



Construction du viaduc de Taulhac

Recours, territoires et habitats
Énergie et climat
Prévention des risques
Développement durable
Infrastructures, transports et mer

Présent
pour
l'avenir

DIR MC / SIR du Puy en Velay

Caractéristiques

- Franchissement d'un vallon (zone résidentielle + RD)
- Ouvrage de type pont mixte à consoles et pièces de pont
- 5 travées : 73 m + 3 x 92 m + 73 m
- Tablier unique de 19,64 m de largeur avec un profil en toit symétrique (dévers 2,5 %)
- Longueur tablier : 425 m
- Tracé en plan rectiligne
- Profil en long : pente unique de 2,14 %



Quantités principales

- Appuis

- Pieux : 730 ml de Ø1500 / 130 ml de Ø1100
- Béton : 5000 M3
- Armatures BA : 470 tonnes
- Coffrages : 6400 m2

- Tablier

- Charpente métallique : 2380 tonnes
- Béton : 2460 m3
- Armatures BA : 580 tonnes
- Coffrages : 8000 m2

- Coût de l'ouvrage : 17 M€ TTC soit 2040 €/m2



Intervenants

- **Maîtrise d'ouvrage : DREAL Auvergne / SMO**
- **Maîtrise d'œuvre : DIR Massif Central
Service Ingénierie Routière du Puy en Velay**
- **Conception et contrôle études : CETE de Lyon / DOA**
- **Architecte : Soberco (Lyon)**
- **Groupement d'entreprises :**
 - **Bouygues TPRF (mandataire)**
 - **CBR TP**
 - **Gagne**
- **Contrôles extérieurs CETE de Lyon**
 - **Métal : Département Laboratoire de Lyon**
 - **Béton, fondations, équipements : Département Laboratoire de Clermont-Ferrand**



Piles



Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable,
des Transports
et du Logement

Piles

- 4 piles de type marteau
- Hauteur variant de 14,00 à 28,50 m
- Fûts de section rectangulaire 6,50x4,50 m, avec 2 faces nervurées



- Semelles : 14,25 x 7,50 x 2,50 m
- Hauteur des levées de fûts : 3,80 m
- Dimensions du chevêtre : 14,85 x 5,40 m
- Hauteur du chevêtre : 5,00 m

Fondations des piles

- Semelles fondées sur 2 files de 4 pieux Ø1500
- Longueur des pieux : de 16,00 à 32,00 m
- Type forés boue



Atelier de forage des pieux



Recépage des pieux



Liaison pieux - semelle



Semelle Pile P2



Coffrage des fûts de piles



Ferrailage d'une levée



Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable,
des Transports
et du Logement

Coffrage d'une levée



Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable,
des Transports
et du Logement

Bétonnage d'une levée



Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable,
des Transports
et du Logement

Chevêtre de pile



Coffrage du chevêtre



Coffrage du chevêtre



Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable,
des Transports
et du Logement

