

Maître d'Ouvrage :

Ministère de la Transition écologique et solidaire

DRIEA IF - DIRIF

Service de Modernisation du Réseau (SMR)

Département de Modernisation du Réseau Nord Ouest
(DMR NO)

21-23 rue Miollis 75732 PARIS Cedex 15



Direction régionale
et interdépartementale
de l'Équipement
et de l'Aménagement
ÎLE-DE-FRANCE
DIRIF

III.5

Indice 0

Opération 23 Q 24 F

PROTECTIONS ACOUSTIQUES COMPLÉMENTAIRES AUTOROUTES A4 ET A86 À SAINT- MAURICE, MAISONS-ALFORT ET CRÉTEIL

2ÈME TRANCHE

Secteur « Viaducs »

DOSSIER PROJET

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

III.5 Ouvrages d'art

Dressé par le
maître d'œuvre :
Nom chef DIE

Présenté par le
responsable d'opérations :
Nom RDO

Vu et transmis par le
responsable du
Département DMRNO :
Nom chef DMR

Novembre 2017

DRIEA IF - DIRIF

Service d'Ingénierie pour la Modernisation,
l'Entretien et l'Exploitation du Réseau (SIMEER)

Département d'Ingénierie EST

65-71 avenue Faidherbe
93315 Le Pré Saint-Gervais Cedex

0	Novembre 2017	TM-RB			Version initiale
Indice	Date	Établi par	Vérifié par	Approuvé par	Objet

Maître d'Ouvrage :

Ministère de la Transition écologique et solidaire

DRIEA IF - DIRIF

Service de Modernisation du Réseau (SMR)

Département de Modernisation du Réseau Nord Ouest
(DMR NO)

21-23 rue Miollis 75732 PARIS Cedex 15



III.5.1

Indice 0

Dressé par le
maître d'œuvre :
Nom chef DIE

Présenté par le
responsable d'opérations :
Nom RDO

Vu et transmis par le
responsable du
Département DMRNO :
Nom chef DMR

Novembre 2017

Opération 23 Q 24 F

PROTECTIONS ACOUSTIQUES COMPLÉMENTAIRES AUTOROUTES A4 ET A86 À SAINT- MAURICE, MAISONS-ALFORT ET CRÉTEIL

2ÈME TRANCHE

Secteur « Viaducs »

DOSSIER PROJET

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

III.5 Ouvrages d'art III.5.1 Notice

DRIEA IF - DIRIF

Service d'Ingénierie pour la Modernisation,
l'Entretien et l'Exploitation du Réseau (SIMEER)

Département d'Ingénierie EST

65-71 avenue Faidherbe
93315 Le Pré Saint-Gervais Cedex

0	Novembre 2017	TM-RB			Version initiale
Indice	Date	Établi par	Vérifié par	Approuvé par	Objet

NOTICE

Service d'ingénieries pour
la modernisation,
l'entretien et l'exploitation
du réseau

Département d'ingénierie
Est

Novembre 2017

SMMAC – Viaducs A86/A4

Partie 1 Paris ↔ Créteil

III.5-OUVRAGE D'ART

III.5.1-Notice



**Direction des routes
Île-de-France (DIRIF)**

www.dir.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	17/10/2017	Version initiale TM
2	30/10/2017	Reprise par TM après lecture de JFT

Affaire suivie par

Tony MOUTTAPA - SIMEER / DI Est
<i>Tél : 01 49 15 43 29</i>
<i>Courriel : tony.mouuttapa@developpement-durable.gouv.fr</i>

Établi par	Vérifié par	Approuvé par
Le chargé d'études	Le chef de projet	Le chef du DIE

SOMMAIRE

- 1 - PRÉSENTATION DE L'OPÉRATION.....4
- 2 - L'EXISTANT : OUVRAGE D'ART ACTUEL.....6
 - 2.1 - Introduction.....6
 - 2.2 - Description de l'écran existant.....7
- 3 - ASPECTS STRUCTURELS DE L'ÉCRAN PROJETÉ.....9
 - 3.1 - Présentation de l'écran.....9
 - 3.2 - Liaison entre l'écran acoustique et la longrine béton de l'ouvrage :.....11
 - 3.3 - Détails de la partie basse des écrans acoustiques.....13
 - 3.4 - Détail du caisson acoustique.....15
- 4 - ETUDE DE DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE L'ÉCRAN PROJETÉ :.....17
 - 4.1 - Justifications des profilés.....17
 - 4.2 - Justifications des assemblages.....18
 - 4.3 - Description du principe de fixation des écrans.....19

1 - Présentation de l'opération

Les autoroutes A4 et A86, entre les viaducs de Saint-Maurice et le Carrefour de Pompadour, avec un trafic de plus de 200 000 véhicules jours, entraînent des niveaux de bruit pour les logements riverains dépassant les 65 dB(A) sur la période 6h-22h pour dépasser par endroit 70 dB(A). Les protections acoustiques existantes, réalisées lors de la mise en service de ces tronçons d'autoroutes en 1981 s'avèrent aujourd'hui insuffisantes et il est par conséquent nécessaire de les remplacer ou/et de les renforcer ou/et de les modifier.

L'APS de février 2006 réalisé par le bureau d'étude en infrastructures de transport SCETAUROUTE et par le cabinet SPIELMANN a déterminé les protections phoniques qui seront à réaliser le long des autoroutes A4 et A86 sur les communes de Saint-Maurice, Maisons-Alfort et Créteil dans le Val de Marne. La déclaration de projet a été publiée au recueil des actes administratifs de la préfecture du Val-de-Marne en mars 2007. L'APS a été approuvé par décision du DREIF du 09 juin 2006, en fixant le coût d'objectif de l'opération à 43,5 M€ (valeur janvier 2006) et approuvant le découpage en deux tranches, la première tranche s'élevant à 20,38 M€ et la seconde à 23,12 M€.

La décision ministérielle du 02 octobre 2008 a acté le découpage de la première tranche en une zone sud et en une zone nord, réestimé le coût des travaux de la 1^{ère} tranche sur la zone sud, fixé le coût plafond de ces travaux à 30 M€ et porté le coût global de l'opération sur les deux tranches à 47,92 M€. Le projet partiel relatif à cette tranche a été approuvé le 27 décembre 2011 pour un montant de 24 M€ (coût à terminaison), inférieur au coût plafond fixé à 30 M€.

L'APS prévoyait la réalisation du programme d'écrans en 2 tranches et 7 secteurs. Les modalités d'exploitation sous chantier conduit à envisager les travaux de la deuxième tranche selon un phasage différent du découpage prévu à l'APS. La programmation des travaux de la 2^{ème} tranche est décomposée en phase suivante :

- phase 1 : écrans secteur palais de justice,
- phase 2 : écrans secteur Gambetta / Sangnier Est,
- phase 3 : écrans secteur Gambetta / Sangnier Ouest,
- phase 4 : écrans Sud-A4,
- phase 5 : écrans secteur des Viaducs.

La décision ministérielle du 27 février 2014 a fixé le coût total à terminaison de l'opération à **55 M€ TTC** qui se décompose de la manière suivante :

- coût à terminaison de la 1^{ère} tranche à **24 M€ TTC**,
- coût à terminaison de la 2^{ème} tranche à **31 M€ TTC**.

Pour des raisons techniques liées à la stabilité des ouvrages, le projet « Viaducs » sera segmenté en deux parties :

- Partie 1 « Bretelle Paris ↔ Créteil » : réalisation des écrans absorbants en PEHD (Polyéthylène haute densité) d'une hauteur de 3m30 par rapport à la plate-forme autoroutière. Les écrans seront situés à l'intérieur des poteaux en acier HEA 160 d'entraxe de 2,50m.
- Partie 2 « Bretelle Nogent ↔ Créteil » : en attente des essais de traction sur les ferraillages de l'ouvrage afin d'obtenir une solution viable.

Le présent projet partie Viaducs A86/A4 Paris ↔ Créteil concerne donc la réalisation de protections acoustiques en BAU et/ou BDG. Le projet vise à construire un écran d'une hauteur acoustique de 3,30 mètres en PEHD.

