

AUTOROUTE CASABLANCA – RABAT

AMENAGEMENT A 2 x 3 VOIES

ELARGISSEMENT DES VIADUCS

Par :

MM : O.SIKKAL (ADM/DT) ; M.AIT EL AAL (LPEE/CEGT).
Mme A.SKIKER (LPEE/CEGT).

Résumé :

L'Autoroute Casablanca-Rabat construite entre les années 78 et 87, concentre la majorité du flux entre le Nord, le Sud et le Centre du royaume. Le projet d'élargissement de cet axe autoroutier à 2x3 voies concerne le tronçon situé entre la bifurcation au niveau de Mohammedia vers le contournement Sud de Casablanca et la bifurcation au niveau de Hay Riad vers la rocade de Rabat, sur une longueur d'environ 57 km. Une grande partie de l'élargissement sera réalisée par l'intérieur au niveau du Terre Plein Centrale (85% du tracé).

Les contraintes de cet aménagement sont nombreuses : La réalisation des travaux sous circulation, les constructions avoisinantes, les réseaux divers ; conduites d'eau ; lignes électriques etc... Compte tenu de la nature des travaux et dans le souci de préserver une circulation fluide, les travaux ont été programmés avec un découpage de l'axe en cinq sections élargies par l'intérieur et quatre sections élargies par l'extérieur.

Le passage à 2x3 voies nécessite l'élargissement des quatre viaducs situés sur oued Yquem, Cherrat, N'fifikh et El Maleh. Trois ouvrages sont de type poutres précontraintes à travées indépendantes (VIPP). Un ouvrage est en double caisson en béton précontraint (Oued Cherrat). La variante choisie, pour l'élargissement, s'est portée sur une nouvelle structure en poutres précontraintes de part et d'autre de l'ouvrage, liaisonnées avec les poutres existantes, moyennant un système mixte d'entretoises en béton et en acier avec précontrainte transversale.

Les points les plus délicats pour la réalisation de ces élargissements sont : la conception de la liaison avec les viaducs existants à savoir l'emplacement des entretoises de liaison intermédiaires, la fabrication et la mise en œuvre des bétons dans ces parties d'ouvrage, l'exécution des travaux au niveau du joint longitudinal non apparent à revêtement amélioré entre l'ancien et le nouveau tablier, ainsi que l'hydro démolition des rives du tablier en gardant le ferrailage intact.

Cet article relate les difficultés techniques rencontrées pour la réalisation des travaux d'élargissement des viaducs de l'Autoroute Casablanca-Rabat ainsi que toutes les dispositions particulières à adopter.

PARTIE I. PRESENTATION DU PROJET :

L'Autoroute de Casablanca - Rabat constitue le maillon central du réseau d'armature autoroutier du royaume du Maroc. Elle relie la capitale économique et la capitale administrative du pays sur une longueur d'environ 100 km et concentre sur son tracé la majorité des flux entre le Nord, le Sud et le Centre du Royaume.

Le projet d'élargissement de cet axe autoroutier à 2x3 voies concerne le tronçon situé entre la bifurcation vers le contournement Sud de Casablanca et la bifurcation vers la rocade de Rabat, sur une longueur d'environ 57 km.

L'élargissement de l'Autoroute Casablanca - Rabat permettra de disposer d'une infrastructure pouvant supporter l'évolution croissante du trafic sur cet axe.

I.1. Consistance des travaux :

Les travaux d'élargissement concernent:

- L'élargissement de la section courante de l'Autoroute. Un linéaire de 85% sera élargi par l'intérieur au niveau du terre plein central et les 15% du linéaire restant seront élargis par l'extérieur à l'approche des viaducs;
- La surélévation des Passages Supérieurs pour les mettre au gabarit réglementaire et pour disposer d'une marge de 15 à 25 cm pour les travaux de renforcements futurs des chaussées.
- L'élargissement par l'extérieur des viaducs sur Oued Ykem, Oued Cherrat, Oued Nfifikh et Oued El Maleh;
- Le prolongement des ouvrages hydrauliques et ouvrages de rétablissements enterrés tels que PP, PV et PI.

I.2. Organisation des travaux :

Les contraintes de cet aménagement sont nombreuses : La réalisation des travaux sous circulations, les constructions avoisinantes, les protections, déviations, rétablissements des réseaux divers existants (conduites d'eau, les lignes électriques etc...)

Compte tenu de la nature des travaux et dans le souci de préserver une circulation fluide, les travaux d'élargissement ont été décomposés en plusieurs lots de marché qui sont :

- **Lot 1** : Dégagement du TPC (enlèvement des arbustes, autres...)
- **Lot 2** : Prolongement de plusieurs ouvrages hydrauliques au droit du terre plein central.
- **Lot 3** : Travaux d'élargissement proprement dit au niveau de la section courante.
- **Lot 4** : Travaux d'élargissement des viaducs.
- **Lot 5** : Ce lot comporte plusieurs marchés de travaux tels que les travaux de rétablissement des contraintes réseaux et les travaux relatifs aux lots annexes.

Il importe de signaler que les travaux, sur la plate forme courante à l'intérieur de l'emprise, sont interdits pendant la période estivale qui est à fort trafic (du 1er juillet au 15 septembre de chaque année).

A noter également que le chantier a été décomposé en 5 sections d'élargissement par l'intérieur dont la longueur varie entre 9 et 13 Km environ et quatre sections d'élargissement par l'extérieur dont la longueur varie de 1 à 2 Km environ, en plus de quatre sections élargies par l'extérieur qui varient de 1 à 2 Km, ainsi que la reprise des bretelles d'entrées et de sorties de Mohammedia Ouest et Est.