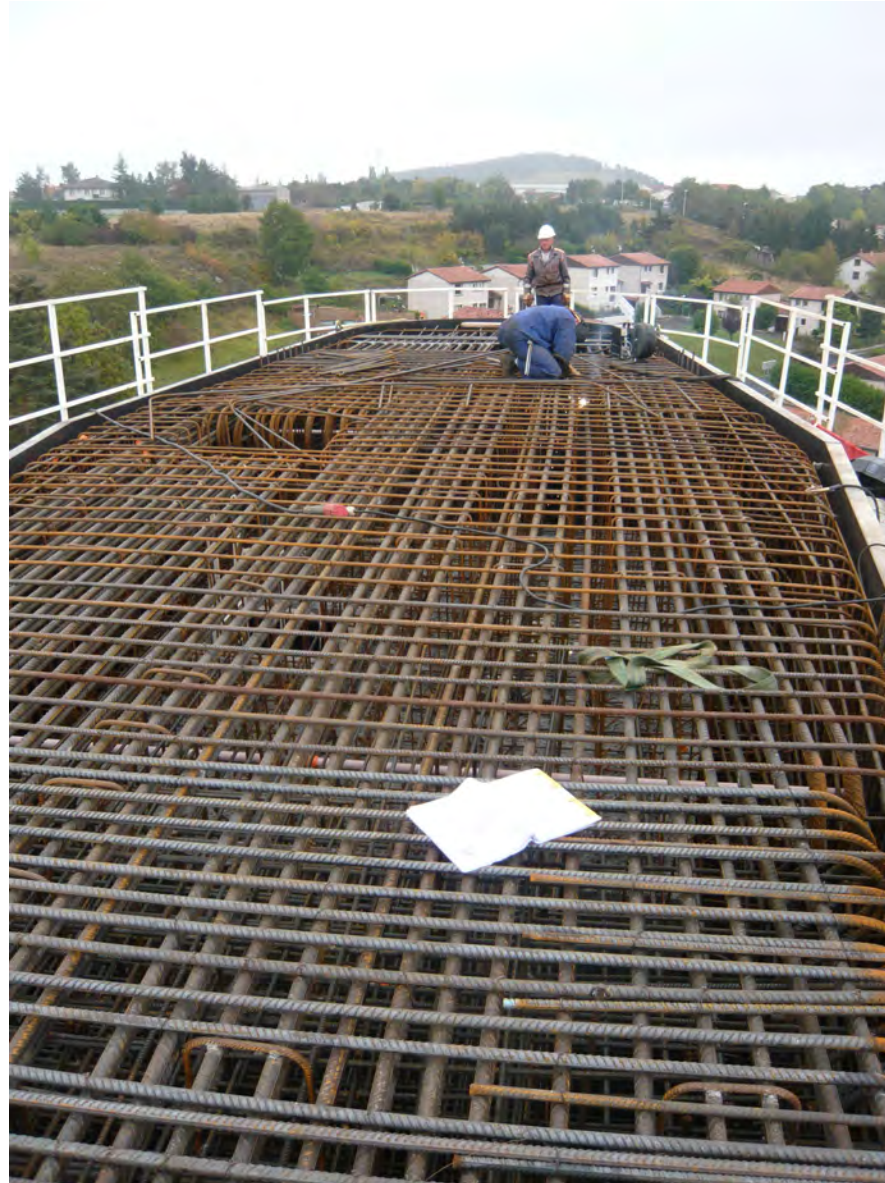
Coques de chevêtre



Ferrailage du chevêtre



Ferrailage du chevêtre



Coffrage du chevêtre



Décoffrage du chevêtre



Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable,
des Transports
et du Logement

DIR MC / SIR du Puy en Velay

Décoffrage du chevêtre



Pile P1



Culées

- Culée C0

- ➔ Type sommier sur mur de front
- ➔ Murs en retour suspendus
- ➔ Fondation directe sur table basaltique

- Culée C5

- ➔ Type sommier simple
- ➔ Murs en retour suspendus
- ➔ Fondation sur 2 files de 4 pieux Ø1100



Culées



Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable,
des Transports
et du Logement

Culées



Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable,
des Transports
et du Logement

Culées



Bétons

- Béton fabriqué à partir de granulats issus de roche massive (basalte de la carrière SMTV de Solignac sur Loire)
- Formules binaires : sable 0/4 et gravillon 10/20
- Ciment 52,5 N PM-ES CP2 NF Vicat
- Adjuvants Chryso :
 - Superplastifiant : Optima 206
 - Entraîneur d'air : Chryso Air G100

Bétons de fondation

- Béton de pieux : C25/30 XC2 S5
 - Ciment : 350 kg/m³
 - Consistance visée : 210 ± 30 mm
 - Rc 28j moyenne : 50 Mpa
- Béton de substitution : C25/30 XF1 S3
 - Ciment : 330 kg/m³
 - Consistance visée : 150 ± 30 mm
 - Rc 28j moyenne : 45 Mpa

Béton de structure

- Béton de structure : C35/45 XF4 S3
 - ➔ Ciment : 385 kg/m³
 - ➔ Consistance visée : 150 ± 30 mm
 - ➔ Air occlus moyen : 6% (4<N<8)
 - ➔ Rc 28j moyenne : 45 Mpa
 - ➔ L^{barre} moyen : 145 μm (<250 μm)
 - ➔ Écaillage : 142 g/m² (<750 g/m²)

Contrôle de la Réaction Sulfatique Interne

- Problématique : 2 pièces massives présentant des risques de RSI :
 - semelles de piles : 270 m³
 - chevêtres de piles : 165 m³
- Calculs de RSI effectués par l'entreprise (estimation des températures prévisibles)
- Enregistrement des températures des pièces bétonnées par labo CETE
- Mesures de prévention adoptées pour les semelles :
 - phasage des bétonnages
 - adaptation de la formule de béton

Contrôle de la RSI

Calcul de RSI pour les semelles de piles

REACTION SULFATIQUE INTERNE

Etude prévisionnelle des températures.