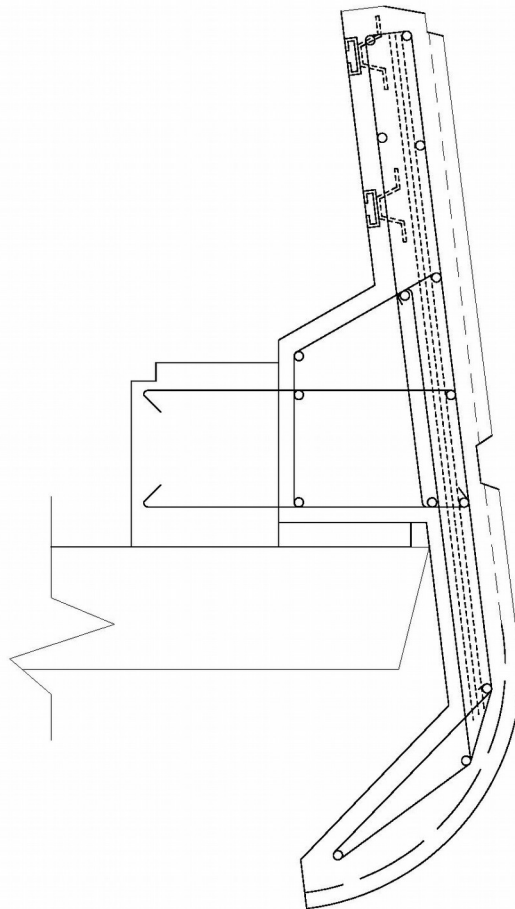
Le périmètre de l'étude de l'opération Viaducs Partie 1 est reportée sur le document suivant :



2 - L'existant : Ouvrage d'art actuel

2.1 - Introduction

Les parties d'ouvrages concernées sont la superstructure et la corniche comme représenté sur le schéma suivant :



2.2 - Description de l'écran existant

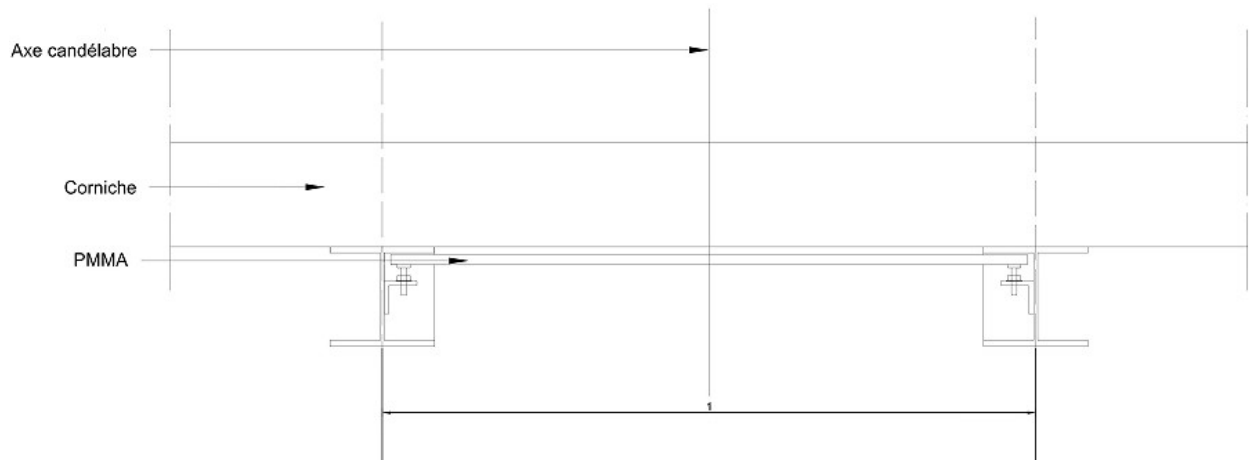
L'échangeur A4-A86 à Saint-Maurice est constitué de quatre bretelles, réalisées entre 1977 et 1979. Chaque bretelle comporte un ouvrage de franchissement de la marne et un ouvrage d'accès avec des tabliers indépendants appuyés sur une même pile-culée (notée PC sur les schémas).

L'écran acoustique est de type modulaire réfléchissant en PMMA (polyméthacrylate de méthyle) transparent.

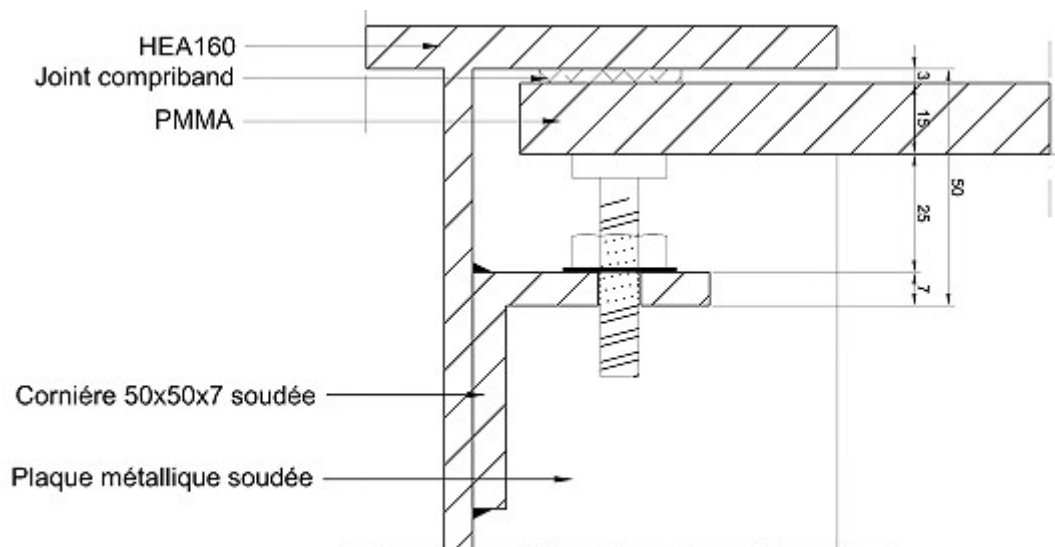
La photo ci-dessous de la bretelle A4-A86 sens Paris → Créteil donne un aperçu des écrans existant le long de la BAU et derrière le dispositif de retenu :



Vue en plan de l'existant



Vue en plan de la fixation de l'écran :

