

Vous préciserez : les matériels utilisés, les outils, les opérations élémentaires, les contrôles, les niveaux (15 points).



3. Le pieu étant recépé, proposer à l'aide de croquis explicatifs sur les figures ci-dessous, un système de support intermédiaire du chevêtre préfabriqué, fixé en tête du pieu et assurant une surface d'appui suffisante au chevêtre pendant les phases de réalisation de la plateforme (5 points).

Tout système mécano-soudé équivalent est valable.

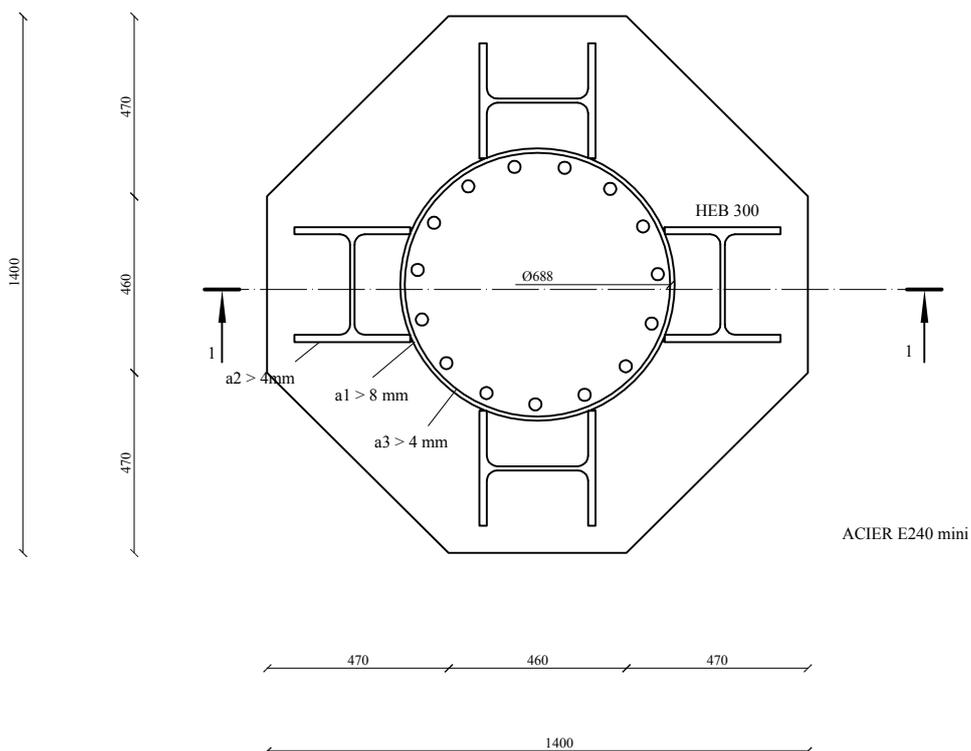
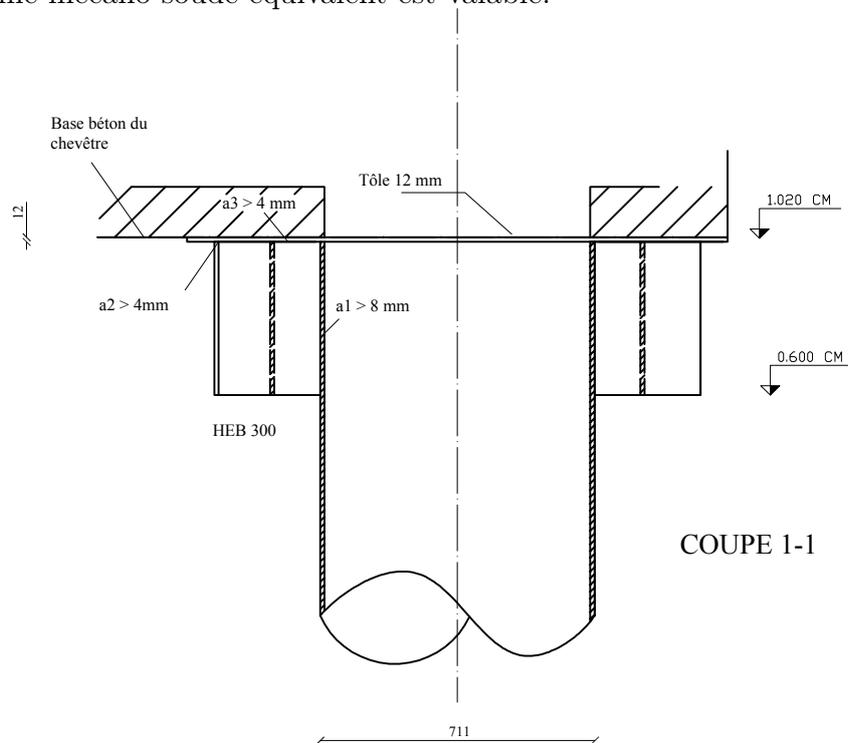