C Dosage en ciment	350 kg/m ³
A Dosage en additions minérales	0 kg/m ³
Masse volumique du béton frais	2638 kg/m ³
Dosage en eau efficace du béton	160,7 kg/m ³
Résistance en compression à 2 jours sur ISO	30 MPa
Résistance en compression à 28 jours sur ISO	61 MPa
Q41 Chaleur d'hydratation du ciment à 41 H Q41	276 KJ/Kg
Epaisseur de béton en ml (si > 0,25ml)	2,5 ml
Température du béton frais au coulage	25 °C

3.1 Estimation du dégagement de chaleur à l'infini pour le ciment retenu.

Type	CEM I 52,5 CE PM-ES-CP2	Rc2 (MPa)	0,49
Usine	Saint Egreve	Rc28 (MPa)	
		Qm/Q41	1,136
		Qm=Q41(ratioQm/Q41)	314 KJ/Kg

3.2 Prise en compte des additions minérales

Détermination de K'	0
LEch= C+K'A	350 kg/m ³

3.3 Prise en compte de l'impact du rapport Eeff/Lech

Détermination du rapport Eeff/Lech	0,45914266
Estimation du terme correctif α (correction de l'élevation de température liée à Eeff/Lech)	0,37 °C

3.4 Estimation de l'élevation de température en l'absence de déperditions thermiques

Δ T adia= (Qm*Lech)/(Cth*Mv)+α	
avec Cth: capacité thermique du béton = 1KJ/(kg°C)	
Δ T adia	42,1 °C

3.5 Prises en compte des déperditions thermiques

Détermination de l'élevation de température après déperditions Δ T	
Echauffement Δ Ec	38,5 °C

3.6 Température de la pièce de béton au coeur

Estimation de la température au coeur du béton	
Température atteinte Δ T°	63,5 °C

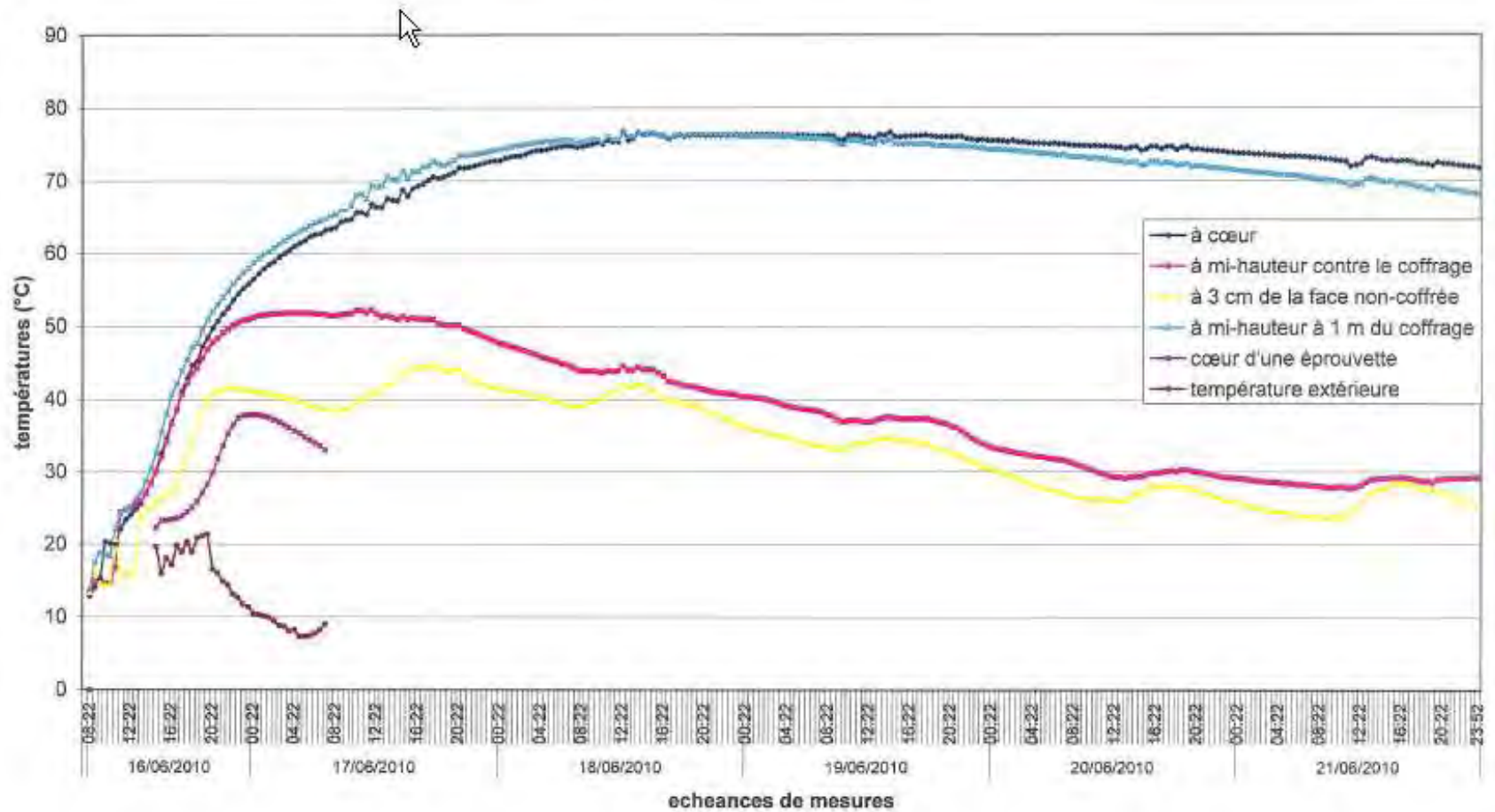
3.7 Seul de température imposé par le niveau de prévention.