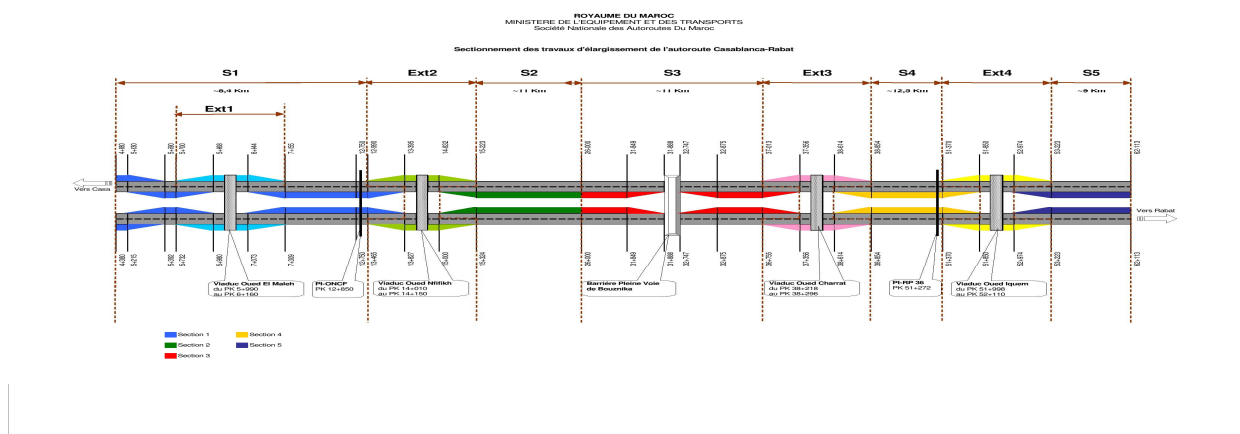


Fig n°1: Sectionnement des travaux

Par ailleurs, le cahier des charges précise que les travaux de deux sections concomitantes (S1/S2/S3/S4/S5) ne pourront avoir lieu simultanément.

Tenant compte tenu du Plan de Mouvement des Terres (PMT), des délais nécessaires à la reconnaissance et à l'agrément des matériaux et la réalisation des études de formulations, des planches d'essais et de références ainsi que les dates limites d'exécution des travaux et des contraintes techniques liées au sectionnement des travaux fixés par le Maître d'Oeuvre dans le CCAP, le phasage retenu pour les travaux du lot3 est comme suit :

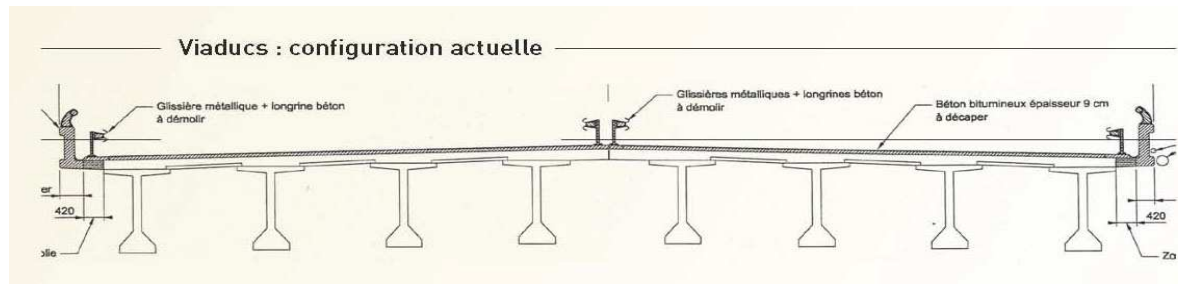
	Sens Casa-Rabat		Sens Rabat-Casa	
	Section	Longueur (Km)	Section	Longueur (Km)
1^{ère} année	S1	1.3	S1	1.6
	Ext 1	1.4	Ext 1	1.6
	Ext 2	2.23	Ext 2	1.9
	S4	12.5	S4	12.5
2^{ème} année	S2	11	S2	11
	Ext 3	1.8	Ext 3	2
	S5	9	S5	11
3^{ème} année	S1	5.8	S1	6.2
	S3	11	S3	10.8
	Ext 4	1.9	Ext 4	1.9

Ainsi pour tenir compte de ce programme, le contrat établi concernant les travaux d'élargissement des quatre viaducs a fixé le programme d'intervention suivant :

	Ouvrages
1^{ère} année	Viaduc sur oued el Maleh
	Viaduc sur oued N'fifikh
2^{ème} année	Viaduc sur oued Cherrat
	Viaduc sur oued Yquem

PARTIE II. PRINCIPE DE L'ELARGISSEMENT DES VIADUCS :

Le passage à 2x3 voies a nécessité l'élargissement des 4 viaducs situés sur oued Yquem, Cherrat, N'fifikh et El Maleh. (Les ouvrages étant soit de type poutres précontraintes à travées indépendantes, soit en double caisson de béton précontraint). L'élargissement des quatre viaducs est réalisé suivant le même principe qui consiste en l'élargissement des viaducs en rives extérieures par l'ajout de deux poutres en béton précontraintes de part et d'autre des ouvrages, liaisonnées avec les poutres existantes par un système mixte d'entretoises en béton et en acier avec précontrainte transversale.



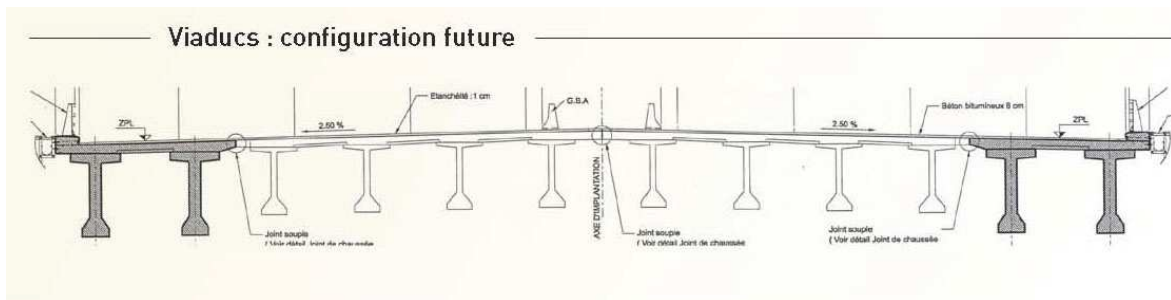


Fig n°2: Principe d'Elargissement des viaducs (Cas de viaducs sur oued Yquem, N'fifikh et El Maleh)

Le principe général de cette conception particulière d'élargissement est de soulager l'ancienne structure en faisant en sorte qu'elle s'appuie sur la nouvelle pour lui transmettre une bonne partie de ses sollicitations. Pour répondre à cette préoccupation, deux dispositions sont mises en œuvre à savoir :

- La nouvelle structure a une inertie plus importante que celle de la structure existante.
- Des entretoises sont mises en place pour relier les deux structures et permettre un report de charges de l'ancienne structure vers la nouvelle.

Des entretoises métalliques de liaison sont donc prévues entre les deux structures : Deux entretoises d'about, et trois entretoises intermédiaires mises en place dans chaque travée et sur chaque rive de chacun des quatre ouvrages, entre les structures anciennes et nouvelles.