FIG. 2 – Solution de disposition des têtes de pieux (solution entreprise)

1.3 Tirants d'ancrage (20 points)

1. S'agit-il d'un tirant actif ou passif? Justifier ce choix ici (2 points).

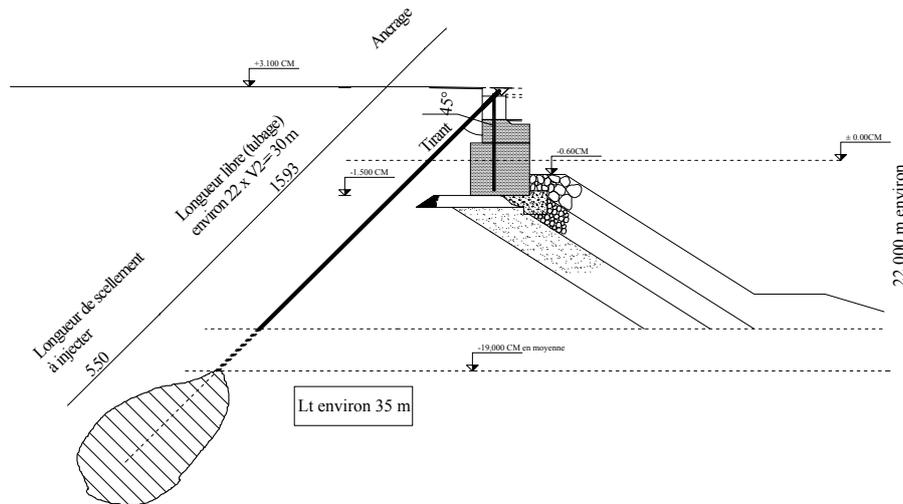
Il s'agit naturellement d'un tirant actif, car il est nécessaire d'avoir aucun déplacement en tête de mur. De plus, la force de précontrainte vaut 1800 kN pour un tirant.