D. REGAT



Contrôle de la RSI

Viaduc de Taulhac Semelle P3



Contrôle de la RSI

Analyse du résultat des enregistrements de température sur semelle pile P3



LR.P.C.
9-10, rue Bernard-Paissey
Z.I. du Brezet
63017 Clermont-Ferrand Cedex
2
Téléphone 04 73 42 10 10
Télécopie 04 73 42 10 01

DIRMC
SIR du Puy en Velay
18 rue Jean Solvain
43012 LE PUY EN VELAY cedex
A l'attention de Christian PEYRAL



AVIS DU CONTRÔLE EXTÉRIEUR

Affaire : RN88 – Deviation du Puy	Ouvrages : Viaduc de Taulhac
Dossier n° : 43/10/20981	Entreprise : Groupement DV/GAGNE/CBRT
Objet : Enregistrements de températures - semelle de la pile P3	V/Réf. :

Lors du bétonnage de la semelle de la pile P3, le LRPC de Clermont-Ferrand a placé quatre sondes de températures dans le béton :

- 1- La sonde n°1 était placée au cœur de la semelle.
- 2- La sonde n°2 était placée à mi-épaisseur contre le coffrage.
- 3- La sonde n°3 était placée à 3 cm de la surface talochée
- 4- La sonde n°4 était placée à mi-épaisseur, à 1 m du coffrage

Une cinquième sonde a été placée à cœur d'une éprouvette 16x32 cm conservée dans une caisse avec 17 autres éprouvettes.

Une sixième sonde a été placée pour mesurer la température extérieure.

Les dimensions de la semelle sont les suivantes :

Longueur : 14,25 m - Largeur : 7,50 m - Epaisseur : 2,50 m

Les enregistrements de températures amènent les remarques suivantes :

- La température du béton frais était d'environ 21°C.
- La montée en température s'accélère environ 3H30 après le coulage (changement de pente sur chaque enregistrement, qui correspond au début de prise).
- La température maximale atteinte à cœur de la semelle est de 76°C. Cela correspond donc à une élévation de température de 55°C. Pourtant, l'estimation théorique de l'élévation de température en condition adiabatique, réalisée par l'Entreprise, culminait à 44°C (cf. rapport d'étude). Nous en sommes très éloigné, et il serait intéressant de vérifier la chaleur d'hydratation à 41 heures du ciment.