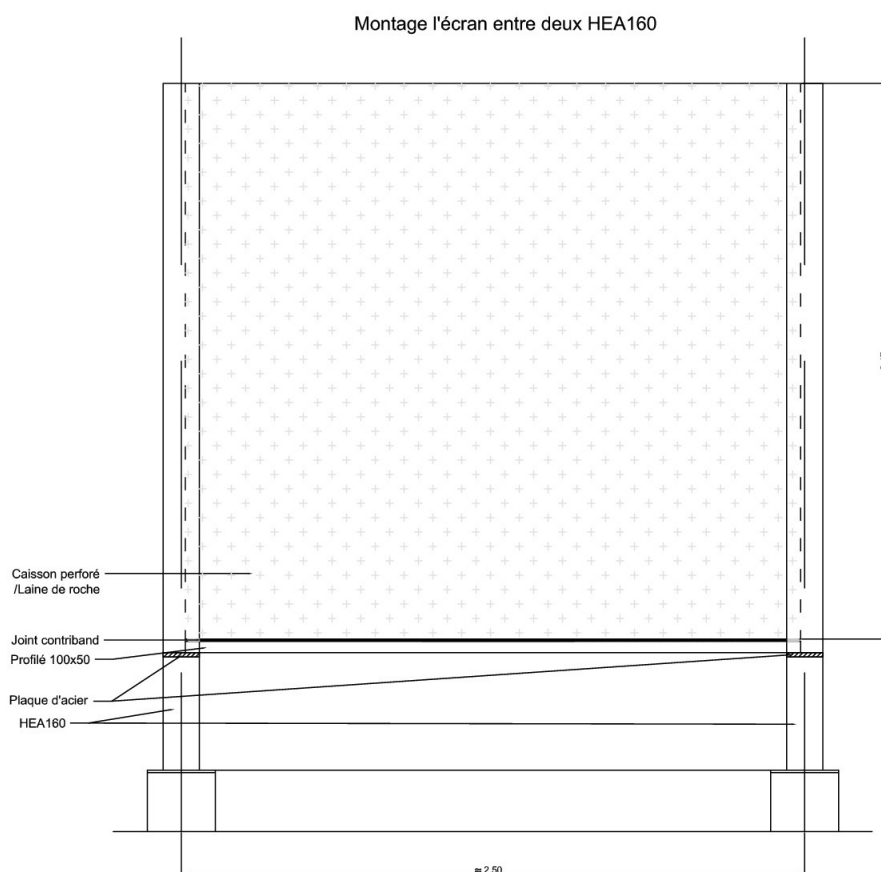


3 - Aspects structurels de l'écran projeté

3.1 - Présentation de l'écran

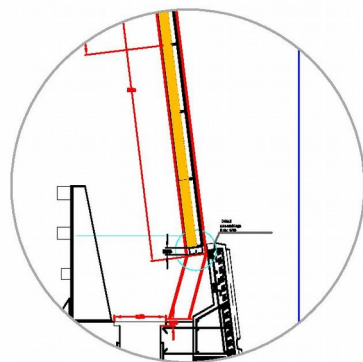
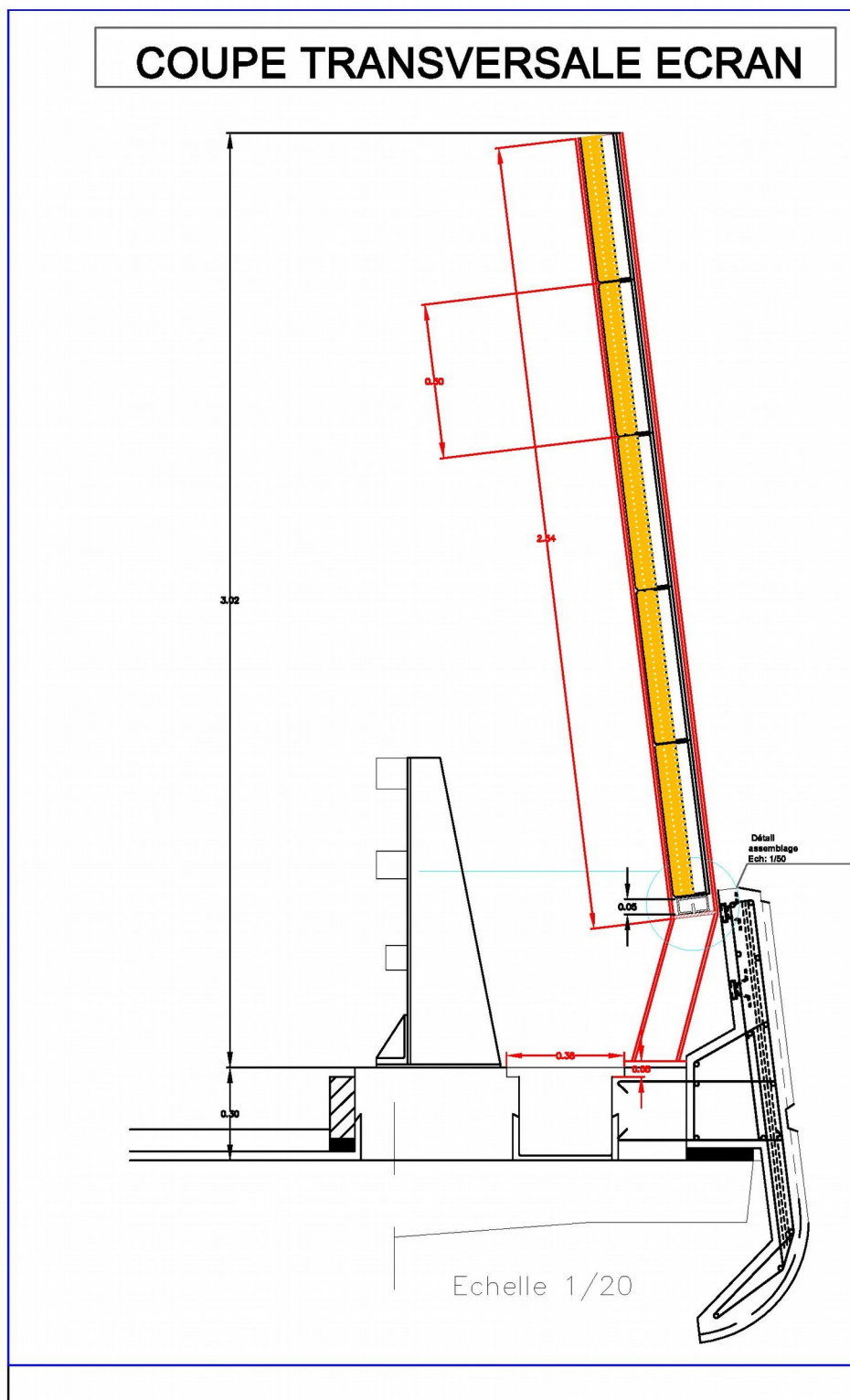
Avec une hauteur de 3,30m, l'écran sera constitué de caissons métalliques (renfermant un complexe acoustique absorbant type laine de roche) fixés verticalement entre des poteaux HEA160 et en partie basse maintenus par des barres profilées type rectangulaire.

Le schéma ci-dessous illustre l'écran vue de face entre deux poteaux HEA160.



Le plan ci-dessous montre l'élévation de l'écran constitué de 4 caissons absorbants empilés. Juste en dessous du 1^{er} caisson (cf zoom ci-dessous), une barre profilée type rectangulaire de section 100x50 sert de support aux caissons acoustiques.

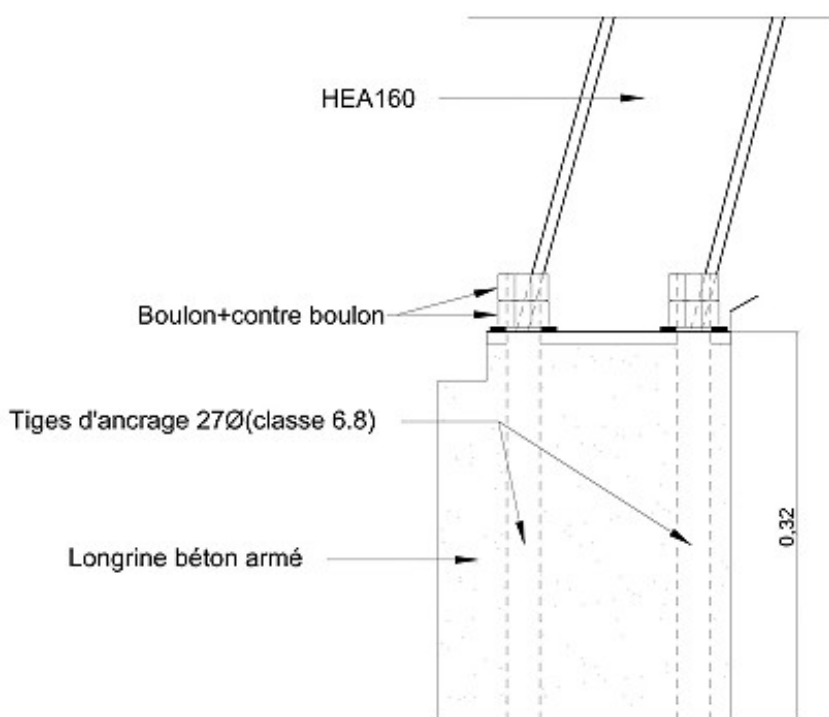
Il est à noter que l'écran projeté n'est plus en contact avec la corniche et qu'il est incliné de 7°.



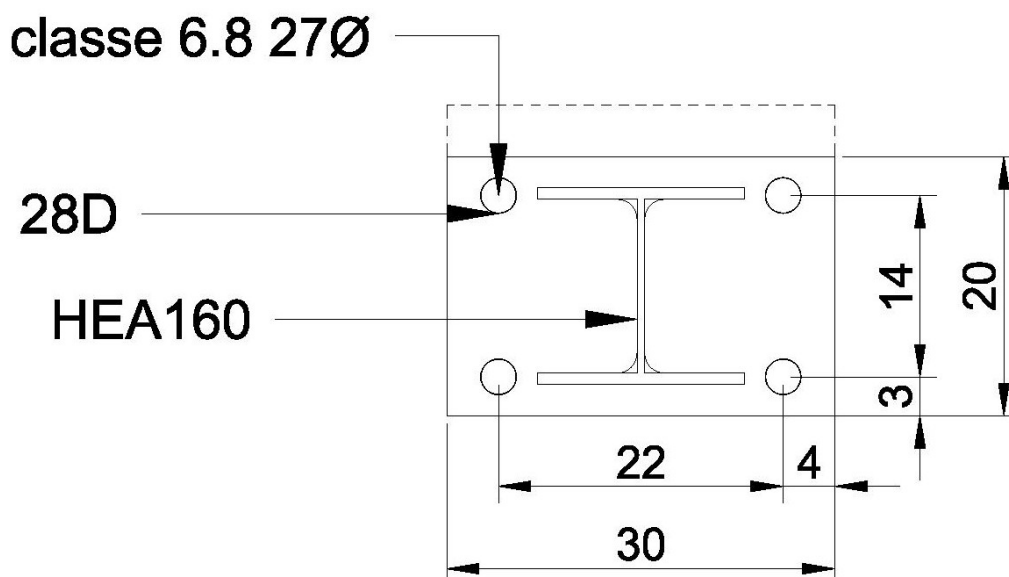
3.2 - Liaison entre l'écran acoustique et la longrine béton de l'ouvrage :

La liaison sera constituée tout d'abord par une platine de dimension 30 × 20 avec 4 trous de diamètre 28mm et tiges filetées qui seront scellées (au préalable par scellement chimique) dans la longrine béton.