2. Représenter sur la figure ci-contre (15 points) :

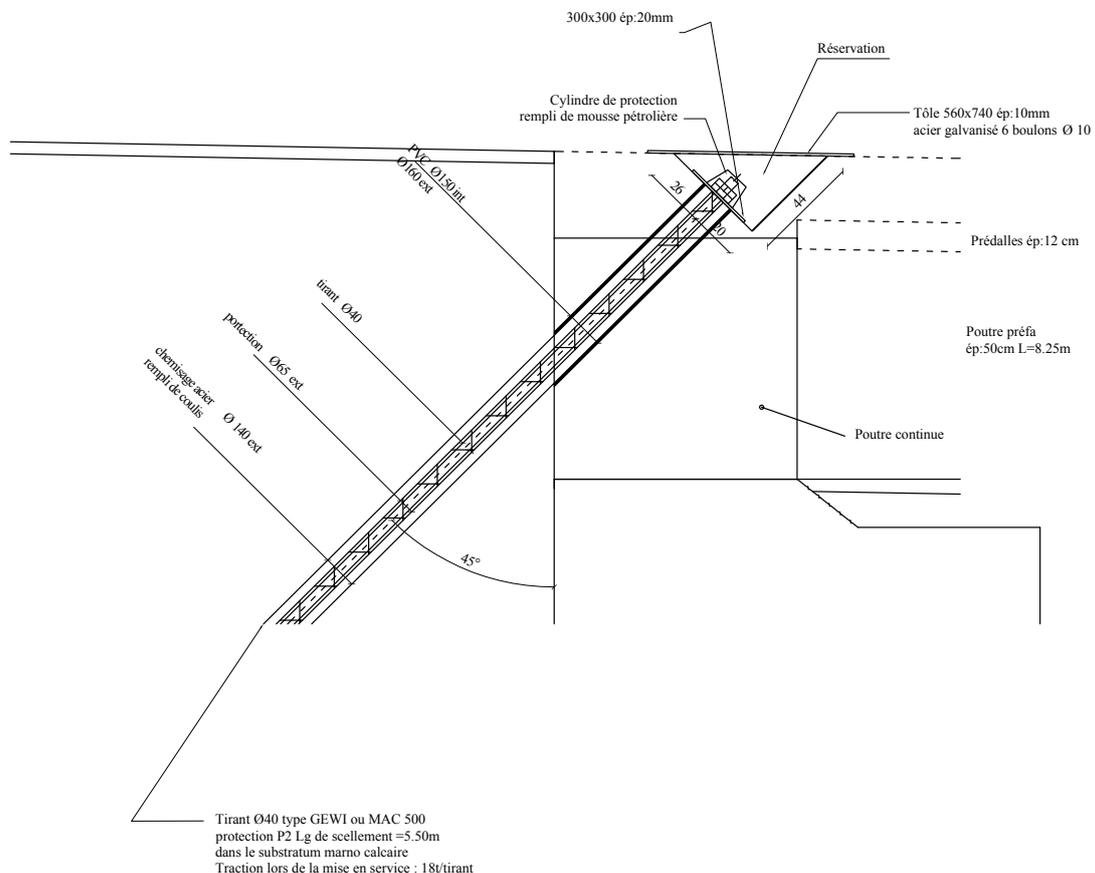
– en coupe transversale à la plate-forme, le tirant, en mettant en évidence les 3 parties constitutives d'un tirant d'ancrage et ses dimensions approximatives,

– le détail de la tête du tirant dans la poutre arrière et les réservations à prévoir,

en précisant les principaux composants, leurs positions



(a) Vue générale de l'implantation du tirant



(b) Vue de détail du tirant

FIG. 3 – Tirant d'ancrage (solution entreprise)

3. *Lister le matériel nécessaire à sa mise en œuvre (3 points).*

Pour le matériel de mise en œuvre :

- foreuse, avec une tête orientable permettant le forage sous le quai depuis la berge ;
- matériel d'injection : pompe à béton et malaxeur ;
- vérin de mise en tension.

2 Plateforme en béton armé (70 points)

2.1 Bétons de la plate-forme (10 points)

À partir des extraits de la norme NF EN 206-1 et de vos connaissances sur les matériaux (granularité, consistance), remplir le tableau suivant p. 6 pour les différents bétons. On précise que le ciment utilisé n'est pas un CEM III.

Partie d'ouvrage	Classe d'exposition	Classe de résistance	Granularité (D_{max})	Classe de consistance	Classe de chlorures
Béton de structure : dalles, poutres, chevêtres	XS3	C 35/45	20	S2	Cl 0,4
Béton de pieu	XS2	C 30/37	20	S3	Cl 0,4

2.2 Armatures de principe de la poutre (20 points)

Effectuer, sur les figures ci-dessous, les dessins des armatures de principe (de la partie préfabriquée et de la partie coulée en place) de façon à assurer des encastresments sur le chevêtre et la poutre continue. Placer aussi :

- les armatures de peau ;
- les boucles de levage ;
- les aciers transversaux.