Prévention vis-à-vis des risques de réaction sulfatique :

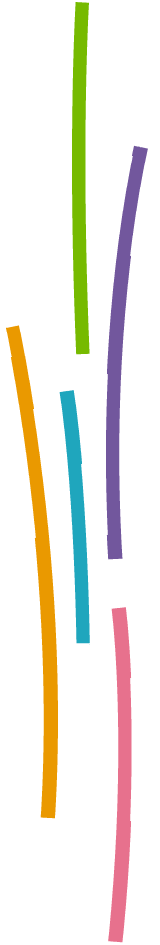
Toutes les parties d'ouvrages du viaduc sont placées en classe d'exposition XH2. De plus, l'ouvrage est classé en catégorie III. Ces clauses du CCTP, amènent donc à un niveau de prévention Cs pour toutes les parties d'ouvrage tel que défini par les « Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne » d'août 2007.

Ce niveau de prévention demande de ne pas dépasser 70°C de température du béton, mais tolère des températures comprises entre 70 et 79°C si certaines conditions sont vérifiées :

- 1- Une des conditions est de ne pas dépasser 3kg/m3 d'alcalins équivalents dans la formule de béton dans le cas d'utilisation d'un ciment PMES. Cette condition serait vérifiée pour le chantier, mais le LCPC est revenu en arrière suite à certains essais réalisés avec des ciments PMES. Nous conseillons donc de ne pas tenir compte de cette condition en l'état actuel des connaissances.
- 2- Les 5 autres conditions sont soit « sans objet », soit non-vérifiées pour le chantier.

Tablier mixte

- Bi-poutre avec pièces de pont et consoles
+ Hourdis béton
- Largeur : 19,64 m
- Hauteur constante : 3,86 m
 - Poutres : 3,60 m
 - Hourdis : 0,26 m

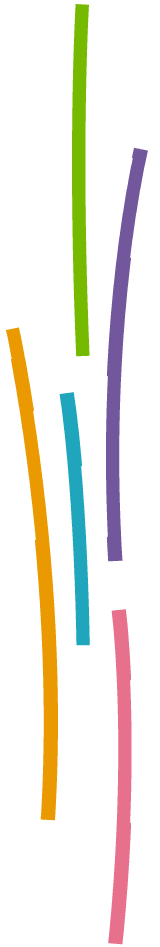


Charpente métallique



Charpente métallique

- Bi-poutre avec pièces de pont et consoles
- Entraxe poutres : 10,30 m
- Espacement consoles et pièces de pont : 4,00 m
- Hauteur des poutres principales : 3,60 m
- Largeur semelle inférieure : 1,50 m
- Largeur semelle supérieure : 1,20 m
- Hauteur des pièces de pont : de 1,30 m à 2,10 m
- Hauteur des consoles : de 0,35 m à 1,20 m
- Longueur des consoles : 4,55 m
- Connexion par goujons Nelson



Charpente métallique

- ➡ 19 tronçons de 12 à 31 mètres
- ➡ 38 poutres de 28 à 55 tonnes
- ➡ Aciers S355 et S460
- ➡ Soudage chantier : Procédé Innershield
- ➡ Lançage par vérins
- ➡ Peinture : système ACQPA FREITAG C4 ANV 995
 - Epogon HB (époxyde riche en zinc) 50 µm
 - Freitapox SR213 (époxyde vinylique) 120 µm
 - Freitane 520 (polyuréthane acrylique) 40 µm

Transport d'un tronçon



Déchargement d'un tronçon

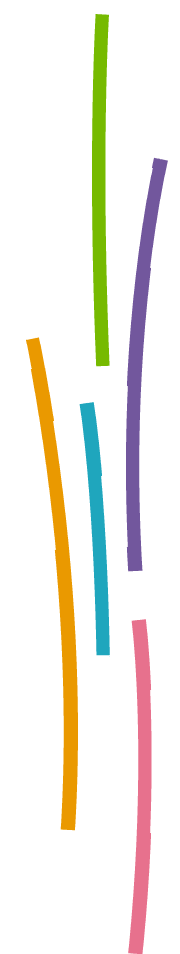


Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable,
des Transports
et du Logement