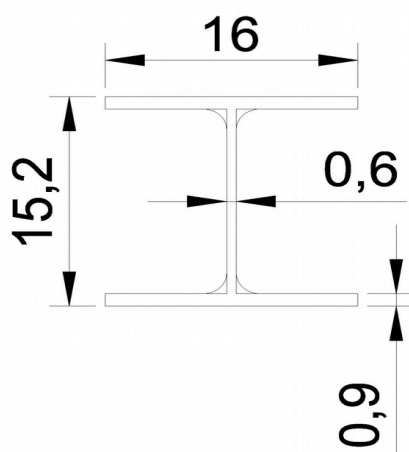
Des écrous et contre écrous de classe 6.8 Ø 27 seront vissés sur les tiges filetées pour fixer chaque platine à la longrine béton pour assurer la stabilité de l'écran.(cf.plan ci-dessous : coupe transversale fixation de la platine sur la longrine béton)



Ensuite, une structure métallique (poteau) de type HEA 160 sera soudée sur la platine en attente. (cf : plan ci-dessous vue en plan poteau HEA160 sur la platine)



Le schéma ci-dessous donne des informations sur les dimensions de la section de poteau HEA 160 :



3.3 - Détails de la partie basse des écrans acoustiques

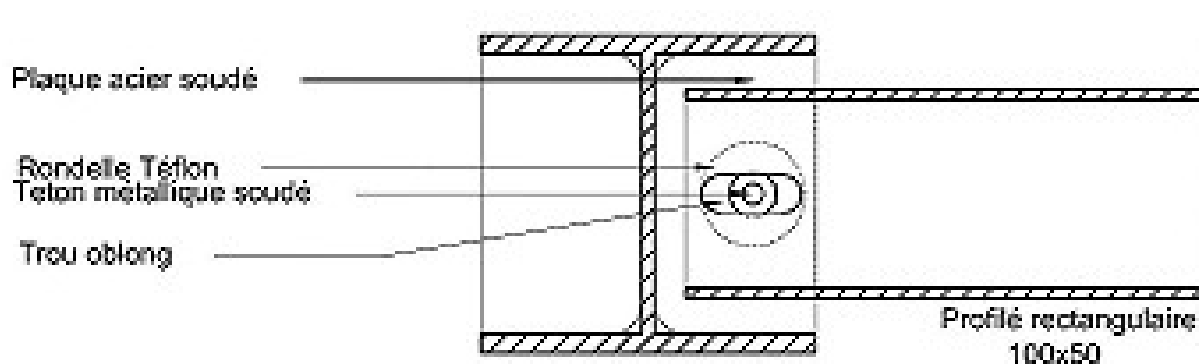
En partie basse, entre chaque poteau HEA 160, des barres profilées de section 100x50 et de longueur 2m50 serviront de support aux caissons acoustiques.

Ces profilés à leur extrémité seront munis d'un trou type oblong et maintenus par un téton en acier filtré métallique soudé sur une plaque acier (elle-même soudée sur le poteau HEA 160).

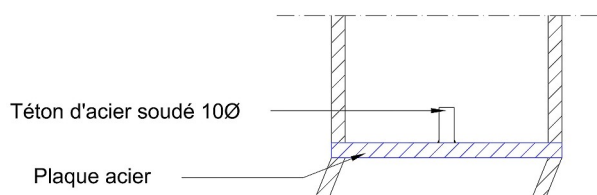
Ce trou oblong de part sa forme permettra les éventuels effets de dilatation du matériau constituant le profilé.

Sur chaque téton avant la pose de chaque profilé, une rondelle en téflon (pour son grand pouvoir de résistance aux frottements en particulier) sera posée

La vue en plan ci-dessous illustre bien la position et fixation du profilé rectangulaire :



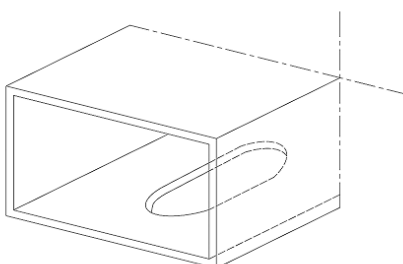
- Le schéma ci-dessous illustre la position du téton en acier sur une plaque acier (qui est soudée au HEA 160)



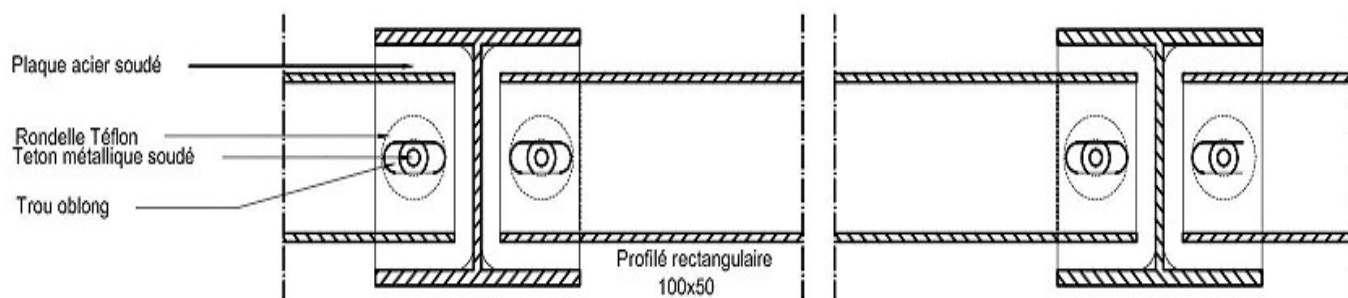
Le schéma ci-dessous illustre le modèle de rondelle téflon.



Le schéma ci-dessous illustre le modèle de rondelle téflon trou oblong dans la barre profilée rectangulaire 100x50.



Le schéma ci-dessous illustre le montage entre deux HEA160 du profilé rectangulaire.



3.4 - Détail du caisson acoustique

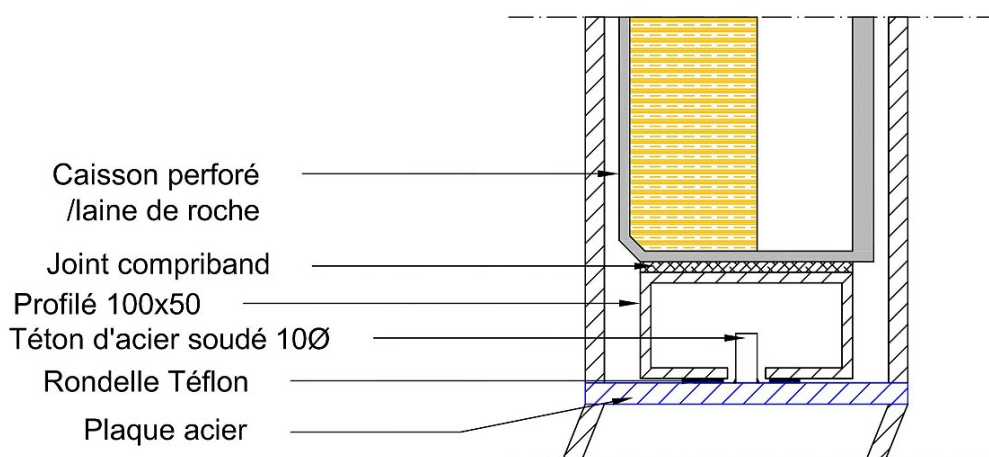
Le caisson est perforé uniquement sur une face (côté chaussées de l'ouvrage) pour que les émissions sonores soient absorbées par le complexe acoustique constitué de laine de roche.

Les photos ci-dessous illustrent un modèle de caisson pouvant convenir au projet :



Chaque caisson acoustique sera empilé l'un sur l'autre. Avant chaque pose de caisson, un joint de type compriband sera mis en place.

Le schéma ci-dessous illustre la pose du 1^{er} caisson sur le profilé rectangulaire. Un joint compriband est représenté sous le caisson.



4 - Etude de dimensionnement de la structure de l'écran projeté :

4.1 - Justifications des profilés

- Données sur les matériaux :

Caractéristiques des aciers poteaux et platines

Les profilés verticaux métalliques, platines, boulons et tiges d'ancrage mis en œuvre auront les caractéristiques suivantes :

- acier de nuance S235,
- protection contre la corrosion assurée par galvanisation et peinture.