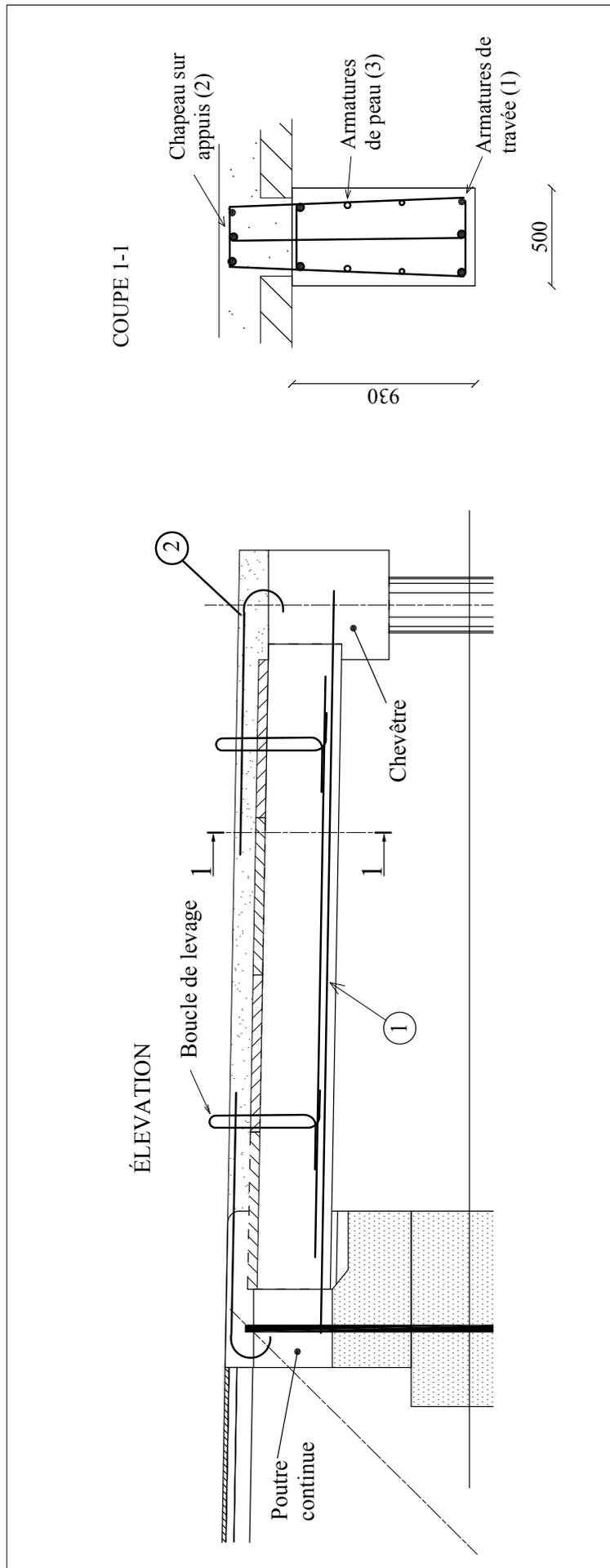


FIG. 4 – Armatures de principe de la poutre préfabriquée

2.3 Phasage de réalisation de la plate-forme (40 points)

Établir le phasage de réalisation de la plate-forme à partir du moment où les pieux sont terminés y compris les têtes. La représentation restera schématique. Il est inutile de définir avec précision le contour des pièces.

- plusieurs phases peuvent être représentées sur une vue ;
- à chaque phase, on noircira uniquement les éléments à réaliser ;
- aucune cote ;
- légènder chaque phase sous la figure.

1 : Démolition ancien quai sur 21,000 m jusqu'au minimum +1,74 CM, au BRH
 2 : Forages ancrages (10), à la foreuse, assises locales des poutres (8)

