



D. GELARAJIC

## CONCEPTION DES OUVRAGES D'ART DE LA PORTE DE GESVRES À NANTES

AUTEURS : DENIS MACE, INGÉNIEUR OUVRAGES D'ART, ARCADIS - RÉGIS BOUTES, DIRECTEUR TECHNIQUE OUVRAGES D'ART, ARCADIS

CARREFOUR ENTRE L'AUTOROUTE A11, LE PÉRIPHÉRIQUE NORD ET LE PÉRIPHÉRIQUE EST, LA PORTE DE GESVRES EST L'UN DES ÉCHANGEURS LES PLUS FRÉQUENTÉS DU RÉSEAU NANTAIS. CET IMPORTANT PROJET DE RÉAMÉNAGEMENT SOUS MAÎTRISE D'ŒUVRE VINCI AUTOROUTES NÉCESSITE LA CONSTRUCTION DE 2 OUVRAGES COURBES EN CAISSONS MIXTES : LE VIADUC EST POUR L'ACCÈS AU PÉRIPHÉRIQUE NORD DEPUIS LE PÉRIPHÉRIQUE EST ET LE VIADUC OUEST POUR L'ACCÈS AU PÉRIPHÉRIQUE EST DEPUIS L'A11 EN PROVENANCE DE PARIS.

### CONTEXTE

Long de 42 km, le périphérique nantais a une configuration à 2x2 voies sur sa quasi-totalité. Au niveau de la Porte de Gesvres, les voies de liaison qui assurent les échanges entre les périphériques Nord et Est sont configurées à une seule voie. Cela entraîne des difficultés de circulation récurrentes aux heures de pointe, provoquant des congestions importantes sur les voies

principales et des remontées de file. Le projet de réaménagement consiste donc à assurer la continuité du périphérique à 2x2 voies au niveau de cet échangeur entre la Porte de Rennes au niveau du périphérique Nord et la Porte de La Chapelle au niveau du périphérique Est. Cela permettra d'améliorer les conditions de sécurité des flux de rocade, d'une part, et de répondre au manque de capacité actuel et futur en

1- Vue aérienne du chantier d'aménagement de la Porte de Gesvres (périphérique nantais - A11).

1- Aerial view of the Porte de Gesvres development site (Nantes ring road - A11).

réduisant la congestion qui en découle à l'horizon 2035, d'autre part.

Outre les 2 ouvrages principaux détaillés ci-après - viaduc Est et viaduc Ouest - le projet prévoit également (figure 2) :

- La réfection des équipements et la mise aux normes des dispositifs de retenue du PS2 ;
- La démolition de 2 ouvrages existants (PS3 et PS4) ;



- Le remplacement d'un pont route de La-Chapelle-sur-Erdre : le nouvel ouvrage à 2 travées de 22,50 m comportera un tablier à poutres précontraintes par adhérence (PRAD) dont l'aménagement intègre une voie verte ;
- L'élargissement d'un PI au-dessus du Gesvres par ajout de consoles métalliques supportant des passages de service piétons ;
- La réalisation d'un écran acoustique long de 350 m.

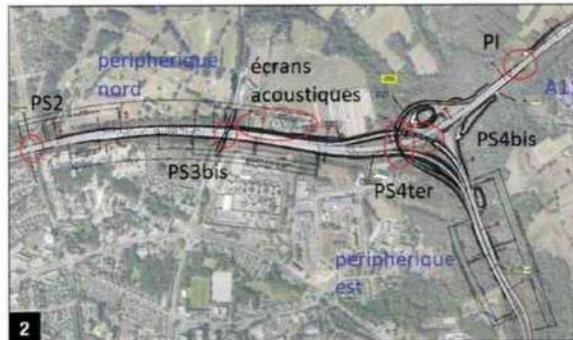
La Direction des Infrastructures de Transport a confié à Vinci Autoroutes la maîtrise d'ouvrage des études de réaménagement en décembre 2013. Les études de conception et la réalisation du DCE par Arcadis se sont déroulées d'octobre 2018 à avril 2020. Le marché principal a été attribué au groupement Bouygues/Colas/Aximum. Bouygues a sous-traité les travaux de charpente métallique à l'entreprise Giugliano. Les travaux ont démarré en février 2021 avec un délai global de 36 mois.