Ce dispositif est complété par des entretoises en béton armé situées dans la même position que les entretoises métalliques au niveau des deux poutres de rive du viaduc existant et au niveau des nouvelles poutres à réaliser. Ce système assurant l'appui de l'ancienne structure sur la structure nouvelle va permettre une meilleure répartition de charges en minimisant les sollicitations. En effet, les entretoises de liaison en acier rendent donc solidaires l'ancienne et la nouvelle structure par mise en œuvre d'une précontrainte transversale qui s'applique, sur chaque rive de l'ouvrage élargi, de l'extérieur des entretoises de la nouvelle structure et à l'intérieur des entretoises rapportées sur l'ancienne structure.

PARTIE III. INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES :

Les principales investigations menées sur les viaducs existants de l'Autoroute de Casa-Rabat et dont les résultats étaient essentiels pour la conception définitive de leur projet d'élargissement sont les suivantes :

- Le contrôle de l'état des câbles de précontraintes et du coulis d'injection.
- La localisation des armatures et des câbles de précontraintes longitudinales des poutres existantes pour pouvoir déterminer par la suite, l'emplacement des barres de précontraintes transversales des entretoises de liaison (type Freyssibar).

III-1 .Présentation des méthodes d'investigation complémentaires :

Pour réaliser les campagnes d'investigation suscitées, le LPEE s'est appuyé sur les méthodes utilisant les techniques de gammagraphie, en première investigation, et au radar par la suite.

• Technique de gammagraphie :

Le principe de cette technique (moyennant une source scellée en matière radioactive) repose sur l'atténuation du rayonnement en fonction de la nature et de l'épaisseur des matériaux traversés, ce qui se traduit sur le film par une variation de la densité optique.

C'est une technique non destructive applicable sur les ouvrages d'art en béton armé et béton précontraint qui a pour objet de rechercher :

- Les défauts de béton (fissure – ségrégation – corps étranger...);
- Les défauts des armatures, de leurs caractéristiques géométriques et leurs positions ;
- Les dégradations des câbles de précontraintes (rupture, corrosion) ;
- Les défauts du coulis d'injection.

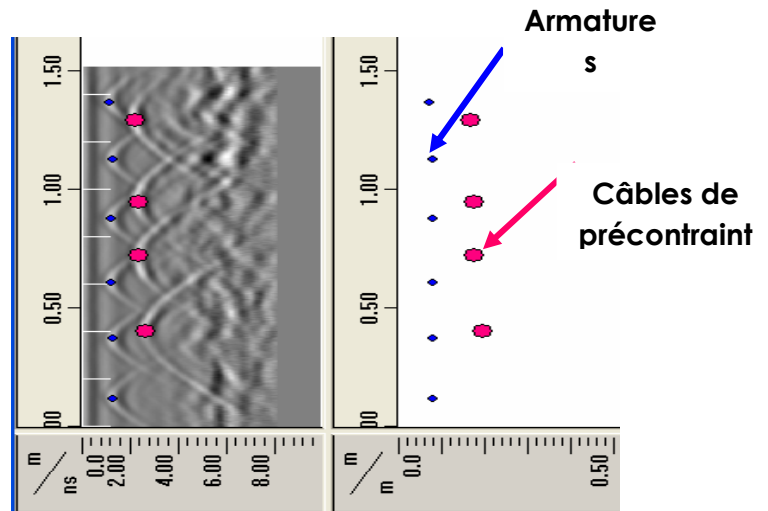
- **Technique au radar :**

Cette technique est basée sur la propagation des ondes électromagnétiques dans les matériaux et leur réflexion à l'interface des matériaux de caractéristiques électromagnétiques différentes. Elle permet d'ausculter des profondeurs allant du 1 à 50 cm, dans le cas de radar béton avec une antenne de 1,6 GHz type radar SIR 3000 de GSSI.

Les radars grammes constituant les enregistrements et donnés en coupes temps, permettent une première exploitation immédiate sur le site. Le traitement avec logiciel permet l'amélioration des images radar et l'établissement des sorties d'exploitation en forme appropriée.



Ph 1 : Radar pour détection des aciers



Ph 2 : Rendus d'auscultation Radar

III.2.Consistances et résultats des investigations complémentaires :

- **Contrôle gamma graphique :**

Ce contrôle effectué essentiellement pour s'assurer de l'état des câbles de précontrainte et du coulis d'injection, a consisté à faire un balayage sur toute la hauteur et dans une zone choisie sur la poutre concernée par l'essai.

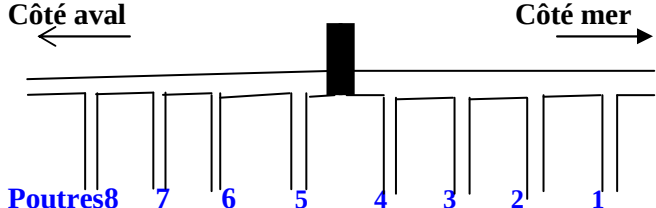
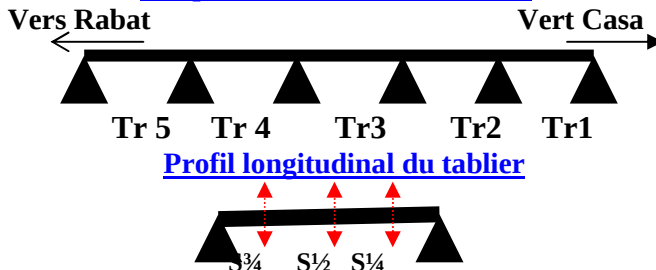
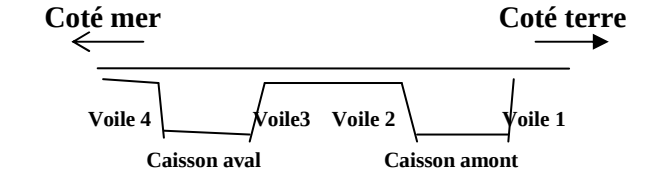
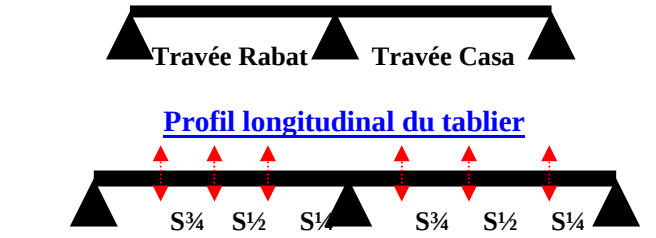
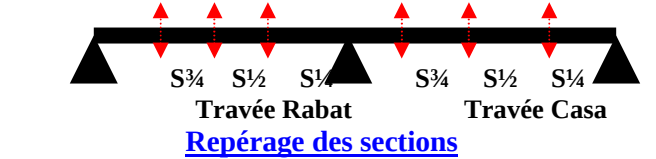
Les examens des films radiographiques ont montré que les câbles de précontraintes sont généralement dans un état satisfaisant et le coulis d'injection ne présente pas de dégradations dans la majorité des cas, excepté quelques discontinuités localisées par endroit sur certains ouvrages.