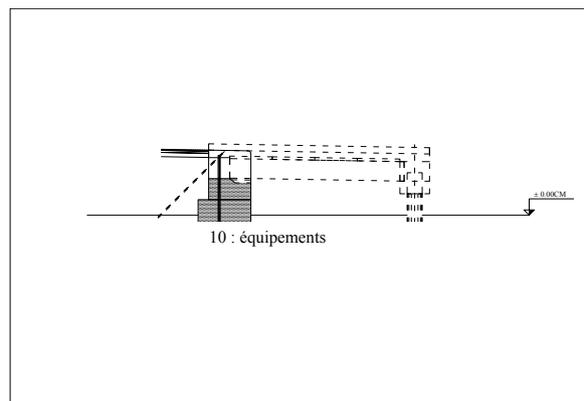
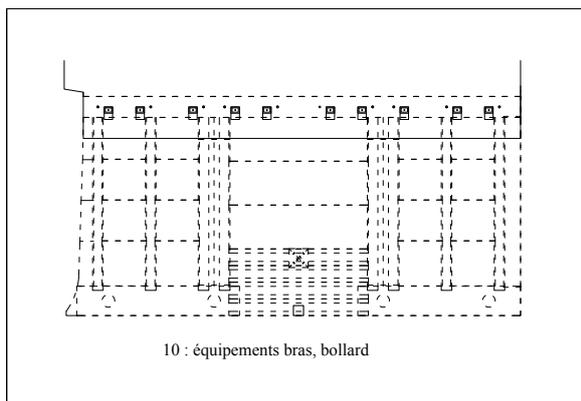
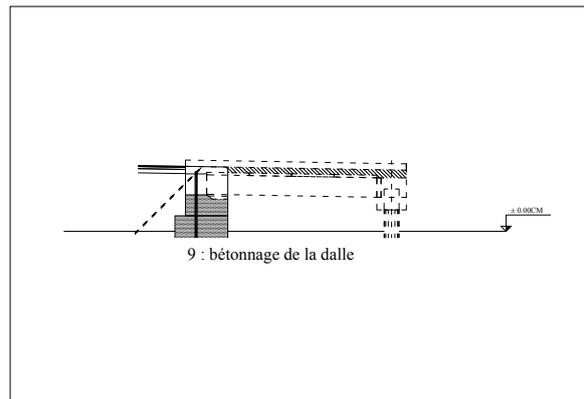
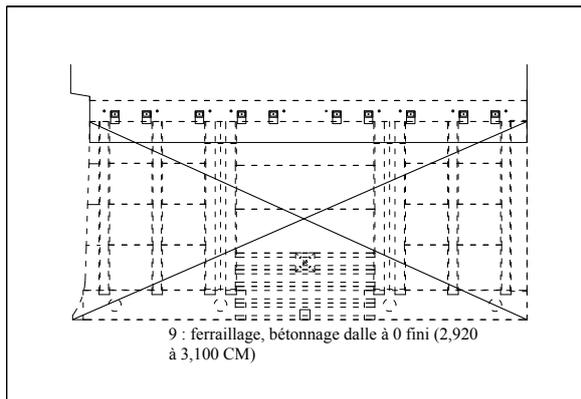
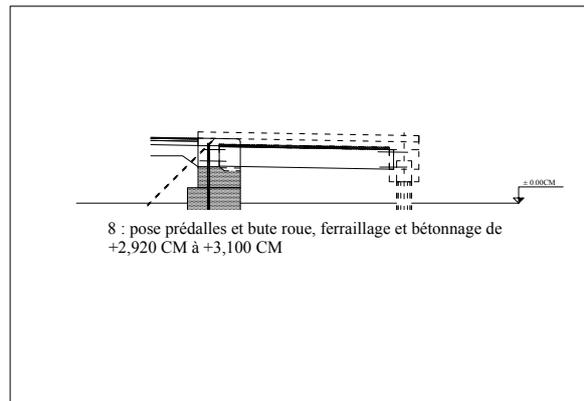
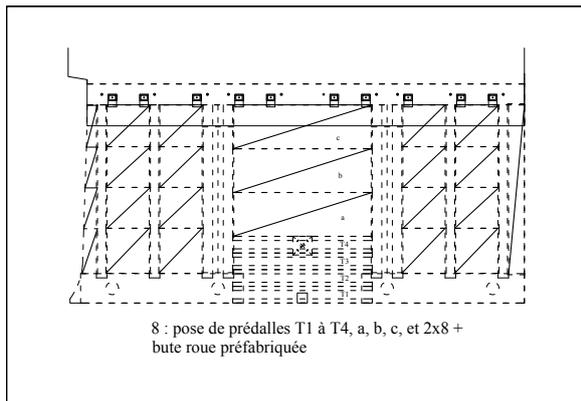
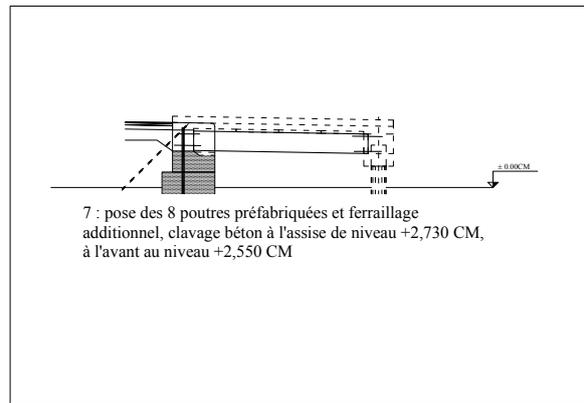
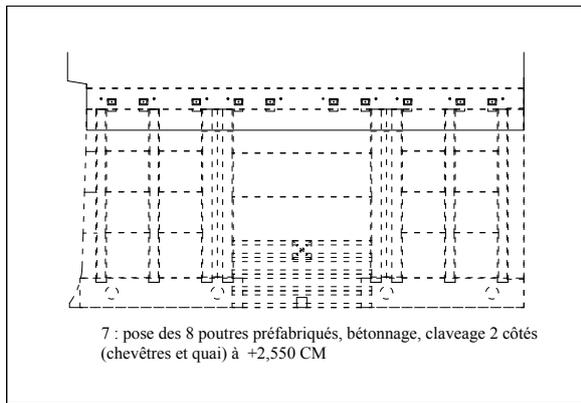
1 : Démolition ancien quai sur 21,000 m jusqu'au minimum +1,74 CM, au BRH
 2 : Forages ancrages (10), à la foreuse