Consoles



Pièces de pont



Attache avant-bec



Avant-bec et ancrage sur C0



Ancrage sur C0



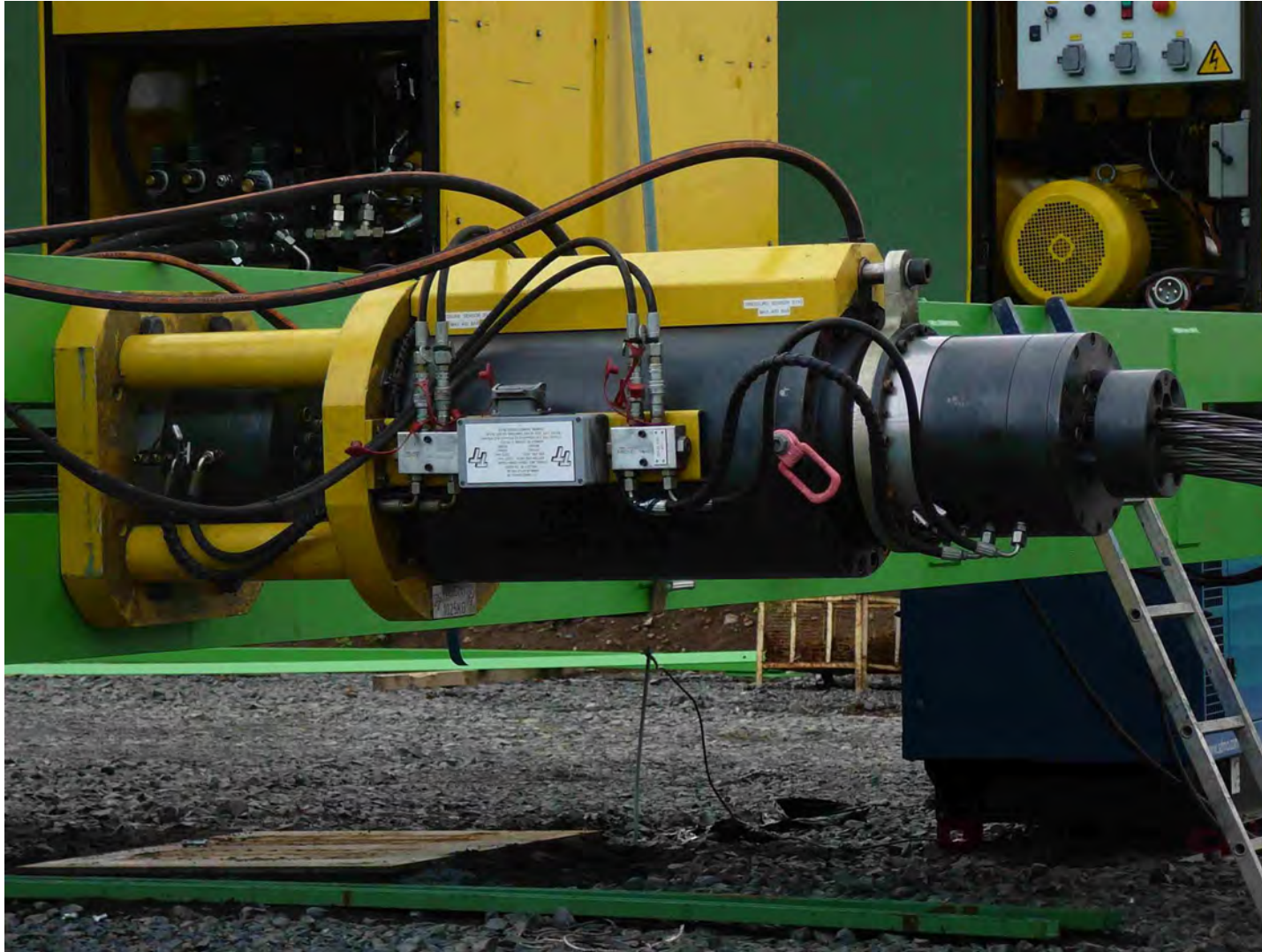
Lancement



Queue de traction et vérins



Vérin de lancement



Chaise de lancement



Équipement tête de pile



Accostage sur pile P1



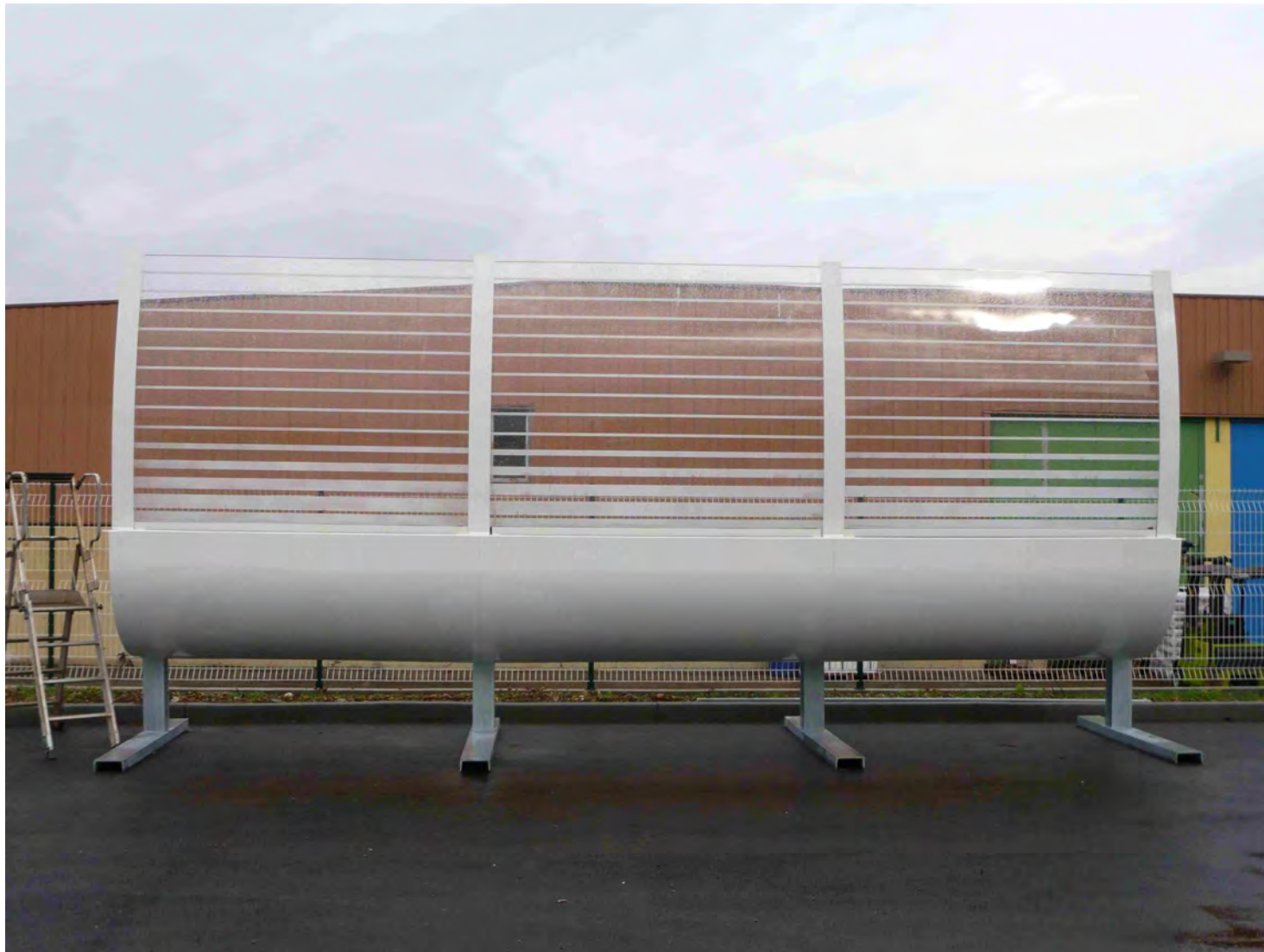
Tablier – dalle BA

- Hourdis coulé en place
 - ➔ Largeur : 19,64 m
 - ➔ Épaisseur constante : 26 cm
- Équipements
 - ➔ Appareils d'appui à pot des piles : 20 000 KN
 - ➔ Corniches-caniveaux métalliques
 - ➔ Écrans antibruit de 2,50 m
 - ➔ Dispositifs de retenue : BN4 – 16 T

Tablier – dalle BA



Corniche et écran



Corniche et écran



FIN



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