- **Auscultations au radar :**

Ces auscultations étant réalisées dans le but de situer les armatures et les câbles de précontraintes sur les deux poutres de chaque côté du tablier, au niveau des sections où seront implantées les entretoises de liaison avec les poutres d'extension. Ces sections correspondent au quart, à la moitié et aux trois quarts de la longueur de chaque travée. Autour de chacune des sections, une zone de 2 m de largeur a été auscultée sur les poutres. Ces auscultations ont permis de dégager pour chacune des bandes les résultats concernant :

- La présence des câbles et leur nombre dans chaque partie des poutres (talons et âmes);
- La position des câbles situés dans l'âme des poutres par rapport à la base du talon;
- Les espacements des armatures passives;
- L'enrobage des aciers et câbles en question par rapport à la surface du béton des poutres.
- Des fenêtres d'ouverture dans la position du fuseau pour déterminer la tolérance.

Les résultats des mesures sur les positions des câbles de précontraintes sont synthétisés dans le tableau suivant :

Ouvrages	Type	Repérage des sections	Résultats
Viaducs sur oueds : Yquem, El maleh, et Nfifikh  <i>Pont sur l'oued N'Fifikh</i>	VIPP (Ouvrages en poutre précontrainte à travée indépendante)	Côté aval ← Côté mer →  Poutres 8 7 6 5 4 3 2 1 <u>Coupe transversale sur tabliers</u> Vers Rabat ← Vert Casa →  Tr 5 Tr 4 Tr 3 Tr 2 Tr 1 <u>Profil longitudinal du tablier</u>  <u>Repérage des sections sur travées</u>	-Pour les sections 1/2 ne comportant pas les câbles de précontraintes au niveau des voiles, le forage transversal ne pose pas de problème particulier. -Pour les autres sections (1/4 et 3/4), l'emplacement des forages doit tenir compte de la position des gaines de précontraintes existante dans les âmes des voiles. A prendre en considération également, les incertitudes de positionnement des câbles liées à la méthode de détection, de mesurage, et de défauts de coffrage des caissons (positions indiquées à ± 5 cm). -Dans tous les cas, il importe de ne pas forer dans les goussets des caissons compte tenu de l'existence systématique des câbles.
Viaduc sur oued Cherrat  <i>Pont sur l'oued Cherrat</i>	Ouvrage avec tabliers en double caisson en béton précontraint	Côté mer ← Côté terre →  Voile 4 Voile 3 Voile 2 Voile 1 Caisson aval Caisson amont <u>Coupe transversale tablier</u> Vers Rabat ← Vert Casa →  Travée Rabat Travée Casa <u>Profil longitudinal du tablier</u>  S $\frac{3}{4}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{3}{4}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ Travée Rabat Travée Casa <u>Repérage des sections</u>	-Pour les sections 1/4 et 1/2 à compter de la culée côté Casablanca (travée rive gauche) et les sections 1/2 et 3/4 à compter de la pile côté Rabat (travée rive droite) ne comportant pas les câbles de précontraintes au niveau des voiles, le forage transversal ne pose pas de problème particulier. -Pour les autres sections 1/4 (travée côté Rabat) et 3/4 (travée côté Casablanca), l'emplacement des forages doit tenir compte de la position des gaines de précontraintes existante dans les âmes des voiles. A prendre en considération également, les incertitudes de positionnement des câbles liées à la méthode de détection, de mesurage, et de défauts de coffrage des caissons (positions indiquées à ± 5 cm). - Dans tous les cas, il importe de ne pas forer dans les goussets des caissons compte tenu de l'existence systématique des câbles.

PARTIE IV. EXECUTION DES TRAVAUX :

Les points les plus délicats dans l'exécution des travaux résidaient dans le positionnement et la réalisation des entretoises, l'aménagement des rives des tabliers ainsi que la réalisation du joint longitudinal à revêtement amélioré entre les deux tabliers.

IV.1.Réalisation des entretoises :

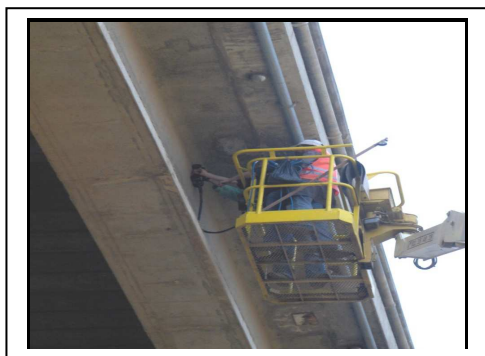
La réalisation des entretoises et des renforts des âmes qui doivent être ajoutés aux deux poutres de rive des tabliers existants, pour les quatre ouvrages concernés, est celle de simples pièces en béton armé. Toutefois cette réalisation a nécessité des précautions concernant:

- Le forage de trous pour les barres de précontraintes transversales et les aciers prévus (forages biais par rapport à l'axe longitudinal des poutres);
- La mise en œuvre du béton en tenant compte des contraintes du chantier (travaux réalisés sous circulation et manque d'espace pour la mise en place d'un béton conventionnel vibré (BCV).