## CONTRAINTES

Les contraintes pour la conception des 2 ouvrages principaux sont surtout des contraintes géométriques issues du tracé et du franchissement du périphérique Nord, ainsi que des contraintes liées aux travaux à réaliser sous très fort trafic (90 000 véhicules par jour). Des contraintes supplémentaires sont ensuite apparues pendant la conception.

### CONTRAINTES GÉOMÉTRIQUES

Les 2 ouvrages sont situés sur des courbes de rayons 255 m pour le viaduc Est et 120 m pour le viaduc Ouest. Cette particularité géométrique



### 2- Plan de repérage des ouvrages.

### 3- Coupe transversale initiale du caisson du viaduc Est.

### 2- Works layout drawing. 3- Initial cross section of the East viaduct box girder.

a conduit à envisager des solutions de type caissons, bien adaptés aux tracés courbes, pour éviter les problèmes de torsion par rapport aux solutions de type bipoutre. En effet, si une solution de ce type a été envisagée pour le viaduc Est, elle était réchibitoire pour le viaduc Ouest compte tenu de la portée angulaire projetée.

De même, le remblai d'accès au viaduc Est passe sous le viaduc Ouest.

Le tracé et la conception du premier ouvrage avait donc des conséquences directes sur le deuxième, mais également sur les remblais d'accès et les terrassements généraux à effectuer et par conséquent sur l'impact environnemental et foncier du projet. Les solutions de type caissons présentaient alors des élargissements avantageux par rapport aux bipoutres afin de respecter sous chaque ouvrage un gabarit minimum de 4,95 m.

Concernant la répartition des travées, des solutions avec appuis en terre-plein central ont été envisagées puis écartées car cette disposition entraînait des conditions d'accès dangereuses en phase de construction (manque de visibilité en courbe pour l'accès aux piles en terre-plein central). Ainsi, pour chacun des 2 ouvrages, une solution à 3 travées avec une travée principale au-dessus de l'autoroute a été retenue. Pour le viaduc Ouest, les bretelles d'accès périphérique Nord <=> périphérique Est sont situées sous les travées de rive. À noter également que

l'absence d'appui en terre-plein central conduit à des portées supérieures à 32 m pour lesquelles des solutions de type pont à poutres précontraintes adhérentes (PRAD) ou poutrelles enrobées n'étaient plus envisageables (en plus de la contrainte du tracé courbe difficile à traiter).

Les emprises disponibles sur le site pour la mise en place des tabliers par lançage représentaient également une contrainte importante du projet.

## CONTRAINTES LIÉES AUX TRANSPORTS EXCEPTIONNELS

Des transports exceptionnels sont à considérer sur le périphérique nantais. Pour le viaduc Est, sont pris en compte le convoi de 94 t qui circule mêlé au trafic courant, et le convoi de 120 t qui circule seul. Pour le viaduc Ouest, uniquement le convoi de 120 t circulant seul a été pris en compte.

## CONTRAINTES LIÉES AU RISQUE INCENDIE

Au cours de la conception, le maître d'ouvrage a demandé d'appliquer les recommandations du guide Cerema "Résistance à l'incendie des ponts routiers" tout juste paru en octobre 2018, et d'étudier l'impact sur les ouvrages en cours de conception. La prise en compte du risque incendie n'était jusqu'à présent pas considérée dans les études d'ouvrage d'art et les tabliers métalliques sont classés comme vulnérables au feu. De plus, l'autoroute est concernée par le Transport de Matière Dangereuse.

## CONCEPTION INITIALE

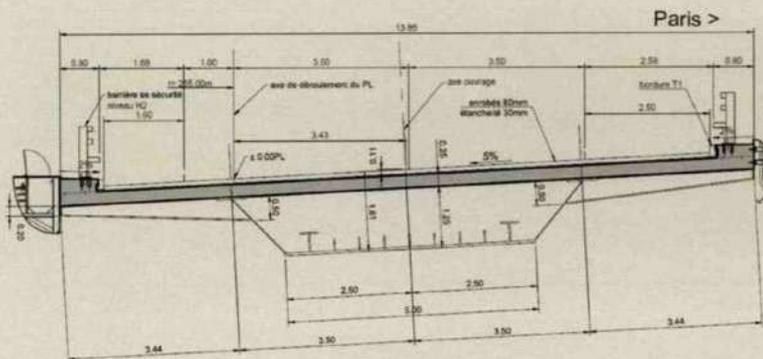
Les solutions de types caissons mixtes à 3 travées se sont imposées rapidement compte tenu des contraintes du site. Les viaducs sont considérés comme des OANC, et ont fait à ce titre l'objet de dossiers EPOA, validés par Décision Ministérielle.