3 : Réalisation poutre arrière
 4 : 10 tirants d'ancrages
 5 : assise poutres

3 : Ferrailage, coffrage béton de la poutre arrière avec réservation pour tirants (PVC Ø 150) matériel de coffrage et de levage traditionnel (sur pneus)
 4 : Tirants, foration, tirant gainé, coulis pression, ancrage, foreuse, pompe (coulis)
 5 : assises poutres

6 : pose des 2 chevêtres caissons, ferrailage et béton de clavage, têtes de pieux, chevêtres à +1,620 CM, ferrailage

6 : pose des 2 chevêtres caissons, ferrailage et béton de clavage avec les pieux à la grue



3 Mur de soutènement (30 points)

3.1 Analyse des constituants (15 points)

Pour les éléments suivants, donner la fonction principale et les qualités nécessaires pour remplir cette fonction dans le temps :

- *micro-pieux* ;
- *géotextile* ;
- *enrochements* ;
- *barbacanes*.

	Fonction	Qualités nécessaires
Micropieux	Stabilité du mur : au glissement, en rotation	<ul style="list-style-type: none"> – ancrage : scellement au substratum ; – résistance à la traction : section minimale ; – durabilité vis à vis de l'exposition aux chlorures.
Géotextile	Filtre pour éviter départ des fines entre le remblai et la carapace des blocs	<ul style="list-style-type: none"> – résistance à la traction : poinçonnement ; – durabilité vis à vis de l'exposition à l'eau.
Enrochement	Carapace de protection destinée à dissiper l'énergie de la houle	<ul style="list-style-type: none"> – masse : assurer la stabilité ; – ingéivité ; – non friabilité.
Barbacanes	Évacuation des eaux de drainage en partie arrière du mur pour éviter sa mise en pression	<ul style="list-style-type: none"> – débit assuré ; – pas d'obstruction ; – entretien facile.

3.2 Variante « mur préfabriqué » (15 points)

À l'aide d'un schéma explicatif (coupe), proposer une solution pour assurer les réglages, le maintien pendant le coulage, la liaison entre mur et semelle, la manutention ; les éléments font 2,500 m de longueur. On ne demande que la coupe de principe.

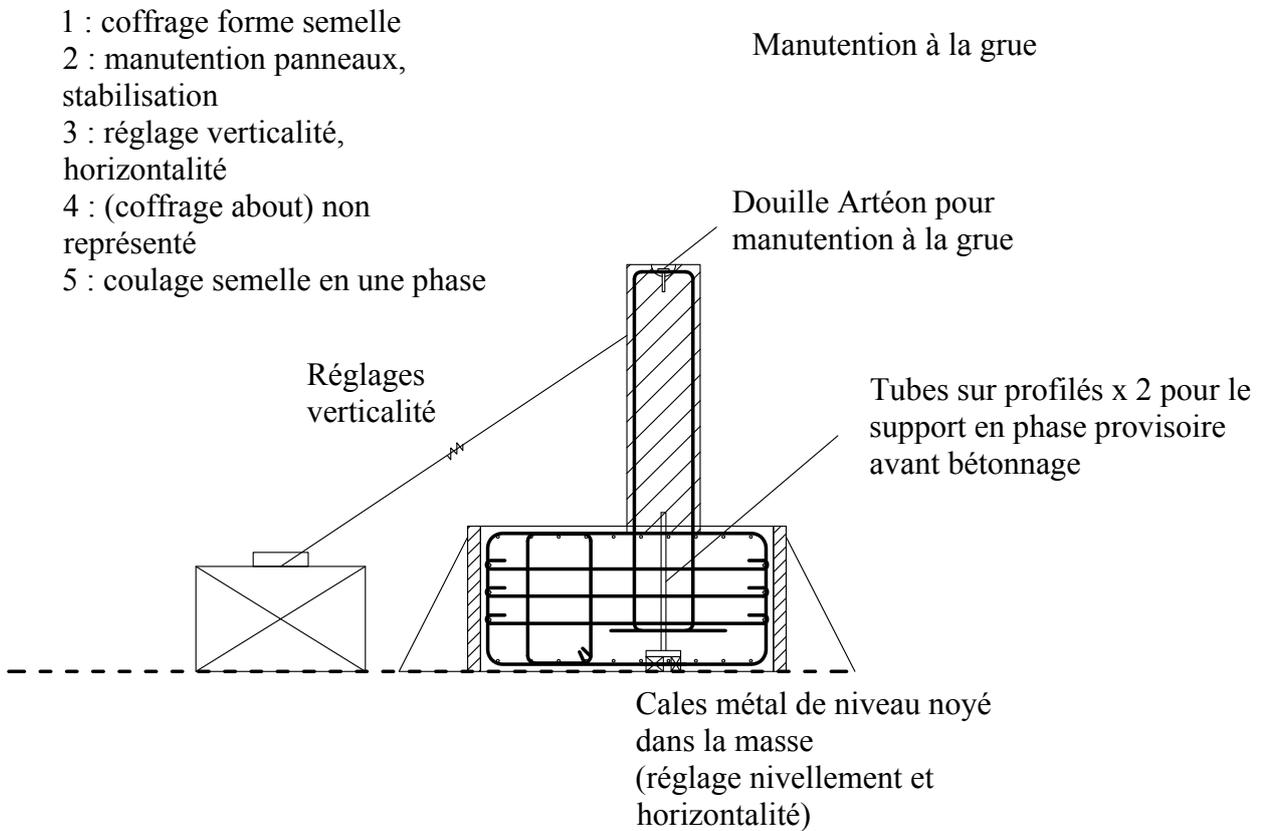


FIG. 5 – Variante

4 Plate-forme : remblai et chaussée (45 points)

4.1 Remblai et couche de forme (30 points)

1. Déterminer la classe des deux matériaux, sol 1 et sol 2, issus du chantier voisin en justifiant la réponse (4 points).

On utilise le premier diagramme (matériaux A,B,D) car le plus gros diamètre des deux sols est inférieur à 50 mm (cf. DT 15) :

- Sol 1 : B_5h car sur le tableau synoptique, la 1^{er} abaque donne pour le point de coordonnées (passant à $80 \mu\text{m}=30\%$, $VBS=0,9$) : $12\% < 30\% < 35\%$; $0,2 < VBS < 1,5$

→ B_5

indice h car humide ;

- Sol 2 : A_2h car sur le tableau synoptique, la 1^{er} abaque donne pour le point de coordonnées (passant à $80 \mu\text{m}=65\%$, $VBS=3$) : $35\% < 65\%$; $2,5 < VBS < 6$

→ A_2

indice h car humide ;

2. Les trois compacteurs conviennent-ils pour la réalisation du remblai ? Déterminer la productivité en m^3/h du compacteur V2 mono-bille avec une efficacité de 0,6. Préciser les consignes de compactage (épaisseur des couches, vitesse et nombre de passes) ainsi que la valeur du rapport Q/S (12 points).

Le tableau « conditions d'utilisation des matériaux en remblai » pour le matériau B_{5m} indique (cf. DT16) :

- C : compactage moyen

- code :	E	G	W	T	R	C	H
	0	0	0	0	0	2	0

Les compacteurs V1 et V2 conviennent mais VP2 ne convient pas (signe 0 dans le tableau DT17).

Pour le compacteur V2, on lit à la ligne « Energie de compactage moyenne – code 2 » (cf. DT17) :

$Q/S=0,05$	[m]
$e = 0,3$	[m]
$V = 2$	[km/h]
$N = 6$	[-]
$Q/L=100$	[m ³ /h.m]

$Q_{\text{prat}} = k \times (Q/L) \times L \times N/n$ avec :

- $k = 0,6$, coefficient d'efficacité ;
- $Q/L = 100 \text{ m}^3/\text{h.m}$
- $L = 2,000 \text{ m}$ pour le V2
- $N/n = 1$ pour un mono-bille

On obtient donc la productivité pratique :

$$Q_{\text{prat}} = 0,6 \times 100 \times 2 \times 1 = 120 \text{ m}^3/\text{h}$$

3. Déterminer et justifier la classe de la partie supérieure des terrassements (PSTi) et la classe de l'arase de terrassement (ARi) (7 points).

B_{5m} donne PST N°2 et AR1 (DT 18).

4. Déterminer l'épaisseur de la couche de forme. Préciser les éventuels traitements granulaire (G), à l'eau (W), aux liants (T) ainsi que le traitement de surface (S) (7 points).

On adopte la solution 1 qui ne comporte pas de traitement aux liants. On éliminera les granulats de plus gros diamètre par criblage. L'épaisseur est de 0,300 m car on interpose un géotextile. Cela permet de réduire de 20 cm l'épaisseur de la couche de la forme (cf. DT19).

- couche de forme : $D_{31}m$
 - PST 2
 - AR1
 - code
- | G | W | T | S |
|---|---|---|---|
| 3 | 0 | 0 | 0 |

4.2 Chaussée (15 points)

1. Quels engins seront utilisés pour la mise en place des remblais derrière l'ouvrage (2 points) ?

On fera attention au compactage trop violent en arrière du mur : compacteurs à main.

2. Comment vérifie-t-on la portance de la plate-forme avant de mettre en place les couches de chaussée ; décrire succinctement l'essai et les caractéristiques mesurées (3 points).

Essai à la plaque réalisé avec un camion, plaque et vérin. Cet essai fournit un module de portance qui est ensuite comparé aux valeurs obtenus sur des chantiers similaires.

3. Qu'est-ce qu'une émulsion de bitume ? Quel est son intérêt (2 points) ?

C'est une dispersion de bitume dans de l'eau. Elles présentent une faible viscosité et une maniabilité à température ambiante qui rendent son utilisation propice en travaux publics.

4. Que signifie BBSG 0/10 (2 points) ?

Béton Bitumineux Semi Grenus : 0/10 définit l'aspect du spectre granulaire pour la formulation de graviers, sable.

5. Que représentent les fourchettes de valeurs : 40/50, 60/70, 180/220, pour les bitumes ? Quel essai les détermine (le citer) (3 points) ?

Désigne la pénétrabilité, par exemple :

- 40/50 : bitume dur, pour enrobé ;
- 180/220 : bitume très mou, pour émulsion.

Essai de pénétrabilité : le chiffre indique le $1/10^e$ de mm l'enfoncement d'une aiguille à la surface du bitume à 25° .

6. Pour chaque couche, indiquer le matériel nécessaire à chaque opération de mise en œuvre (3 points). Par ordre de réalisation :

- grave émulsion 0/31.5 ép. 20 cm : nivelleuse, compactage à pneus
- grave non traité 0/20, ép. 10 cm : nivelleuse, compacteur lisse
- couche d'accrochage : répandage à la rampe
- BBSG ép. 6 cm : finisseur, compactage à pneus ou cylindre lisse