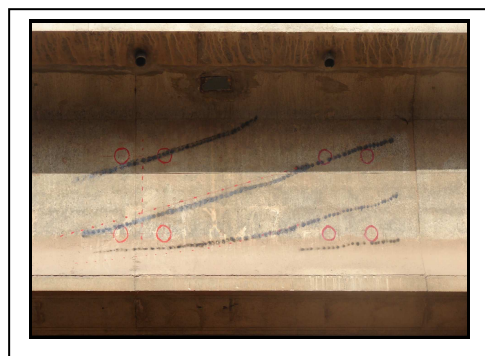
IV.1.1.Forage des trous :

Le projet prévoit l'emplacement de quatre barres Ø32 et Ø36 de précontraintes transversales de liaison en trois zones (1/2, 1/4, et 3/4) sur les deux poutres de rive existantes. Ces barres de diamètre Ø32 (haut), et Ø36 (bas) seront espacées de 45 cm horizontalement et 75 cm verticalement. Pour pouvoir positionner les trous de Ø150 correspondant aux gaines de ces quatre barres de précontraintes transversales sans toucher aux câbles précontraints des poutres existantes et pour éviter le moindre risque, une deuxième campagne d'auscultation au radar a été entreprise sur les deux poutres de part et d'autre de l'ouvrage, en procédant cette fois à un positionnement des câbles sur toute la longueur des poutres. Des fenêtres ont été aménagées dans le béton (20x20cm) sur quelques poutres pour confirmer physiquement la position des câbles donnée par le radar (elle a été de ± 3 cm de manière aléatoire) et pour une estimation de l'enrobage (5 cm).

Le résultat du positionnement issu de cette campagne, étant reporté directement sur les poutres au niveau du site, il a été procédé ensuite, à un relevé topographique des tracés des câbles et dont les données ont été enregistrées sur un support numérique (AutoCAD) pour les traiter et sortir ensuite avec un emplacement adapté et identique pour l'ensemble des poutres des viaducs. Le positionnement retenu après une vérification des notes de calculs, se situe au niveau de l'axe et à 2,50 m de part et d'autre de l'axe de chaque poutre. Emplacement où les câbles passent au talon des poutres existantes.



Ph 3 : Détection des câbles par radar



Ph 4 : Tracé des câbles sur poutre

En fonction de ce repérage, il y a eu lieu de positionner, dans le coffrage des nouvelles poutres, les gaines de réservation destinées à mettre en œuvre la précontrainte transversale de solidarisation des structures, de façon à avoir un, vis-à-vis des trous à forer dans les âmes de poutres existantes en tenant compte du biais de l'ouvrage. Aussi, pour mieux les positionner il a été tenu compte de la déformation à venir due au retrait du béton, au fluage et à la poutre précontrainte pour leur réalisation. Ainsi, les gaines ont été implantées avec une réserve plus importante qui est de 20cm au lieu de 15cm.

Les trous dans les âmes des deux poutres existantes seront exécutés, après avoir réalisé les nouvelles poutres. Il a été tenu compte de la position correspondante des gaines dans les nouvelles poutres d'une part, et d'autre part en anticipant dans la mesure du possible les petites déformations restant à venir dans le béton de ces poutres jusqu'à la mise en tension de la précontrainte transversale. Le réglage définitif de la position des trous devrait assurer également que les trous dans les poutres neuves et les poutres existantes sont bien dans l'alignement au moment où les barres sont enfilées pour les tendre. C'est ainsi que le forage des trous s'est effectué avec une réserve moins importante qui est de 10 cm au lieu de 15 cm. La position définitive dans les anciennes poutres sera déterminée physiquement moyennant des visées laser à partir des trous réservés dans les nouvelles poutres et la vérification par une barre rigide ayant la longueur de l'alignement des différents trous avant d'entamer leurs forages au fur et à mesure.

IV.1.2.Caractéristiques des bétons des entretoises :

1. Rappel des exigences du CCTP :

Les quatre viaducs se situent à quelque centaine de mètres des cotes atlantiques et donc ils peuvent présenter des risques de corrosion des armatures compte tenu de leur exposition à l'air véhiculant les sels marins. Ajoutons à cela les dégradations qui peuvent être à l'origine de l'alcali-réaction. Pour se prémunir contre ces types de dégradation et accroître la durée de vie de ces ouvrages en béton, dès la phase de conception et en concertation avec le LPEE, un certain nombre de critères performantiels pertinents et objectifs en matière de durabilité ont été pris en compte.

Ces critères de durabilité étant déterminés en fonction du taux d'agressivité du milieu et des caractéristiques des matériaux locaux, le CCTP a prévu parmi les exigences sur la qualité des granulats utilisés dans le béton, leur qualification vis-à-vis de l'alcali-réaction selon le référentiel P18-542, en prenant en considération un niveau de prévention B. Pour le ciment, en plus de sa conformité à la norme NM 10-1-004, une exigence supplémentaire a été retenue relative à la teneur en C3A du ciment qui ne devra pas excéder 10%. En effet, le ciment ayant cette caractéristique permet de conférer au béton une résistance accrue à l'agression des sels marins.

Les classes de béton à résistance mécanique spécifiée dans le CCTP sont données dans le tableau suivant :

Destination Partie d'ouvrage	Désignation Simplifiée	Dosage minimal en ciment (kg/m3)	Résistance caract. à la compression (MPa)
Chapes, Scellement, calage et montages divers	M30 ou MB30(*)	400	30
Scellement des joints de chaussée	MB35(*)	400	30
Béton et béton armé	B20	250	20
Béton Armé	B25	350	25

Pieux	B30	400	30
Béton projeté	B projeté	400	22
Appuis en élévation...	B35	450	35
Hourdis, etc	B40	450	40
Poutres en béton précontraint pour VIPP	B45	450	45
Plaques d'abouts pour Poutres en béton précontraint	B45	450	45

En ce qui concerne le bétonnage des entretoises, le CCTP a prévu l'utilisation d'un béton à retrait limité.

2. Critères retenus pour la formulation du béton des entretoises :

Compte tenu des exigences du CCTP et des contraintes de mise en œuvre, le béton proposé pour les entretoises est un béton autoplaçant (BAP). Il s'agit d'un béton très fluide, homogène et stable, mis en œuvre sans vibration (la mise en place des BAP s'effectue par le seul effet gravitaire) et conférant à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant aux bétons conventionnels mis en œuvre par vibration.

• Caractéristiques retenues du béton (BAP) :

Trois critères importants sont recherchés pour ce BAP à savoir :

- Une ouvrabilité suffisante définie par l'essai d'étalement,
- Une stabilité interne du béton assurant une résistance à la ségrégation et au ressuage,
- Des performances mécaniques conformes aux spécifications du CCTP.

Pour l'ouvrabilité, les valeurs cibles d'étalement mesurées au cône d'Abrams doivent être comprises entre 60 et 75 cm à la mise en œuvre.

Pour des raisons de stabilité, il est indispensable de s'assurer de la résistance du béton à la ségrégation car la grande fluidité du BAP peut conduire à un mauvais maintien en suspension des gravillons. C'est pour cette raison que le Dmax a été fixé à 16 mm.

• Formulations du béton autoplaçant (BAP)

Compte tenu de la grosseur des granulats, le volume de la pâte nécessaire pour remplir les vides intergranulaires se situe entre 450 et 500 Kg/m³. En absence des ajouts minéraux, trois compositions nominales ont été proposées en faisant varier le dosage en ciment :

- Composition BAP 1 dosé à 450 Kg/m³ de ciment,
- Composition BAP 1 dosé à 480 Kg/m³ de ciment,
- Composition BAP 1 dosé à 500 Kg/m³ de ciment.

Pour chaque composition nominale le rapport G/S est de l'ordre de 1 et le rapport E/C est inférieur à 0,42 en tenant compte de l'absorption des granulats.

L'utilisation d'un adjuvant de 3^{ème} génération est nécessaire notamment l'adjuvant CHRYSO FLUID OPTIMA 206 (déjà testé dans d'autres chantiers). Le dosage en cet adjuvant est de l'ordre de 1,5 à 2% par rapport au poids du ciment pour avoir des valeurs d'étalement de l'ordre de 65 cm.

Les formulations nominales du Béton (BAP) testées sont comme suit :

Formule	γ_s	%	BAP 3	BAP 2	BAP 1
constituants			dosage (Kg/m ³)	dosage (Kg/m ³)	dosage (Kg/m ³)
Sable de dune	2.63	15	252	266	258
Sable de concassage	2.68	35	599	633	613
Grain de riz	2.68	10	171	181	175
Gravette GI	2.71	40	693	732	708
CIMENT	3.10		500	450	480
Eau	1.00		200	180	192
Adjuvant			8 à 10	7 à 9	7 à 9.6

Compte tenu des résultats des mesures de l'étalement, la formule retenue est la BAP 3.

Le tableau suivant récapitule les résultats des essais physiques et mécaniques réalisés sur les prélèvements des bétons testés.

Caractéristiques	Densité du béton (t/m ³)	Etalement (cm)	RC à 7j (MPa)	RC à 28j (MPa)
Nombre	3	3	3	?
Minimum	2.42	65	33.0	?
Moyenne	2.42	65	34.0	?
Maximum	2.43	65	35.0	?
Spécifications		65 cm		> 40 MPa

- **Epreuve de convenance du béton auto plaçant (BAP) :**

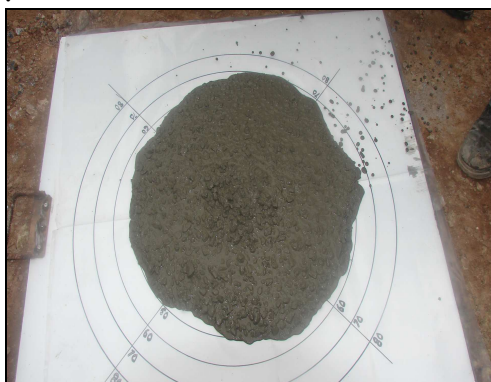
Les épreuves de convenance ont été conduites au niveau de la centrale à béton pour vérifier la formulation de béton testée avec les moyens de chantier.

Le tableau suivant récapitule les résultats des essais physiques et mécaniques réalisés sur les prélèvements des bétons effectués.

Caractéristiques	Densité du béton (t/m ³)	Etalement (cm)	RC à 7j (MPa)	RC à 28j (MPa)
Nombre	3	2	3	?
Minimum	2.42	65	34.8	?
Moyenne	2.44	65	35.0	?
Maximum	2.45	65	35.3	?
Spécifications		65 cm		> 40 MPa

Par ailleurs, un Plot d'essais a été exécuté sur le chantier au niveau du viaduc sur oued El Maleh entre deux poutres existantes et ce, pour le mettre sous les mêmes sollicitations qui peuvent affecter le béton. Ainsi, le plot d'essai est considéré comme un béton témoin pour vérifier que le mode d'exécution prévu pour le bétonnage est bien compatible avec la formulation retenue, notamment en ce qui concerne la consistance du béton frais et pour contrôler l'aspect du béton durci quant au retrait et la présence de fissures éventuelles liées

aux sollicitations de l'ouvrage sous circulation. L'examen de ce plot d'essai n'a révélé aucun comportement suspect.



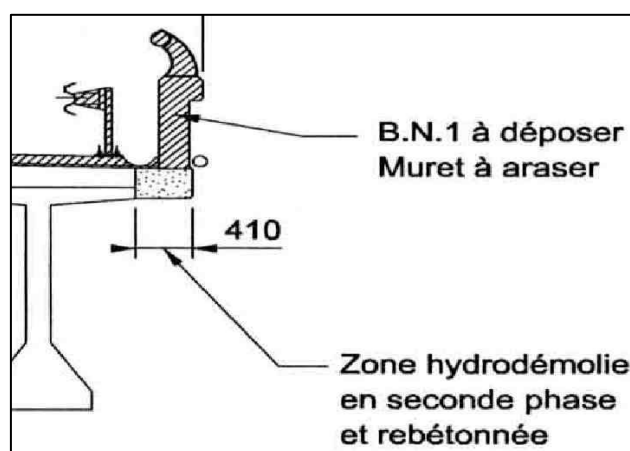
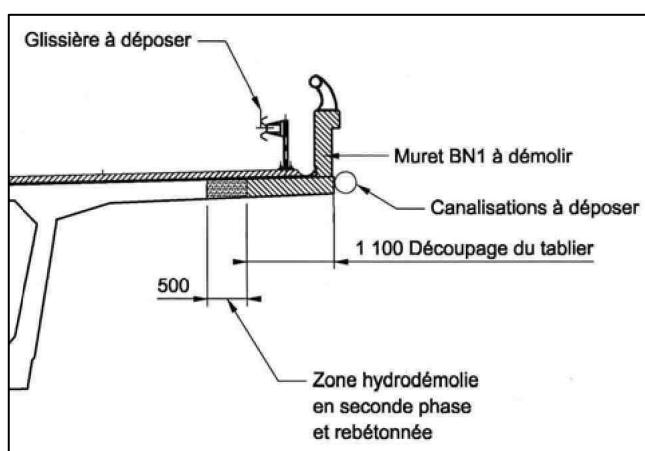
Ph 5 : Essai d'étalement



Ph 6 : Plot d'essais

IV.2.Aménagement des rives de tablier :

Dans le cadre des travaux d'élargissement des quatre viaducs sur oueds, le projet a prévu la suppression de l'extrémité de l'encorbellement de l'ouvrage existant en procédant à des travaux de démolition des rives des ouvrages existants notamment les murets en béton BN1. Pour permettre cette opération, il a été convenu de commencer par la démolition partielle des rives des ouvrages qui doivent être privées de leurs dispositifs de sécurité. Une partie est simplement démolie; une autre partie est hydro-démolie de façon à reconstituer ensuite une rive d'ouvrage propre, en complétant les aciers en place ainsi préservés par des aciers complémentaires et reconstitution d'un about d'encorbellement avec un béton sans retrait, selon les schémas ci-dessous :



Pour réaliser ces travaux, plusieurs méthodes ont été employées selon le but recherché à savoir:

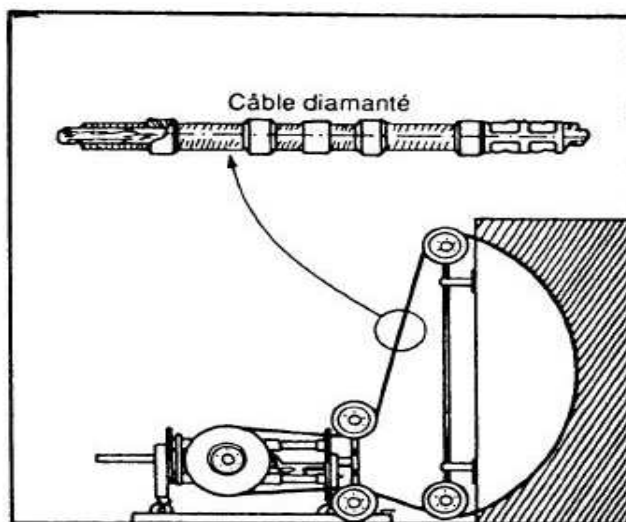
- Sciage des bétons par scie à câble diamanté,
- Hydro démolition par jet d'eau à haute pression
- Eclateurs DARDA
- Brise béton pneumatique...etc.

Dans les paragraphes suivants, nous décrivons les phasages de démolition et le mode opératoire de chaque méthode.

• PHASE 1 - Le découpage du BN1 :

La technique utilisée est basée sur le sciage des blocs en béton armé à l'aide de câble diamanté. Son principe de fonctionnement consiste à relier le câble à une machine qui assure son mouvement selon un sens de rotation donné et moyennant un jeu de poulies permettant l'orientation du câble et la définition du plan de coupe.

L'effet de frottement du câble avec le béton permet le découpage du béton et des armatures. Cette opération se déroule en présence d'eau autour du câble pour le refroidissement.



La scie à câble et sa commande doivent être placées à proximité du bloc à découper. Pour notre cas, la machine est placée entre le muret BN1 et le séparateur de voie BT4.

La découpe est entamée à partir du joint transversal du tablier au niveau du muret BN1 côté Casa. Pour ce faire, deux plans de coupe sont exécutés :

- Plan vertical sur la hauteur du muret,
- Plan horizontal au niveau de la base du muret

Pour le premier plan, il a été procédé à un forage à la base du muret par lequel on fait passer le câble diamanté pour fermer la boucle, ensuite il a été procédé à la découpe de ce plan.

La deuxième phase consiste à placer le câble à la base du muret, le guidage est assuré par les poulies, ainsi la coupe du plan horizontal est opérée du bout en bout du muret (3 à 4 ml).

• PHASE 2 – Dépose de BN1 :

Au cours des opérations de coupes de la phase 1, le bloc du muret reste accroché au tablier, et une fois la coupe est terminée, le bloc est évacué par grue à l'extérieur du tablier.

• PHASE 3 – Garde corps de sécurité – dégagement de caniveau :

Au fur et à mesure de l'enlèvement du muret BN1, la mise en place de garde-corps provisoires a été effectuée dans les parties dégagées pour la sécurité du personnel opérant sur le tablier.

L'enlèvement de l'étanchéité et de l'enrobé au droit de caniveau est opéré par marteau piqueurs sur une épaisseur de 4 à 5cm.

- **PHASE 4 - Saignée dans le tablier :**

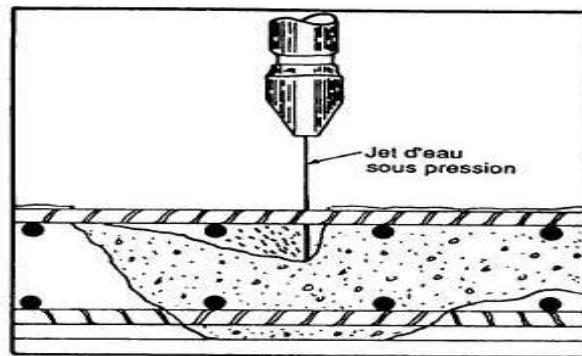
Dans cette phase, l'hydro-démolition, dont le principe de base est explicité ci-après, est utilisée pour réaliser une saignée de 10 cm de large et de 10 à 12 cm de profondeur au droit de caniveau, et précisément dans la limite de la lame de la poutre de rive.

Le but recherché est de :

- Faire apparaître les ferraillages pour pouvoir les éviter au moment de forage des trous pour l'éclatement du béton.
- Créer un joint de faiblesse qui absorbe les fissures et délimite leurs propagations dans le tablier au moment de l'utilisation de la méthode de DARDA.

Le principe de base de la technique jet d'eau à très haute pression consiste à projeter à très grande vitesse un filet d'eau continu à travers une buse de faible diamètre. Celle-ci donne au jet son diamètre final avant le contact avec le béton à découper. Pour atteindre ce résultat, l'eau doit être portée à une très forte pression (à partir de 1000 bars) à l'aide d'un générateur hydraulique.

Le matériel utilisé sur chantier est un groupe de pompage marque URACA qui peut atteindre 2800 bars, qui a permis d'assurer l'hydro démolition des parties de tablier tout en laissant les armatures intactes.



- **PHASE 5 – Eclatement de béton :**

L'éclateur hydrauliques DARDA est utilisé pour la démolition du tablier qui permet de garder les armatures intactes.

La technique de l'éclatement dont la découpe s'opère de l'intérieur du matériau, se base sur le fait que le béton ne présente qu'une faible résistance à la traction. La force d'éclatement réelle étant supérieure à 413 tonnes, engendre ainsi la rupture du béton par l'intérieur.