Caractéristiques des aciers béton armé

Les armatures HA prévues posséderont une limite d'élasticité égale à $f_{yk} = 500$ MPa, Les armatures en acier doux posséderont une limite d'élasticité égale à $f_{yk} = 235$ MPa.

Caractéristiques des bétons : C20/25

- Justification

Les combinaisons sont les suivantes :

- A l'ELS, la combinaison : $G + W$,
 - A l'ELU, la combinaison : $1,35 G + 1,5 W$.
- Avec G poids propre et W charges dûes au vent.

Efforts pied de poteau	ELS	ELU
Flexion axe fort (kN.m)	13,64	20,3
Effort tranchant (kN)	9,2	13,7
Effort normal (kN)	3,54	4,78

- Justification des profilés :

Il est nécessaire de vérifier la résistance sous l'effet du vent en prenant en compte le moment fléchissant et l'effort tranchant en pied de poteau. Les poteaux sont espacés de **2.50m**.

Le critère de déformation sous vent en ELS et la flèche sont définis dans la partie 1 de la norme écrans : NF EN 1794-1 qui traite des performances mécaniques et exigences en matière de stabilité.

Ces vérifications s'appuient sur les valeurs trouvées pour les efforts en pied de poteau calculées en considérant la zone centrale D de l'écran.

4.2 - Justifications des assemblages

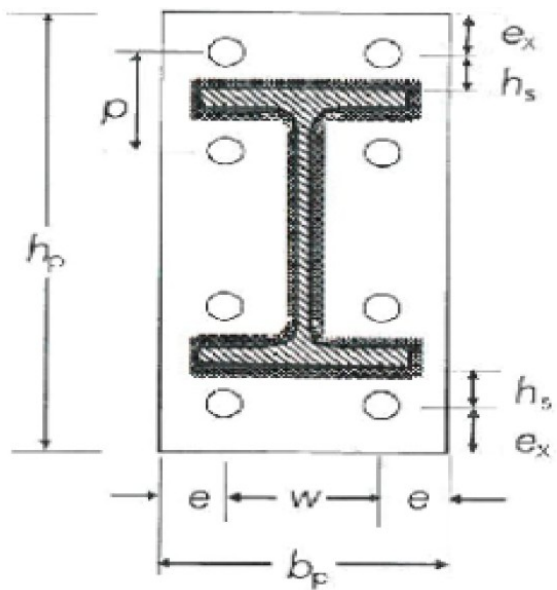
Le Département d'ingénieries d'Ouvrages d'Art (DIOA) utilise le guide publié par le CSTB, « Assemblages des pieds de poteaux en acier -Dimensionnement des assemblages de pieds métalliques encastrés et articulés », d'Ivor RYAN (CTICM), février 2010.

Le DIOA, à la demande du DIE, a réalisé une étude de possibilité de mise en place d'écrans absorbants (hauteur 4 m maximum). Cette étude est jointe annexe de cette notice.

Ce guide prend en compte les Eurocodes, notamment les normes NF EN 1993-1-8:2005 (EC3, partie 1-8), EN 1993-1-1 (EC3, partie 1-1) et EN 1992-1-1 (EC2, partie 1-1).

Résultat :

Dimensionnement des poteaux, platines et des ancrages :

Type de poteaux	HEA 160	
Cordons de soudure	5 mm	
Nb boulons	4 boulons $\Phi 27$ (tiges de classe 6.8)	
Longueur platine h_p	200 mm	
Largeur mini platine b_p	300 mm	
Épaisseur mini platine	10 mm	
Distance e_x	30 mm	
Distance e	40 mm	
Distance w	220 mm	

4.3 - Description du principe de fixation des écrans

Nous vérifions que les sections d'acier reliant la contre-corniche au tablier supportent bien les efforts qui leur sont appliqués.

Les efforts s'appliquant à la section Contre-corniche / tablier sont les suivants :

– **Moment dû au poids de la corniche (noté M1) :**

On sait que (cf. avis DIOA du 19/12/2016 page 20) la charge due à la corniche est de 7,515 kN/ml, appliquée à la distance du centre de la contre-corniche de :

$$0,2 / 2 + 0,215 + [(18,367 / 7,515) - 2,4] = 0,359 \text{ m}$$

$$\text{Donc } M1 = 7,515 \times 0,359 = 2,698 \text{ kN.m /ml,}$$

– **Moment dû au vent (noté M2) :**

$$M2 = 9,16 \times [(3 / 2) + 0,3] = 16,488 \text{ kN.m /ml}$$

– **Effort tranchant (noté V) :**

$$V = 9,16 \text{ kN /ml,}$$

– **Descente de charge (notée N) :**

$$N = (3,539 / 2,5) + (0,3 \times 0,2 \times 25) = 2,9156 \text{ kN /ml}$$

Résultats :

Efforts pied de contre-corniche	ELS	ELU
Moment (kN.m /ml)	19,186	28,3743
Effort tranchant (kN /ml)	9,16	13,74
Effort normal (kN /ml)	2,9156	3,936

Les plans de ferrailage indiquent 18 cadres HA12 sur une largeur de 2,63 m, soit $2 \times 7,74 \text{ cm}^2 / \text{ml}$, entre la contre-corniche et le tablier.

On vérifie que ces aciers soient suffisants pour reprendre les efforts.

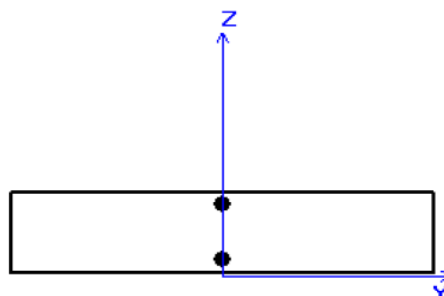
On utilise le logiciel ARMA, en prenant les valeurs des efforts indiqués dans le tableau précédent, avec des aciers $f_{yk} = 400 \text{ MPa}$, et un béton de classe C20/25.

Résultats

Les aciers résistent aux efforts qui s'appliquent sur eux (cf. résultats logiciel ARMA) :

[illegible]

Les contraintes de compression dans le béton sont positives.
Les contraintes de traction dans l'acier sont négatives.

[illegible]

Hauteur totale m

f_{cj} MPa

f_e MPa

Ancrages sur la contre-corniche

Les écrans acoustiques auront une hauteur de 3,30 m, constitués de caissons absorbants empilés dans des profilés métalliques de type **HEA 160** (de poids 0,3 kN/ml de hauteur), en acier galvanisé, et espacés de 2,5 m et inclinés de 7° côté chaussée. Ces poteaux sont soudés sur une platine d'ancrage. On prendra une semelle de dimension largeur 0,2 m, longueur 0,9 m et hauteur 0,33 m.

- **Justifications des tiges d'ancrage dans la contre-corniche :**

La force de traction totale est de $20,3 / 0,14 = 145$ kN, soit dans un seul ancrage :

- un effort de traction de $145 / 2 = 72,5$ kN,
- un effort de cisaillement de $13,7 / 4 = 3,4$ kN

On prend un béton de classe **C20/25**.

On propose quatre tiges en acier HA B500B filetées M27 et galvanisées à chaud, avec scellement chimique type résine HIT-RE 500.

On regarde alors les abaques fournis par HILTI relatifs au scellement de fers à béton (barres B500B) avec une résine HIT-RE 500 :

Le seuil maximal de l'effort de traction dans une tige d'ancrage est vérifié selon deux formules :

- 1) Résistance de calcul en traction de la section de la tige : $F_t' Rd = 0,9 \times f_{ub} \times A_s / 1,25$,
- 2) Résistance maximale à la rupture $N_{rds} = f_{ub} \times A_s / 1,5$ (cf. Annexe C - Guide d'agrément technique européen relatif aux « Généralités sur les chevilles de fixation – Révision novembre 2006 », CSTB mai 2009).

Pour des tiges filetées de classe 6.8 (équivalent aux barres proposées HA B500B), les résultats sont les suivants :

- $F_t' Rd = 0,9 \times f_{ub} \times A_s / 1,25 = 198,3$ kN,
- $N_{rds} = f_{ub} \times A_s / 1,5 = 183,6$ kN.

L'effort de traction dans une tige de 72,5 kN est inférieur à ces valeurs limites.

Les tiges filetées de classe 6.8 conviennent avec une longueur d'ancrage de 320 mm.