## COUPES LONGITUDINALES

La longueur de la travée principale centrale du viaduc Est est de 42,97 m au-dessus de l'autoroute. Afin de limiter la longueur totale de l'ouvrage, et par conséquent son coût, la longueur des travées de rive avait été fixée initialement à 0,65 fois celle de la travée centrale.

La longueur de la travée principale centrale du viaduc Ouest était initialement de 44,27 m au-dessus de l'autoroute. La longueur des travées de rive était respectivement de 35,41 m et 39,40 m pour le passage des bretelles d'accès. ▷

## COUPE TRANSVERSALE INITIALE DU CAISSON DU VIADUC EST



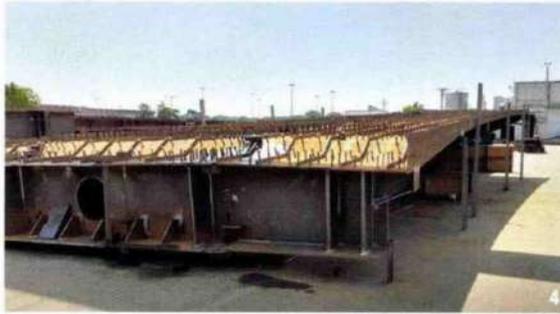
## COUPES TRANSVERSALES

La coupe transversale fonctionnelle du viaduc Est se compose d'une sur largeur de visibilité de 1,50 m à gauche, d'une Bande Dérasée Gauche de largeur 1,00 m, d'une chaussée à 2 voies de largeur 7,00 m et d'une bande d'arrêt d'urgence de largeur 2,50 m. Celle du viaduc Ouest se compose d'une sur largeur de visibilité de 0,65 m à gauche, d'une Bande Dérasée Gauche de largeur 0,50 m, d'une chaussée à 1 voie de largeur 3,50 m et d'une Bande Dérasée Droite de largeur 2,00 m.

Avec les dispositifs de retenue en rive, les largeurs totales sont de 13,86 m pour le viaduc Est et 8,41 m pour le viaduc Ouest.

La hauteur du caisson métallique (hors hourdis) a été fixée à 1,25 m, soit un élancement proche du 1/35 de la portée centrale. Dans les premières coupes transversales, les caissons métalliques étaient constitués de 2 âmes inclinées et la hauteur des consoles au niveau des âmes n'était pas alignée sur la hauteur des caissons (figure 3).

Les diaphragmes et consoles sont espacés de 4 m environ afin de limiter l'épaisseur du hourdis. Compte tenu de la nécessité de limiter la hauteur des caissons et donc de l'impossibilité de les rendre visitables, ils sont totalement étanches et fermés par une tôle supérieure et des fermetures complètes aux extrémités.



© BOUYGUES

Le hourdis est constitué d'une dalle mixte (appelée également dalle Robinson) composée d'une tôle inférieure d'épaisseur 20 mm (raidie afin de limiter sa flèche sous le poids du béton

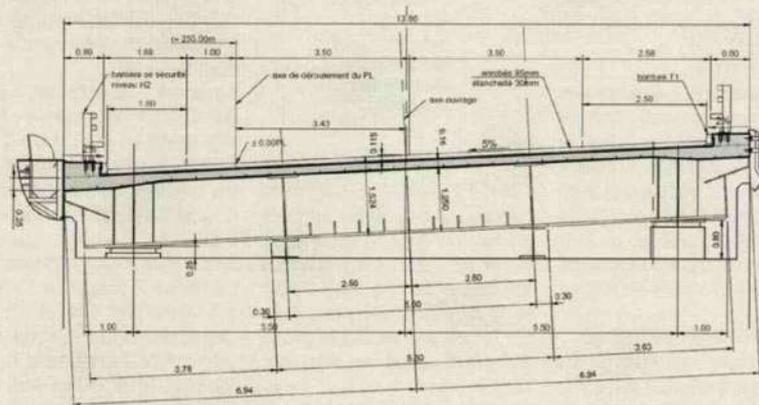
frais pendant les phases de bétonnage) et d'une dalle en béton armé d'épaisseur 16 cm. La tôle inférieure est prise en compte pour le dimensionnement de la section mixte en flexion longitudinale,

mais également en tant qu'armature inférieure de la dalle pour la flexion locale.