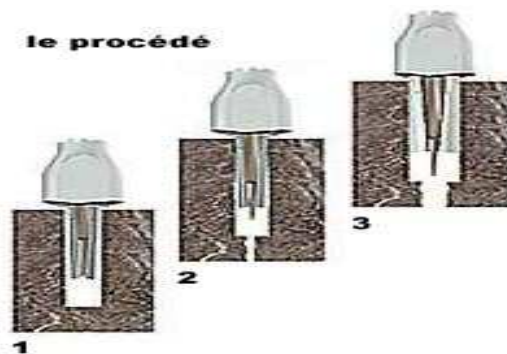
Cette méthode n'entraînant pas l'émission d'ondes de choc, de vibrations, de poussières et de bruit, présente l'avantage que le sens de la démolition est contrôlé et guidée en plan.

Les étapes de cette méthode d'exécution sont données comme suit :

Etape1: Dans un premier temps un trou est percé en respectant le diamètre et la profondeur conseillés. Ensuite, l'ensemble coin et jeu de contre coin est inséré dans ce trou.

Etape2: Sous la pression hydraulique, le coin sort et vient pousser les contre-coins sur la paroi du trou avec une force allant jusqu'à 400 bars. En quelques secondes le matériau est éclaté.

Etape3: En utilisant les contre-coins d'élargissement, la fissure peut être très largement agrandie

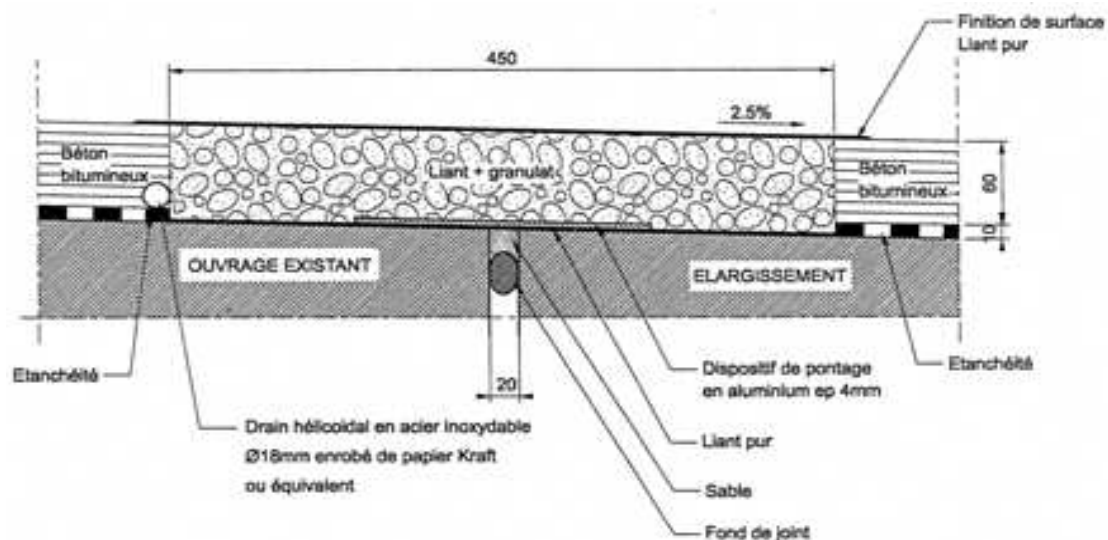


Au final une brise béton pneumatique est utilisée pour dégager les bétons éclatés.

A noter qu'au moment de l'opération de démolition dans ces travaux des dispositions de sécurité (panneaux de grille métallique, BT4,...) ont été prises afin d'assurer la sécurité des usagers de l'autoroute et des employés.

IV. 3.Réalisation du joint longitudinal :

Pour les quatre ouvrages, au niveau des dalles supérieures il n'y a aucun lien entre les structures anciennes et nouvelles. Les dalles sont juxtaposées côte à côte. Ainsi, la mise en place d'un joint longitudinal du type « non apparent à revêtement amélioré » dont l'épaisseur de l'étanchéité et du revêtement a été envisagée. Ce joint est constitué d'une tôle couvre-joint en aluminium surmontée d'un complexe adapté de liant spécial et de granulat.



Ce type de joint est indispensable car il présente l'avantage de permettre un déplacement relatif entre les deux structures dans les trois directions de l'espace :

- Déplacement longitudinal, puisque l'ancienne structure âgée de plusieurs lustres a effectué la majeure partie de son retrait et de son fluage, alors que la nouvelle structure sera soumise à une évolution dans ces domaines,
- Déplacement transversal car la dimension de la structure nouvelle évoluera pour les mêmes raisons dans ce sens, même si l'intensité de cette évolution restera très réduite,

- Déplacement vertical car les chargements de la chaussée conduiront à des comportements différentiels en flexion, même si des dispositions spéciales sont prises pour limiter ce déplacement à une valeur faible.

Le joint longitudinal est placé dans l'axe de la voie lente pour qu'il soit peu sollicité par les roues des véhicules circulant sur cette voie et pour garantir ainsi sa pérennité.

Une fois le revêtement en béton bitumineux est appliqué sur toute la largeur du tablier existant et de la partie élargie, il est prévu de réaliser un joint longitudinal du type « non apparent à revêtement amélioré » après découpe et enlèvement du revêtement sur la largeur convenable.

Pour que le joint ne soit pas un point névralgique de point de vue étanchéité de l'ouvrage, le joint sera équipé de tout ce qui assurera sa pérennité et son bon fonctionnement (Drainage et évacuation des eaux, fond de joint, liant pur,...).

La méthode pratiquée est donc la même que celle utilisée pour la réalisation des caniveaux fil d'eau en rive de tablier le long des longrines des dispositifs de sécurité.

V. CONCLUSION :

Malgré les nombreuses contraintes d'exécution et les difficultés techniques liées aux travaux d'élargissement des viaducs, nous pourrions conclure que grâce à une bonne préparation du chantier ajoutée à une étude de conception complète préconisant des techniques bien adaptées au contexte du projet, à l'anticipation des problèmes et leur traitement de façon rigoureuse, à la mise à disposition du matériel spécifique, ainsi qu'à l'assistance technique par des professionnels, le projet sera réalisé selon les règles de l'art et conformément aux spécifications des Cahiers de Charges.