5 - Annexe



Direction régionale et interdépartementale
de l'Équipement et de l'Aménagement
ÎLE-DE-FRANCE

Direction des routes d'Île-de-France

Service d'Ingénierie pour la Modernisation,
l'Entretien, l'Exploitation des Réseaux

Département d'ingénierie ouvrages d'art

RÉALISATION DE PROTECTIONS ACOUSTIQUES COMPLÉMENTAIRES SUR L'AUTOROUTE A4-A86 À SAINT-MAURICE, MAISONS-ALFORT ET CRÉTEIL

OPÉRATION VIADUCS DE SAINT MAURICE

Études phase Projet
Bretelle 1-5 Sens Paris - Créteil
Bretelle 2-6 Sens Créteil - Paris

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

**Présent
pour
l'avenir**

Affaire DIOA n° E16 réalisée pour DRIEA-IF/DiRIF/SIMEER/DIE				
1	03/02/17	Émission originale	VG	PP, FD
Indices	Dates	Modifications	Rédigé par	Vérifié par

Affaire suivie par :

Vincent GUIZARD – Département d'ingénierie ouvrages d'art (DIOA) – Chargé d'études OA

Tél. 01 49 15 43 60,

Mél. Vincent.Guizard@developpement-durable.gouv.fr

Aidé de :

M. Fernando Dias – Département d'ingénierie ouvrages d'art (DIOA) – Chargé d'opérations OA

Tél. 01 49 15 43 09,

Mél. fernando.dias@developpement-durable.gouv.fr

M. Guillaume Damien – Département d'ingénierie ouvrages d'art (DIOA) – Adjoint au chef du département

Tél. 01 49 15 43 77,

Mél. guillaume.damien@developpement-durable.gouv.fr

L'assistant à la maîtrise d'œuvre

Département d'ingénierie ouvrages d'art (DIOA)

65, avenue Faidherbe 93315 LE PRE ST GERVAIS

Tél. 01 49 15 43 12,

Fax : 01 49 15 43 91

Coordonnées du service demandeur :

Direction régionale et interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement Île-de-France (DRIEA-IF)

Direction des routes d'Île-de-France – Service d'Ingénierie pour la Modernisation, l'Entretien, l'Exploitation des Réseaux

La maîtrise d'œuvre

Département d'Ingénierie Est (DI Est)

65, avenue Faidherbe 93315 LE PRE ST GERVAIS

Affaire suivie par : chef de projet : Pascal TSCHUPP

Chargé d'études : Roger BALLON

Sommaire

1

<u>1. CONTEXTE.....</u>	<u>4</u>
<u>2. RAPPELS DES DONNÉES RELATIVES AUX BRETELLES 1 ET 2 (CF. AVIS DIOA DU 19/12/2016).....</u>	<u>5</u>
2.1. Description de l'existant.....	5
2.2. Justification de la structure du tablier.....	8
<u>3. JUSTIFICATIONS DES PROFILÉS ET ASSEMBLAGES.....</u>	<u>9</u>
3.1. Hypothèses.....	9
3.2. Justifications	9
<u>4. DESCRIPTION ET PRINCIPE DE FIXATION DES ÉCRANS.....</u>	<u>11</u>
4.1. Schéma de principe.....	11
4.2. Ancrages sur la contre-corniche.....	13
<u>5. RENFORCEMENT DES BARRIÈRES DE SÉCURITÉ.....</u>	<u>14</u>
<u>6. CONCLUSION.....</u>	<u>15</u>

1

1. CONTEXTE

Dans le cadre de l'opération de réalisation de protections acoustiques sur l'autoroute A4-A86 à St-Maurice, Maisons-Alfort et Créteil (Tranche n° 2), le DIOA intervient en assistance à la maîtrise d'œuvre (DI Est).

Le DIOA a transmis un avis le 20 décembre 2016 afin de vérifier la tenue structurelle des ouvrages avec un écran constitué de panneaux absorbants de 4 m de haut, enserrés dans des profilés métalliques HEA160, en acier galvanisé, espacés de 2,5 m et non inclinés. Ces poteaux sont soudés sur une platine, ancrée sur la contre-corniche en béton armé. On rappelle la conclusion de cet avis :

- Pour les bretelles 1 & 2 : il est possible de justifier l'implantation d'écrans de hauteur maximale 4m,
- Pour les bretelles 3 & 4 : les bretelles 3 & 4 sont en limite de capacité dans la situation actuelle. L'implantation de nouveaux écrans implique soit un renforcement du ferrailage des encorbellements, soit un allègement des équipements par le remplacement des corniches en béton par des corniches métalliques.

Suite à la réunion entre les services le 13 janvier 2017 au Pré-St-Gervais, le DI Est demande au DIOA :

- la rédaction d'un rapport concernant uniquement les écrans des bretelles 1 et 2, avec une hauteur limitée à 3 m, en décrivant leur mise en place sur la contre-corniche,
- une estimation financière concernant le renforcement des barrières de sécurité. En effet, des travaux sur les barrières de sécurité pourraient être effectués en parallèle de la mise en place des écrans acoustiques. En s'appuyant sur une étude déjà produite par le DIOA d'analyse de l'efficacité des dispositifs de retenue sur ces ouvrages (cf. avis rédigé par Fernando Dias le 07 janvier 2016), il était recommandé de passer d'une barrière existante BN4-13T « classique » de niveau de retenue H2 à une BN4-16T de niveau H3, en remplaçant simplement la lisse supérieure (lisse 100x100x4 lisse 160x100x4).

Pour information, le DI Est décide une investigation des aciers transversaux existants sur les bretelles 3 et 4 (3 fenêtres par OA, soit 12 fenêtres au total, de 2,5 m sur 0,2 m chacune).

2. RAPPELS DES DONNÉES RELATIVES AUX BRETELLES 1 ET 2 (CF. AVIS DIOA DU 19/12/2016)

2.1. Description de l'existant

Elle est tirée des documents suivants :

- dossiers d'exécution des ouvrages (plans d'exécution etc.),
- Inspections détaillées réalisées en 2013.

L'échangeur A4-A86 à Saint-Maurice est constitué de quatre bretelles, réalisées entre 1977 et 1979. Chaque bretelle comporte un ouvrage de franchissement de la marne et un ouvrage d'accès avec des tabliers indépendants appuyés sur une même pile-culée (notée PC sur les schémas).

Les bretelles, qui font l'objet de cet avis, sont désignées par :

- **bretelle 1 : OA36 –bretelle 1-5 : Paris Créteil**
- **bretelle 2 : OA37 –bretelle 2-6 : Créteil Paris**