Une solution avec un hourdis constitué de dalles préfabriquées a également été envisagée.

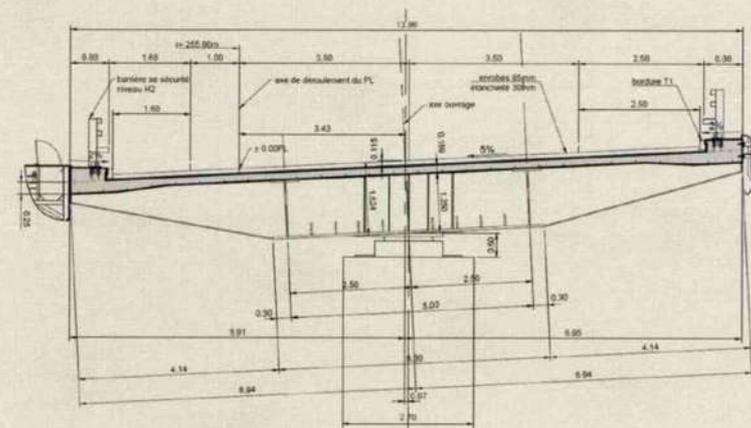
Mais, afin de limiter les interventions au-dessus de l'autoroute et donc sa coupure, les caissons auraient dû être lancés avec les dalles préfabriquées, ce qui présentait certains inconvénients : un poids plus élevé lors du lancement conduisant à un surdimensionnement de la charpente en phase provisoire, d'une part, la nécessité de laisser au-dessus des voies en circulation des dalles non clavées entre 2 phases de lançage (soit plusieurs semaines) et le clavage de celles-ci au-dessus des voies, d'autre part.

### COUPE TRANSVERSALE DU CAISSON DU VIADUC EST SUR CULÉE



5  
© ANLADIS

### COUPE TRANSVERSALE INITIALE DU CAISSON DU VIADUC EST SUR PILE



6  
© ANLADIS

4- Réalisation de la charpente en usine - Pièce de pont du viaduc Ouest sur culée.

5- Coupe transversale du caisson du viaduc Est sur culée.

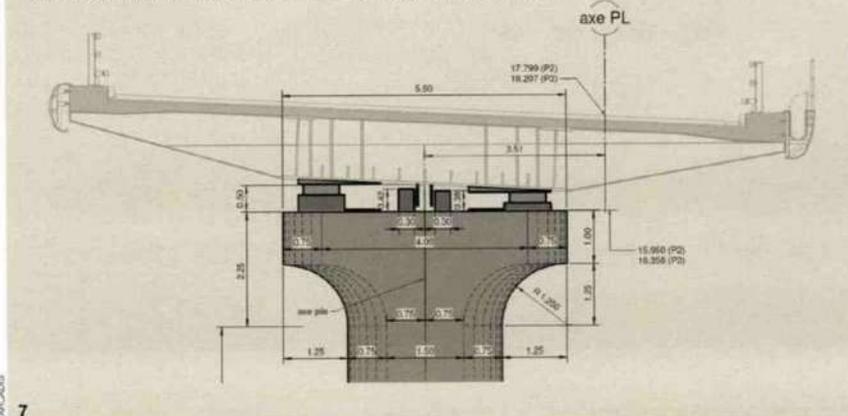
6- Coupe transversale initiale du caisson du viaduc Est sur pile.

4- Frame construction in factory - Transverse girder of the West viaduct on abutment.

5- Cross section of the East viaduct box section on abutment.

6- Initial cross section of the East viaduct box girder on pier.

## CONCEPTION FINALE SUR PILES DU VIADUC EST



© ARCADIS  
7

La solution hourdis mixte avait donc l'avantage de représenter un poids plus faible pour les phases de lancement et une durée d'intervention réduite au-dessus des voies pour le bétonnage à l'abri de la tôle.

En rive, le hourdis est épaissi afin de pouvoir y disposer les armatures des longrines d'ancrage des dispositifs de retenue.

### CULÉES

Les culées étaient de type perchées en crête de talus. Elles étaient constituées d'un chevêtre fondé sur une file unique de pieux de diamètre 1200 mm centrée sous l'axe d'appui. Cette conception avait été préférée à des culées avec un fût enterré sur semelle superficielle conduisant à des dimensions de fondation souvent très importantes pour une zone de sismicité modérée lors de l'application de l'annexe F de l'EN1998-5.

### 7- Conception finale sur piles du viaduc Est.

### 8- Piles du viaduc Ouest.

### 9- Armatures de la semelle de la pile P3 du viaduc Est.

### 7- Final design of the East viaduct on piers.

### 8- West viaduct piers.

### 9- Rebars of the foundation slab of East viaduct pier P3.

Sur culées, le diaphragme est débordant afin de positionner les appuis sous les consoles et ainsi de limiter la variation des réactions d'appuis due au moment de torsion (figures 4

et 5). Malgré cela, les appareils d'appui sont constitués d'appareils d'appui à pot compte tenu de la très faible compression obtenue sur l'un des 2 appuis (rendant impossible la justification d'un néoprène fretté).

### PILES

Les solutions initiales prévoyaient un appareil d'appui unique sur pile en néoprène fretté positionné au milieu de l'intrados des caissons (figure 6) et reposant directement sur le fût de section oblong 1,50x3,00 m. Les piles sont fondées superficiellement dans les micaschistes.

Cette solution permettait de limiter l'emprise du fût (et donc de faciliter son implantation par rapport à l'autoroute), d'une part, et les efforts au niveau des piles et par conséquent les dimensions des fondations par rapport à l'autoroute en phase provisoire pendant leur construction, d'autre part.

### DISPOSITIFS DE RETENUE

Les tabliers sont équipés de dispositifs de retenue BN4-16 avec écran motocycliste en extérieur de courbe (dérogation car il n'y a pas de produit CE pour un niveau de retenue H3 avec un écran moto associé).

### ÉVOLUTION DE LA CONCEPTION

Les différentes phases de la conception ont vu évoluer significativement certaines caractéristiques des ouvrages. La prise en compte de nouvelles contraintes (convois exceptionnels, risque incendie) a eu un impact particulier sur la répartition des travées et la conception des piles.

### COUPES LONGITUDINALES

La courbure en plan des ouvrages génère une forte disparité au niveau des réactions d'appuis sur culée.

En effet, cette courbure alliée à l'excentrement des charges crée un moment de torsion important au niveau des caissons qui est reprise au droit des culées en compression/décompression au niveau des appareils d'appui.

L'introduction des convois exceptionnels s'est avérée dimensionnante puisque ceux-ci ont généré le soulèvement d'un appareil à l'ELU avec la répartition de travée prévue initialement.

Afin de résoudre ce problème, les travées de rive du viaduc est ont été légèrement allongées (balancement final de 0,73).

Pour le viaduc Ouest, afin de ne pas augmenter la longueur totale de l'ouvrage, la pile P2 a pu être déplacée afin d'augmenter la portée de la travée de rive problématique et de diminuer la portée de la travée centrale (balancement final de 0,82).



© GAEL ARNAUD  
8



© ARCADIS  
9



© GAEL AFRAUD



© ARCADIS

### COUPES TRANSVERSALES

Afin de simplifier la conception, la réalisation et la mise en place du tablier, Fca a demandé de modifier la coupe transversale des caissons. Les âmes initialement inclinées ont été positionnées verticalement et les semelles inférieures des consoles ont été alignées avec la semelle inférieure des caissons au niveau des âmes (figure 6).

### PILES

Afin de prendre en compte la possibilité d'un incendie sous une travée et d'éviter un effondrement en chaîne de la totalité de l'ouvrage, Fca a demandé de prévoir 2 appareils d'appui au niveau de chaque pile, pour améliorer la stabilité du tablier. Cette demande a donc engendré :

- La création sur chaque pile de chevêtres (pile marteau) permettant le positionnement d'un appareil d'appui près des âmes des caissons (figures 7 et 8) ;
  - L'augmentation des dimensions des semelles superficielles suite à l'augmentation des efforts sur pile avec le passage à 2 appareils d'appui (augmentation de la raideur et prise en compte d'un moment transversal dû à la dissymétrie des charges du tablier) : les semelles initiales de dimensions 5x5 m ont été élargies à 6x6 m (figure 9) ;
  - La mise en place de butées longitudinales sur chaque culée pour éviter l'échappement des travées.
- Sur piles, des butées sismiques transversales ont été ajoutées afin de

10- Réalisation de la culée C4 du viaduc Ouest.

11- Tablier de l'ouvrage provisoire route de La-Chapelle-sur-Erdre.

12- Mise en place des VMD à la grue.

10- Execution of West viaduct abutment C4.

11- Deck of the temporary structure on La-Chapelle-sur-Erdre road.

12- Installation of dismantlable steel viaducts by crane.

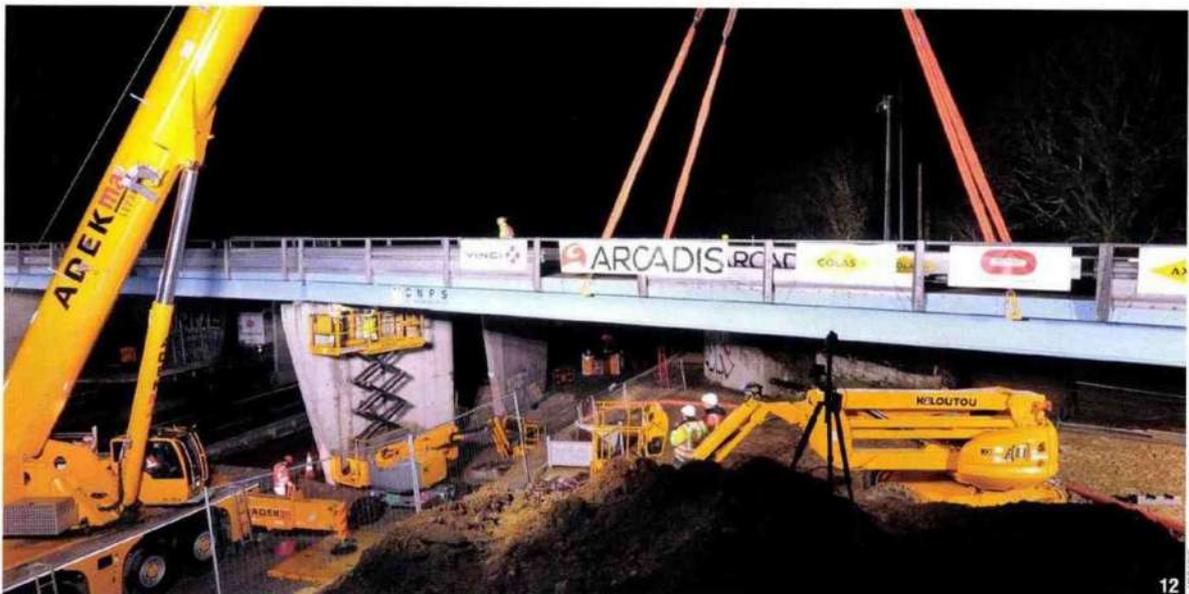
considérer un coefficient de fiabilité  $\gamma_s = 1,00$  pour le dimensionnement des appuis et appareils d'appui.

### CULÉES

Les sondages complémentaires de la mission G3 ont permis de retenir des hypothèses géotechniques plus favorables que lors de la mission G2. Les culées initialement prévues perchées sur pieux en crête de talus ont donc été fondées sur des semelles superficielles (avec des purges importantes) avec un fût noyé dans le remblai (figure 10).

### TABLIERS

La charpente métallique du viaduc ouest sera mise en place par lancement au-dessus du périphérique. Pour le viaduc Est, l'entreprise prévoit l'utilisation



© ARCADIS





13

© ARCADIS

de kamags. À noter que la crise en Ukraine a généré une pénurie d'acier de construction dans toute l'Europe, conduisant à des difficultés d'approvisionnement majeures pour la charpente métallique du viaduc Est.

#### TRAVAUX CONNEXES MISE EN PLACE D'UN PONT PROVISOIRE

La démolition du pont de la route de La-Chapelle-sur-Erdre a nécessité la mise en place d'un pont provisoire pendant les travaux afin de maintenir la circulation des riverains et du réseau de bus. Le tablier est constitué de Voussoirs Métalliques Démontables (VMD) provenant du stock du Centre National des Ponts de Secours (CNPS) et comporte 3 travées isostatiques de 30,80 m chacune.

Cet ouvrage est considéré comme un ouvrage d'art d'usage collectif à durée d'utilisation limitée et non comme un ouvrage provisoire, terme réservé à un ouvrage pour une circulation de chantier. Cette nuance a des conséquences importantes sur les dispositifs de retenue puisque, conformément à la Déclaration Ministérielle, les dispositifs de retenue devaient prendre en compte l'indice de danger du Setra sans toutefois être inférieurs au niveau H2.

**13- Démolition par grignotage du pont de la route de La-Chapelle-sur-Erdre.**

**13- Demolition by nibbling of the bridge on La-Chapelle-sur-Erdre road.**

Compte tenu de la durée d'utilisation courte de l'ouvrage (environ un an), une dérogation avec un niveau de retenue N2 a été envisagée. Le Centre National des Ponts de Secours a alors étudié la possibilité de renforcer les dispositifs existants (ainsi que la structure du tablier) afin d'obtenir ce niveau et de le valider par une simulation numérique.

Néanmoins, les délais pour mener à bien cette solution n'étant pas compatibles avec le chantier, une autre solution a été mise en œuvre.

Initialement constitué d'un seul Viaduc Métallique Démontable (VMD) transversalement, le tablier est finalement constitué de 2 VMD accolés permettant ainsi d'élargir l'ouvrage et de disposer des Séparateurs Modulaires de Voies (SMV) de niveau H1. Il comporte un passage pour piétons et cycles (pied à terre) de largeur 1,40 m, une seule voie de circulation (circulation alternée) d'une largeur de 3,50 m encadrée par des SMV et une zone neutralisée de largeur 0,50 m (figure 11).

La pose des 6 VMD à la grue s'est déroulée en 3 nuits (figure 12).

#### DÉMOLITION DU PONT DE LA ROUTE DE LA-CHAPELLE-SUR-ERDRE

L'opération a nécessité une coupure de la circulation de 8 heures. Après la mise en place d'une couche de sable sur la chaussée afin d'assurer sa protection, l'ouvrage a été démolé par grignotage (figure 13).

Les gravats ont été ensuite évacués en décharge et la circulation a été rétablie après nettoyage de la chaussée. □

#### PRINCIPALES QUANTITÉS

**BÉTON DE STRUCTURE :**  
705 m<sup>3</sup> (viaduc Est) + 602 m<sup>3</sup> (viaduc Ouest)  
**ARMATURES POUR BÉTON ARMÉ :**  
120 t (viaduc Est) + 100 t (viaduc Ouest)  
**CHARPENTE MÉTALLIQUE :**  
743 t (viaduc Est) + 500 t (viaduc Ouest)

#### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Vinci Autoroutes  
**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Arcadis  
**INGÉNIERIE DES SOLS :** Ginger  
**GROUPEMENT D'ENTREPRISES :** Bouygues / Colas / Aximum  
(sous-traitant charpente : Giugliano)  
**COORDONNATEUR SPS :** Presents  
**CONTRÔLE EXTÉRIEUR :** Ioa (charpente métallique)  
**ÉTUDES D'EXÉCUTION :** Aia (appuis béton) et Seteco (tabliers mixtes)

#### ABSTRACT

#### DESIGN OF BRIDGE STRUCTURES AT PORTE DE GESVRES IN NANTES

DENIS MACE, ARCADIS - RÉGIS BOUTES, ARCADIS

The Porte de Gesvres development plan aims to ensure continuity of the two-lane dual-carriageway ring road in order to allow smoother traffic on this interchange linking the A11 motorway to the North and East ring roads. The two main bridge structures, called the East viaduct and West viaduct, consist of 3-span curved composite box-girder decks, of total length 105.30 metres for the East viaduct and 119.08 metres for the West viaduct. □

#### DISEÑO DE LAS OBRAS DE FÁBRICA DE LA PUERTA DE GESVRES EN NANTES

DENIS MACE, ARCADIS - RÉGIS BOUTES, ARCADIS

El proyecto de ordenación de la Puerta de Gesvres consiste en asegurar la continuidad del cinturón de 2x2 carriles para mejorar la fluidez del tráfico en este nudo vial que enlaza la autopista A11 y los cinturones Norte y Este. Las 2 principales obras de fábrica (el viaducto Este y el viaducto Oeste) están formadas por tableros con cajones mixtos curvados de 3 luces, con una longitud total de 105.30 m para el viaducto Este y de 119.08 m para el viaducto Oeste. □