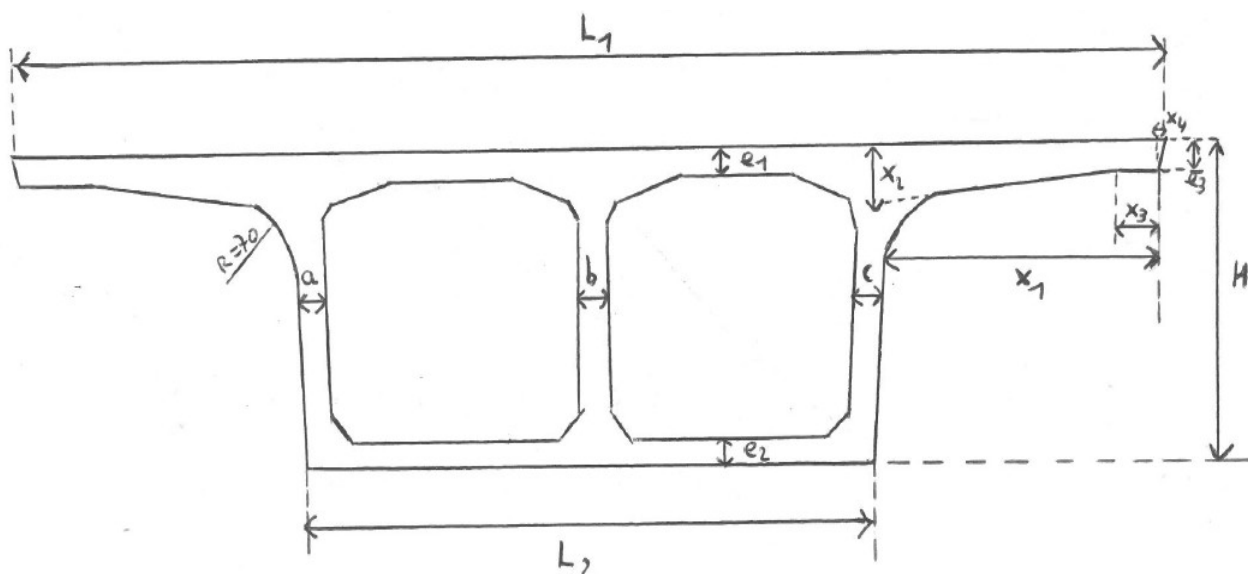


Sources : www.viamichelin.fr

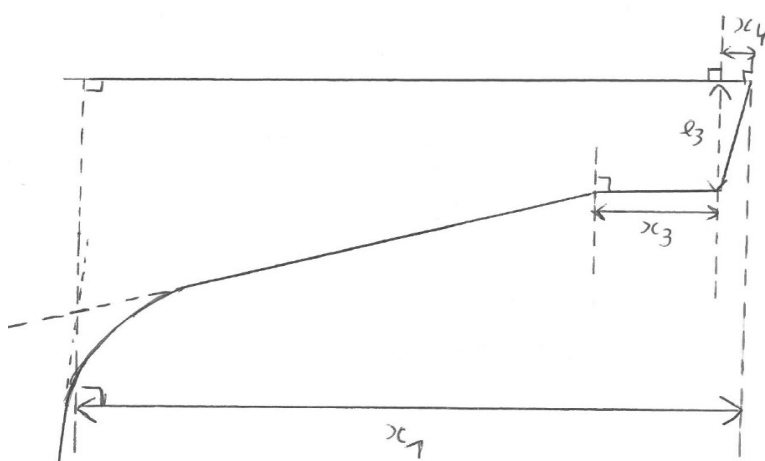
Les ouvrages, ont tous la même structure : un tablier à caisson, constitué de voussoirs 3 âmes 2 alvéoles, en béton précontraint longitudinalement, construit par encorbellement successif. A noter que la hauteur du tablier de l'ouvrage sur la Marne est variable (portée de 85 à 120m), alors qu'elle est constante pour l'ouvrage d'accès (portée de l'ordre de 50m).

Longueur des ouvrages	Bretelle 1-5	Bretelle 2-6
OA sur la marne	267m	433m
OA d'accès	260m	420m

COUPE TRANSVERSALE – MILIEU DE TRAVÉE



Plan AGC4-B du 22/06/77



L1	12,43·m
L2	6,69·m
e3	0,206·m
H	2·m
r	0,7·m
x1	2,715·m
x2	0,45·m
x3	0·m
x4	0,035·m

FERRAILLAGE – aciers transversaux supérieurs des voussoirs courants

		Aciers sup transversaux	Largeur	Ferrailage
BRETELLE 1	Viaduc d'accès *	8 HA20 + 8 HA16	2,612 m	15,78 cm²/ml
	Ouvrage sur Marne **	16 HA20	2,636 m	19,07 cm²/ml
BRETELLE 2	Viaduc d'accès ***	9 HA20 + 8 HA16	2,74 m	16,19 cm²/ml
	Ouvrage sur Marne ****	8 HA20 + 8 HA16	2,614 m	15,77 cm²/ml

* Tablier Voussoir courant Armatures type, Plan A1. A36 ind.f, du 23/11/77

** Voussoir courant armatures, Plan M1. A98 ind. A, du 07/11/78

*** Tablier Voussoir courant Armatures type, Plan A2. A36 ind ?, du ?

**** Voussoir courant âme ep 36 /45 armatures, Plans M2. A101 ind G / M2. A102 ind C, du 08/08/78

2.2. Justification de la structure du tablier

On rappelle que la possibilité d'implanter de nouveaux écrans sur les viaducs de l'échangeur de St-Maurice entre A4 et l'A86 ne pose pas de problème vis-à-vis de la flexion générale des ouvrages étant donné le faible poids propre des écrans.

Par ailleurs, l'étude de la flexion transversale du tablier des ouvrages des bretelles 1 et 2, a justifié l'implantation d'écrans de hauteur maximale 4m, positionnés au niveau de la contre-corniche.

Lors de la réunion, le DI Est a bien précisé que les écrans des bretelles 1 et 2 auraient finalement une hauteur limitée à 3 m. Les résultats sont par conséquent toujours validés.

3. JUSTIFICATIONS DES PROFILÉS ET ASSEMBLAGES

3.1. Hypothèses

Les écrans acoustiques auront une hauteur de 3 m, constitués de panneaux enserrés dans des profilés métalliques de type **HEA 160** (de poids 0,3 kN/ml de hauteur), en acier galvanisé, espacés de 2,5 m et inclinés de 7° côté chaussée. Ces poteaux sont soudés sur une platine d'ancrage. On prendra une semelle de dimension largeur 0,2 m, longueur 0,9 m et hauteur 0,33 m.

Les panneaux, dits absorbants, sont des panneaux métalliques perforés avec une laine de roche à l'intérieur. Ils sont constitués par l'empilement de petits panneaux standardisés, souvent appelés caissons. Le poids du panneau absorbant est égal à 0,35 kN/m².

Données sur les matériaux :

Caractéristiques des aciers poteaux et platines

Les profilés verticaux métalliques, platines, boulons et tiges d'ancrage mis en œuvre auront les caractéristiques suivantes :

- acier de nuance S235,
- protection contre la corrosion assurée par galvanisation et peinture.

Caractéristiques des aciers béton armé

Les armatures HA prévues posséderont une limite d'élasticité égale à $f_{yk} = 500$ MPa,
Les armatures en acier doux posséderont une limite d'élasticité égale à $f_{yk} = 235$ MPa.

Caractéristiques des bétons : C20/25

3.2. Justifications

Combinaisons de charges

Les combinaisons sont les suivantes :

- à l'ELS, la combinaison G + W,
- à l'ELU, la combinaison 1,35 G + 1,5 W.

Avec G poids propre et W charges dues au vent.

Efforts pied de poteau	ELS	ELU
Flexion axe fort (kN.m)	13,64	20,3
Effort tranchant (kN)	9,2	13,7
Effort normal (kN)	3,54	4,78

Justification des profilés :

Il est nécessaire de vérifier la résistance sous l'effet du vent en prenant en compte le moment fléchissant et l'effort tranchant en pied de poteau. Les poteaux sont espacés de **2.50m**.

Le critère de déformation sous vent en ELS, la flèche, est défini dans la partie 1 de la norme écrans : **NF EN 1794-1**, concernant les performances mécaniques et exigences en matière de stabilité.

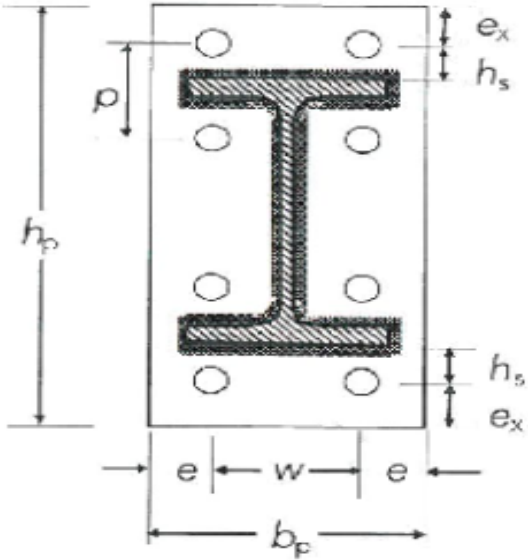
Ces vérifications s'appuient sur les valeurs trouvées pour les efforts en pied de poteau calculés en considérant la zone centrale D de l'écran.

Justifications des assemblages :

Le DIOA utilise le guide publié par le CSTB, "Assemblages des pieds de poteaux en acier - Dimensionnement des assemblages de pieds métalliques encastrés et articulés », d'Ivor RYAN (CTICM), février 2010. Ce guide prend en compte les Eurocodes, notamment les normes NF EN 1993-1-8:2005 (EC3, partie 1-8), EN 1993-1-1 (EC3, partie 1-1) et EN 1992-1-1 (EC2, partie 1-1).

RESULTATS

Dimensionnement des poteaux, platines et des ancrages :

Type de poteaux	HEA 160	
Cordons de soudure	5 mm	
Nb boulons	4 boulons $\Phi 27$ (tiges de classe 6.8)	
Longueur platine h_p	200 mm	
Largeur mini platine b_p	300 mm	
Épaisseur mini platine	10 mm	
Distance e_x	30 mm	
Distance e	40 mm	
Distance w	220 mm	

On vérifie que les sections d'acier reliant la contre-corniche au tablier supportent les efforts qui leur sont appliqués.

Les efforts qui s'appliquent à la section Contre-corniche / tablier sont les suivants :

- **Moment dû au poids de la corniche (noté M1) :**
On sait que (cf. avis DIOA du 19/12/2016 page 20) la charge due à la corniche est de 7,515 kN/ml, appliquée à la distance du centre de la contre-corniche de : $0,2 / 2 + 0,215 + [(18,367/7,515) - 2,4] = 0,359$ m
Donc $M1 = 7,515 * 0,359 = 2,698$ kN.m /ml,
- **Moment dû au vent (noté M2) :**
 $M2 = 9,16 * [(3 / 2) + 0,3] = 16,488$ kN.m /ml
- **Effort tranchant (noté V) :**
 $V = 9,16$ kN /ml,
- **Descente de charge (notée N) :**
 $N = (3,539 / 2,5) + (0,3 * 0,2 * 25) = 2,9156$ kN /ml

Résultats ;

Efforts pied de contre-corniche	ELS	ELU
Moment (kN.m /ml)	19,186	28,3743
Effort tranchant (kN /ml)	9,16	13,74
Effort normal (kN /ml)	2,9156	3,936

Les plans de ferrailage indiquent 18 cadres HA12 sur une largeur de 2,63 m, soit $2 * 7,74$ cm² /ml, entre la contre-corniche et le tablier. On vérifie que ces aciers sont suffisants pour reprendre les efforts. On utilise le logiciel ARMA, en prenant les valeurs des efforts indiqués dans le tableau précédent, avec des aciers $f_{yk} = 400$ MPa, et un béton de classe C20/25.

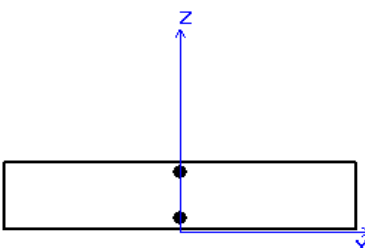
Résultats

Les aciers résistent aux efforts qui s'appliquent sur eux (cf. résultats logiciel ARMA) :

Cas de charge		(MNm)	(MN)	(m)
Etat	Nom du cas	M	N	Z0
→ ELU	Efforts ELU	0.028	0.004	0.145
ELS FTP	Efforts ELS	0.019	0.003	0.147

Les contraintes de compression dans le béton sont positives.
Les contraintes de traction dans l'acier sont négatives.

Résultats		(m)	(MPa)	
Nature	Z	Contrainte	Commentaire	
→ Béton	0.200	6.541		
	0.000	0.000		
Acier	0.170	0.000		
	0.030	-239.927		



Hauteur totale m

f_{cj} MPa

f_e MPa

Coefficients résistants

4.2. Ancrages sur la contre-corniche

Les écrans acoustiques auront une hauteur de 3 m, constitués de panneaux enserrés dans des profilés métalliques de type **HEA 160** (de poids 0,3 kN/ml de hauteur), en acier galvanisé, espacés de 2,5 m et inclinés de 7° côté chaussée. Ces poteaux sont soudés sur une platine d'ancrage. On prendra une semelle de dimension largeur 0,2 m, longueur 0,9 m et hauteur 0,33 m.

Justifications des tiges d'ancrage dans la contre-corniche :

La force de traction totale est de $20,3 / 0,14 = 145$ kN, soit dans un seul ancrage :

- un effort de traction de $145 / 2 = 72,5$ kN,
- un effort de cisaillement de $13,7 / 4 = 3,4$ kN

On prend un béton de classe **C20/25**. On propose quatre tiges en acier HA B500B filetées M27 et galvanisées à chaud, avec scellement chimique type résine HIT-RE 500. On regarde alors les abaques fournis par HILTI relatifs au scellement de fers à béton, barres B500B, avec la résine HIT-RE 500 :

Le seuil maximal de l'effort de traction dans une tige d'ancrage est vérifié selon deux formules :

- Résistance de calcul en traction de la section de la tige : $F_t' Rd = 0,9 * f_{ub} * A_s / 1,25$,
- Résistance maximale à la rupture $N_{rds} = f_{ub} * A_s / 1,5$ (cf. Annexe C - Guide d'agrément technique européen relatif aux « Généralités sur les chevilles de fixation – Révision Novembre 2006 », CSTB mai 2009).

Pour des **tiges filetées de classe 6.8 (équivalent aux barres proposées HA B500B)**, les résultats sont les suivants :

- $F_t' Rd = 0,9 * f_{ub} * A_s / 1,25 = 198,3$ kN,
- $N_{rds} = f_{ub} * A_s / 1,5 = 183,6$ kN.

L'effort de traction dans une tige de 72,5 kN est inférieur à ces valeurs limites. **Les tiges filetées de classe 6.8 conviennent avec une longueur d'ancrage de 320 mm.**

5. RENFORCEMENT DES BARRIÈRES DE SÉCURITÉ

En parallèle des travaux de mise en place d'écrans acoustiques, le DI Est demande au DIOA la possibilité de renforcer les barrières de sécurité existantes. Les ouvrages sont équipés de barrière existantes de type BN4 en rive de niveau de retenue H2.

On s'appuiera sur un document d'analyse des dispositifs de retenue sur les bretelles, rédigé par le DIOA en janvier 2016, faisant suite à un accident intervenu le 28 novembre 2015, un poids lourd circulant sur la bretelle Nogent-Créteil est sortie de la route et a percuté la barrière de sécurité.

A noter que le remplacement d'un dispositif de retenue existant non-conforme aux règles actuelles n'est pas systématique (cf. article 2.1.5 du fascicule 21 de l'Instruction Technique d'Entretien et de Surveillance des Ouvrages d'Art (ITSEO) ("Équipements des ouvrages d'art") de novembre 2011) : « *La nécessité de faire évoluer les équipements doit être appréciée en fonction des évolutions constatées sur les trafics, notamment piétons et poids lourds, et en regard de la fréquence et de la nature des accidents.* »

D'un point de vue réglementaire, l'article 8 de l'arrêté du 2 mars 2009 relatif aux performances et aux règles de mise en service des dispositifs de retenue routiers soumis à l'obligation de marquage CE (dit arrêté « RNER ») indique que « *Les dispositifs de retenue (...) sont mis en conformité (...) lors de travaux de réhabilitation de dispositifs de retenue sur un linéaire important.* ». **La mise en conformité implique la mise en place de barrières marquées CE (les barrières de type BN4 ne sont pas CE). Cependant le guide Cerema de décembre 2014 autorise le passage d'une BN4-13T à BN4-16T.** Le guide indique qu'il est envisageable (§4.2.1) : « *sous réserve que les largeurs réglementaires du profil en travers et le gabarit de protection soient respectés. En effet, cette modification est considérée comme localisée.* »

Le rapport évalue le niveau de retenue, qui caractérise des barrières adaptées à la retenue de PL, par application de la méthode de l'indice de danger décrite dans le Guide Cerema « Dispositifs de retenue routiers marqués CE sur ouvrages d'art », décembre 2014 (cf. norme NF EN 1317-2 décrivant les niveaux de retenue des barrières de sécurité. Pour avoir un niveau de retenue requis, une barrière de sécurité doit subir un essai de choc. Les conditions de cet essai sont définies par le type de véhicule, sa masse totale, sa vitesse d'impact et l'angle d'impact).

Conclusion du rapport : il est recommandé de passer d'une barrière existante BN4-13T « classique » de niveau de retenue H2 à une BN4-16T de niveau H3, en remplaçant simplement la lisse supérieure (lisse 100x100x4 mm par lisse 160x100x4 mm).

Estimation financière :

Connaissant les longueurs des ouvrages, on en déduit le linéaire total à prendre en compte pour le changement de la lisse supérieure des BN4 d'environ **2,8 km**.

- Fourniture de la lisse supérieure (160x100x4 mm) : on prend 2€ /kg.
Prix : (Section * Linéaire * 7800 kg/m³) * 2 = 0,002016 * 2800 * 7800 * 2 = 88060 €
- Dépose et pose de la lisse : on prend 20€ /ml.
Prix : 20 * 2800 = 56000 €

**TOTAL : 144 060 € HT
 172 872 € TTC**

6. CONCLUSION

La possibilité d'implanter de nouveaux écrans de 3 m de hauteur sur les viaducs de l'échangeur de St-Maurice entre A4 et l'A86, Bretelles 1 et 2, ne pose pas de problème vis-à-vis de la flexion générale des ouvrages, ainsi qu'en flexion transversale du tablier.

Par ailleurs, il est opportun de profiter de ces travaux pour renforcer les barrières de sécurité BN4 existantes.



Département d'Ingénierie Est
65-71, Avenue Faidherbe
93315 Le Pré-Saint-Gervais
Tél. : 01 49 15 43 03
Fax : 01 48 43 42 67

www.dir.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr