

N° 6468

CHAMBRE DES DEPUTES

Session ordinaire 2011-2012

PROJET DE LOI**portant réhabilitation du Pont Adolphe à Luxembourg**

* * *

*(Dépôt: le 17.8.2012)***SOMMAIRE:**

	<i>page</i>
1) Arrêté Grand-Ducal de dépôt (7.8.2012).....	1
2) Texte du projet de loi.....	2
3) Commentaire des articles.....	2
4) Exposé des motifs.....	2
5) Fiche financière.....	27
6) Résumé technique.....	28

*

ARRETE GRAND-DUCAL DE DEPOT

Nous HENRI, Grand-Duc de Luxembourg, Duc de Nassau,

Sur le rapport de Notre Ministre du Développement durable et des Infrastructures et après délibération du Gouvernement en Conseil;

Arrêtons:

Article unique.– Notre Ministre du Développement durable et des Infrastructures est autorisé à déposer en Notre nom à la Chambre des Députés le projet de loi portant réhabilitation du Pont Adolphe à Luxembourg.

Cabasson, le 7 août 2012

*Le Ministre du Développement durable
et des Infrastructures,*
Claude WISELER

HENRI

*

TEXTE DU PROJET DE LOI

Art. 1er.– Le Gouvernement est autorisé à réaliser les travaux relatifs à la réhabilitation du Pont Adolphe à Luxembourg comprenant la réhabilitation complète du Pont Adolphe et le réaménagement des Places de Metz et de Bruxelles.

Art. 2.– Les dépenses occasionnées par la présente loi ne peuvent pas dépasser le montant de soixante-deux millions neuf cents mille euros (62.900.000 €). Ce montant correspond à la valeur 696,95 de l'indice semestriel des prix de la construction au 1er avril 2011. Déduction faite des dépenses déjà engagées par le pouvoir adjudicateur, ce montant est adapté semestriellement en fonction de la variation de l'indice des prix de la construction précité.

Art. 3.– Les dépenses sont imputées à charge des crédits du Fonds des Routes.

*

COMMENTAIRE DES ARTICLES

L'article 1er arrête le principe de l'autorisation gouvernementale de procéder à la mise en oeuvre du projet de loi. La partie des travaux concernée par la présente loi, à savoir la réhabilitation complète du Pont Adolphe et le réaménagement des Places de Metz et de Bruxelles est avancé jusqu'au stade de l'APD.

L'article 2 détermine l'enveloppe budgétaire servant au financement du projet, rattachée à l'indice semestriel des prix de la construction valable en avril 2011 (valeur 696,95). Il comporte en outre la clause usuelle d'adaptation des coûts à l'évolution de cet indice.

L'article 3 précise que les crédits budgétaires en question seront inscrits au Fonds des Routes du ministère du Développement durable et des Infrastructures, département des Travaux Publics qui fera fonction de maître de l'ouvrage.

*

EXPOSE DES MOTIFS

INTRODUCTION

Le Pont Adolphe est un des monuments principaux du coeur de la Ville de Luxembourg. Il enjambe la vallée de la Pétrusse dominée en ce lieu par de puissantes murailles édifiées par Vauban.

Cet ouvrage d'art exceptionnel en maçonnerie s'intègre harmonieusement dans son site. Il constitue également par sa fonction même, un lien important entre le quartier de la gare ferroviaire et la Ville Haute, du boulevard Royal à l'avenue de la Liberté.

Malheureusement, les inspections ont relevé que le Pont Adolphe est en état de dégradation avancé. Des mesures de réhabilitation de grande envergure s'imposent avant que des restrictions de service et à terme la mise hors service ne deviennent nécessaires.

La réhabilitation du Pont Adolphe, nécessaire et urgente, nécessite la démolition complète du tablier et des tympanes. Il faut donc dévier la circulation de ce pont pendant la réalisation des travaux de confortement sur un pont provisoire. Ce pont doit être construit au plus vite (loi n° 6176A) afin de disposer d'une alternative de passage dans l'éventualité d'une aggravation soudaine et tout à fait plausible de l'état du Pont Adolphe qui nous obligerait à procéder à des restrictions de circulation sérieuses.

*

HISTORIQUE

Le Pont Adolphe a été construit dans les années 1900 à 1903 sous le règne du Grand-Duc Adolphe. Ce pont, en arches maçonnées de pierres de taille, a été conçu par l'ingénieur français Paul Séjourné et réalisé par l'entreprise Fougerolles Frères pour la maçonnerie et par l'entreprise Coignet pour la dalle en béton armé.

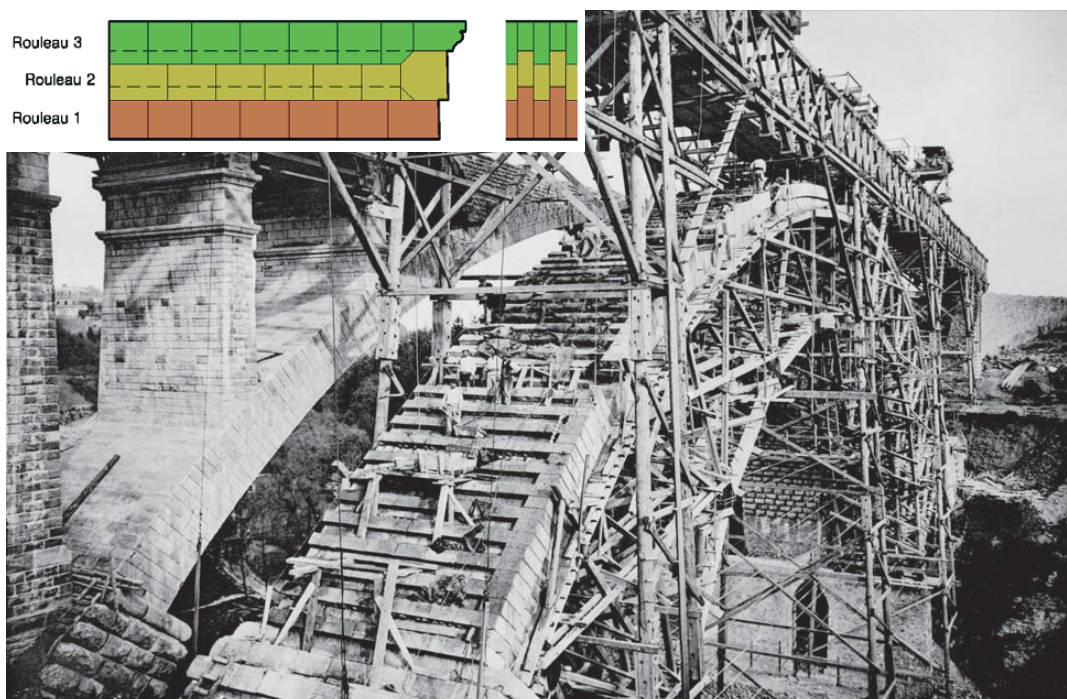


La première pierre fut posée à la date symbolique du 14 juillet 1900 et la mise en service a eu lieu le 24 juillet 1903 en présence du ministre d'Etat Paul Eyschen et du directeur général des Travaux Publics Charles Rischard. A l'époque de sa construction le Pont Adolphe tenait, avec une ouverture de 84,65 m de l'arche centrale, le record mondial de pont en arche en maçonnerie.

Le Pont Adolphe possède la particularité d'être constitué de 2 arches jumelées distantes l'une de l'autre de 6,00 m. Elles sont reliées par un tablier en béton armé. Les 2 arches centrales, d'une largeur variant de 5,32 m en clé de voûte à 6,12 m à la culée et d'une épaisseur variant de 1,44 m en clé de voûte à 2,16 m à la culée, sont constituées en tout de 2.850 m³ de pierres de Gilsdorf. Des 2 côtés des grandes arches se trouvent des arcs de rives, également dédoublés, de 21,60 m de portée chacun. La longueur totale de l'ouvrage s'étend sur 153 mètres.

Séjourné choisit aussi de construire les grands arcs en 3 couches de pierres de taille (rouleaux) imbriquées les unes dans les autres par queutages.

Construction en 3 rouleaux sur cintre d'époque en bois



Cette méthode a l'avantage d'économiser les pierres de construction et permet d'optimiser le coût et le délai d'utilisation du cintre. En effet, ce dernier ne sert qu'à la mise en place du 1er rouleau. Les 2 autres couches de pierres prennent appui sur l'arc formé par les rouleaux précédemment réalisés. Ce mode de réalisation complique l'analyse du comportement structurel des 3 rouleaux puisqu'il introduit une dissymétrie de sollicitation entre eux et est l'une des causes des désordres actuels.

D'autre part, Séjourné réalise de puissants tympans de clef dont la rigidité (autre cause des désordres avec le trafic et les surcharges d'aujourd'hui) contrarie la loi d'épaisseur et d'inertie progressives de l'arc qu'il a judicieusement établie.

Au cours de son histoire, le pont a été aménagé de façon à s'adapter au besoin de l'évolution du trafic: train à vapeur „Charly“ en 1903 du côté amont, tramway électrique des années 1930 des 2 côtés (ce pourquoi le pont n'était pas conçu), élargissement des années 1960 sans tram et mise en sécurité des trottoirs dans les années 1970.

En 1936 a été entrepris le remplacement des 500 balustres des garde-corps de l'ouvrage.

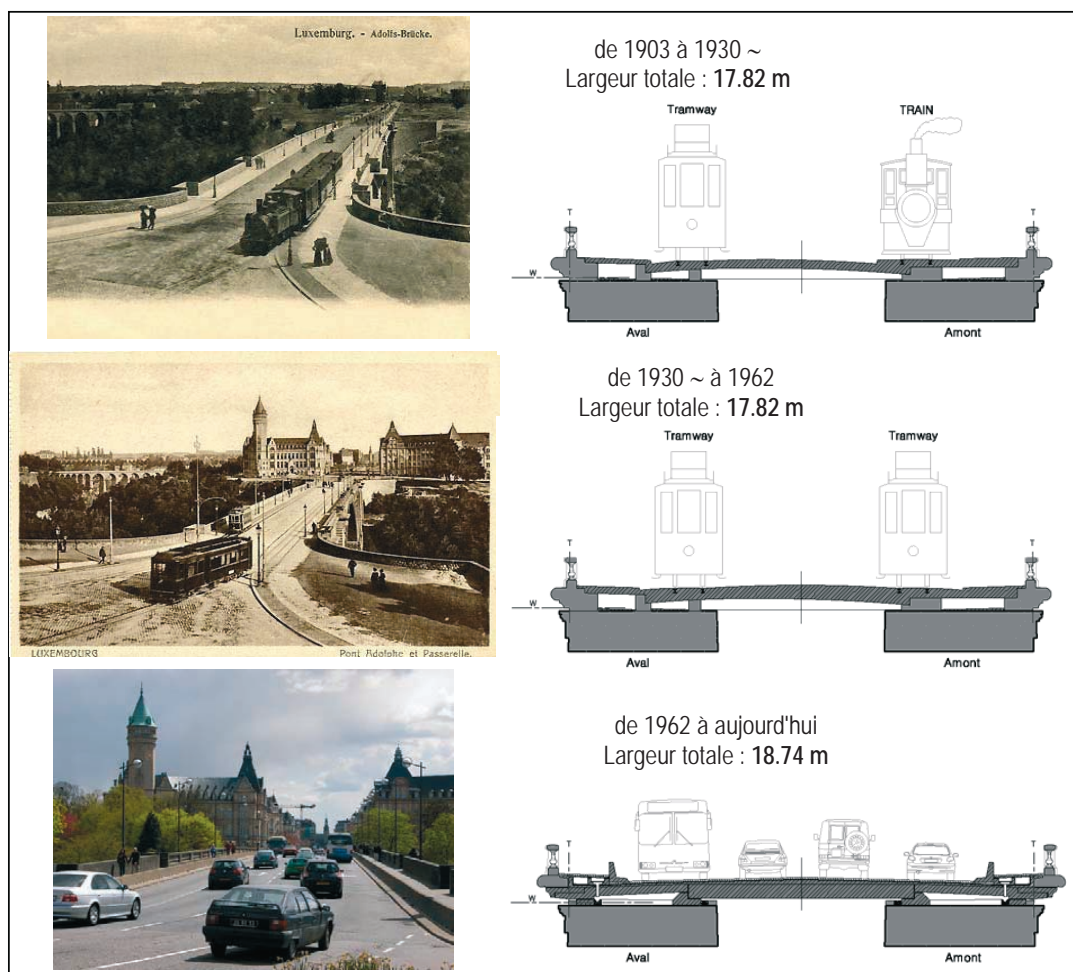
En 1961/1962, de plus importants travaux ont été engagés. Le tablier d'origine léger en poutres en T en béton armé est alors déposé et remplacé par un nouveau, plus lourd et bien plus rigide, coulé sur prédalles qui enjambent le vide entre les deux arcs. Afin de s'adapter aux besoins du trafic, le tablier est élargi de 2 x 0,45 m et les garde-corps déportés de 0,15 m. Ce qui permet un gain de 1,20 m de largeur utile (espace disponible entre parapets). A cette occasion, les balustrades et les garde-corps ont été remplacés et le profil en long corrigé. Ce tablier exerce une charge excentrique encore plus élevée que l'original, autre cause des désordres actuels.

En 1976 des travaux de réfection de la couche de roulement et le remplacement des joints de chaussée ont été entrepris. Les trottoirs ont été rehaussés et protégés de la chaussée par des chasse-roues.

Dans les années 2000, l'étanchéisation de la superstructure, ainsi que la consolidation provisoire des grands arcs ont été entrepris.

Par la suite, les mesures d'entretien conservatoire importantes ont pour seul objet celui d'attendre la finalisation administrative du dossier.

Aujourd'hui, la largeur utile se répartit entre 2 trottoirs sécurisés par une bordure chasse-roue et 4 voies de circulation (3 en direction de la Gare et 1 en direction de la Ville pour les transports en commun).



*

PATHOLOGIES CONSTATEES ET SUIVI DE L'OUVRAGE

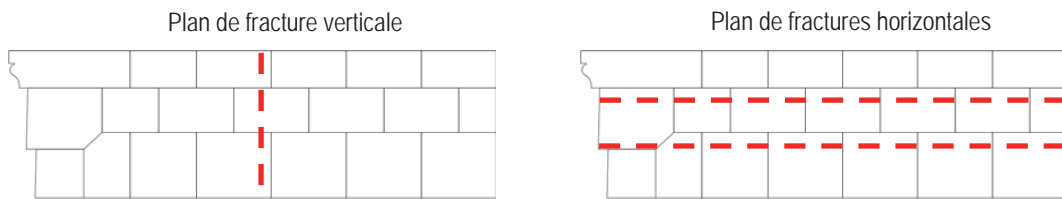
Fissuration des arcs

„Un ouvrage en maçonnerie est un ouvrage qui dure“ (cf. tome V „Grandes Voûtes“ par Paul Séjourné). Le prix à payer pour cette durabilité est l'entretien nécessaire pour éviter l'inévitable altération des pierres et des joints sous le poids des ans. Précisons toutefois l'importance de ces marques de l'âge. Les traces de coulures et les stalactites témoignent de la déficience de l'étanchéité. Quant aux constats de l'apparition de fissures, ils peuvent témoigner de la simple respiration de l'ouvrage, fonction des saisons. Pour juger de l'importance des conséquences d'une fissuration il convient de s'interroger sur le fonctionnement statique de l'ouvrage. A titre d'exemple, une fissure dans un système tridimensionnel, tel que dômes ou autre coupoles, ne saurait épuiser les ressources des cheminements possibles des charges. En revanche, un réseau de fissures identifié sur une partie d'ouvrage à fonctionnement uni ou bidirectionnel peut avoir des conséquences structurelles importantes: c'est le cas des arcs du Pont Adolphe.

Constats de fissures (1996 et années suivantes)

Le Pont Adolphe n'échappe pas à la règle et subit les effets du temps. Lors d'une campagne d'inspection visuelle de l'ouvrage réalisée par l'Administration des Ponts et Chaussées en 1996, des plans de fractures verticales et horizontales du corps des arcs ont été détectés.

Schémas:



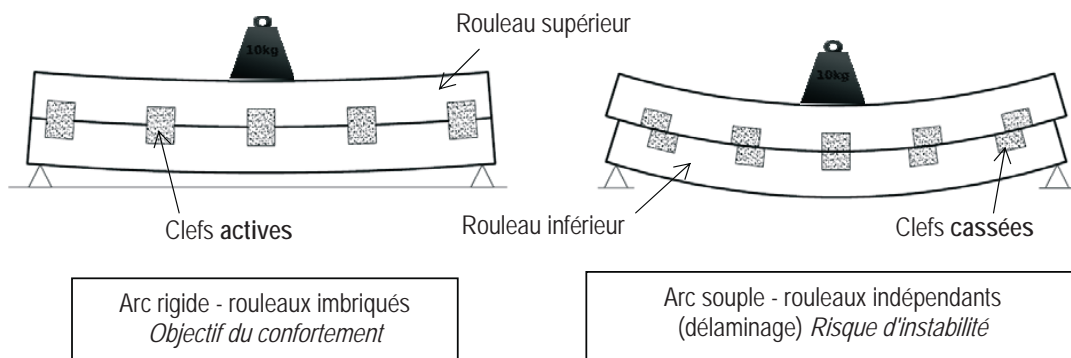
Des fissures sont repérées sur les arcs principaux aux limites des rouleaux. Au fur et à mesure des inspections, l'évolution de ces fissures et la propagation de ce réseau sont révélées.

Fissuration constatée à travers les rouleaux



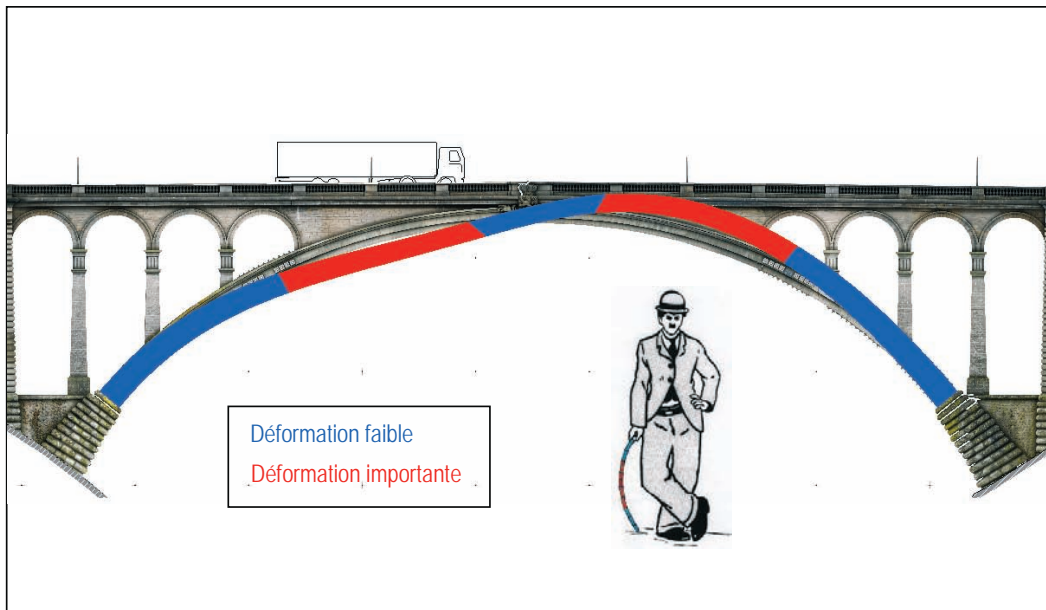
Conséquences et mise en sécurité effectuée (2003 et 2010)

Le phénomène de délaminage des arcs (séparation des rouleaux) se confirme. Cette séparation, si elle n'est pas maîtrisée conduirait à un affaiblissement des arcs (perte d'inertie),



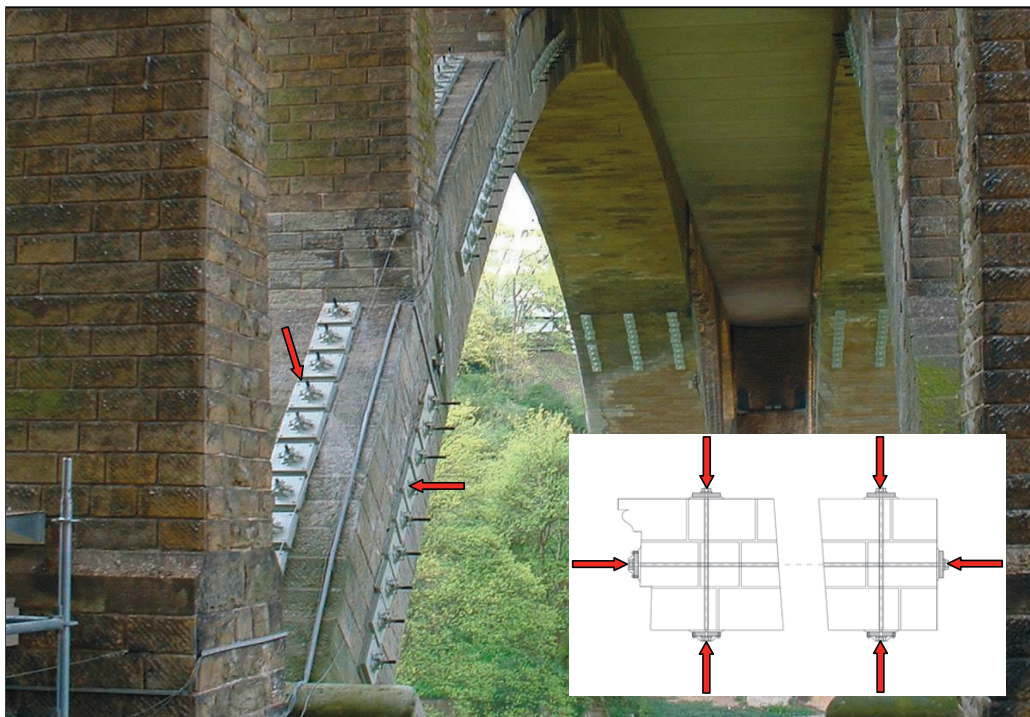
ainsi qu'un risque d'instabilité par divergence d'équilibre.

Risque d'instabilité (déformée antisymétrique amplifiée)



Dans le but de solidariser les rouleaux, des mesures de mise en sécurité provisoire des arcs ont été adoptées dans les zones accessibles les plus fissurées. Un réseau bidirectionnel de 258 barres de précontraintes a été mis en oeuvre à partir de 2003, permettant de rétablir le contact entre rouleaux et de redonner aux arcs leur inertie originale.

Précontrainte bidirectionnelle (photo 2004)



En février 2005, une barre de précontrainte se rompt, probablement en raison d'une incompatibilité chimique entre la barre et le milieu saturé de sels.

Cet événement, sans conséquence structurelle, rappelle néanmoins le caractère provisoire du confortement des maçonneries. Les décisions suivantes sont prises:

- Remplacement des barres côté Ville par des barres plus ductiles.
- Interdiction d'accès sous l'ouvrage côté Gare.
- Remplacement par capteurs optiques de l'instrumentation en place, dans l'objectif de surveiller de plus près l'efficacité du confortement provisoire réalisé.
- Installation de cibles sur l'ouvrage permettant la surveillance topographique de celui-ci.

Une nouvelle rupture de barre (découverte le 14 octobre 2009) prouve que la consolidation provisoire du pont était en place depuis trop longtemps et pourrait ne plus garantir ses objectifs. Cette nouvelle rupture constituait un signal d'alarme car d'autres auraient pu suivre vu le caractère „provisoire“ de la sécurisation réalisée en 2003 où l'usure et la détérioration normale se faisaient sentir.

Cet événement a finalement eu comme conséquence le remplacement à partir de 2010 des barres situées du côté Gare par des barres plus ductiles afin de maintenir la circulation sur l'ouvrage.

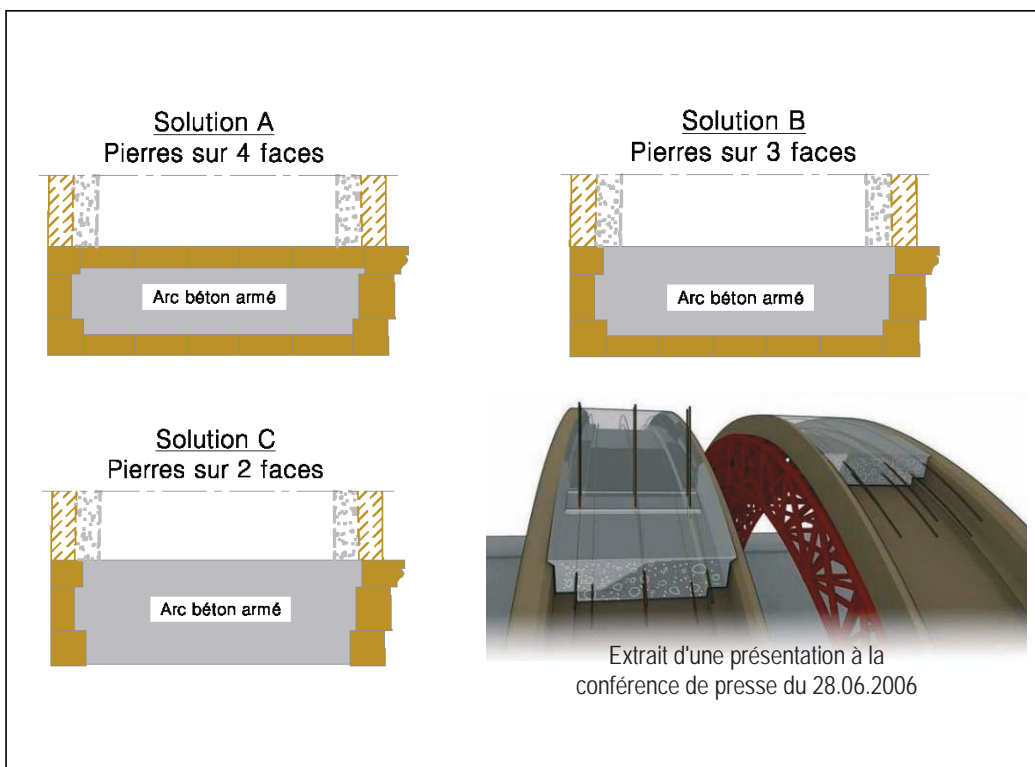
„Prétudes“

Dans le même temps, une réflexion sur la réhabilitation définitive et pérenne du Pont Adolphe est alors engagée, sans connaître les réelles capacités mécaniques de l'ouvrage. En effet, malgré l'absence de reconnaissances „profondes“ et l'ignorance de l'effet des confortements provisoires par préconstraintes, deux axes de conception sont appréhendés:

- Réhabilitation de l'ouvrage par création d'une zone centrale renforcée de clé en béton armé avec tympans strictement portés, n'affectant plus les lois d'inertie progressives des arcs proprement dits.
- Réhabilitation de l'ouvrage en conservant les maçonneries de parements des arcs: solutions A, B, C.

On y renoncera, vu la grande quantité d'armatures passives nécessaires à la tenue des arcs aux instabilités dans les plans verticaux et à cause de la réticence de la part du public et du service des sites et monuments nationaux d'échanger les pierres de taille par du béton armé.

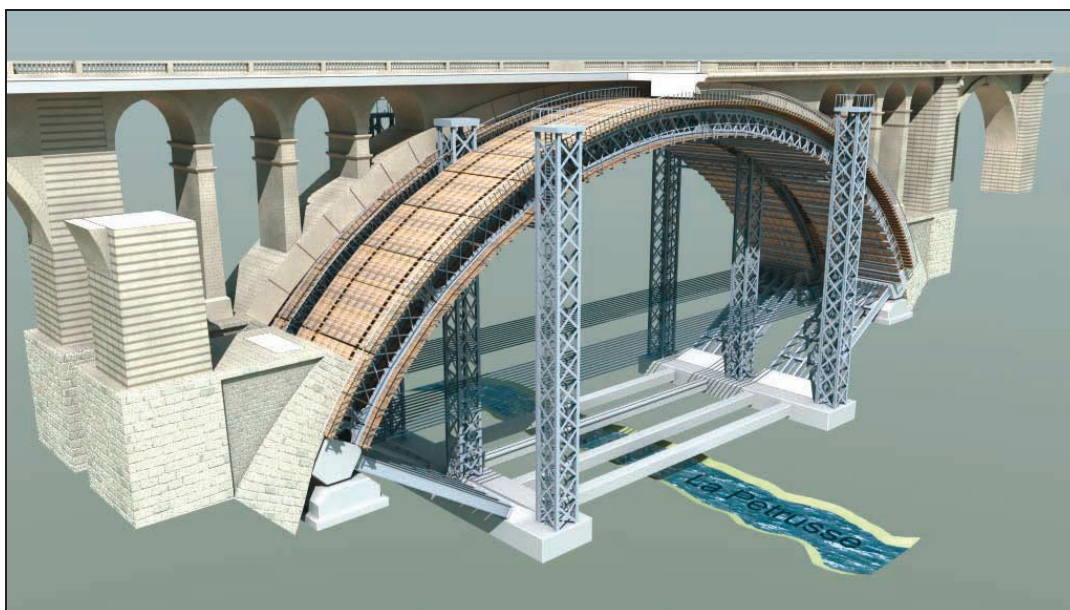
Schémas des solutions A, B, C envisagées



Par contre, le caractère provisoire des barres de confortement n'autorisant pas de trop longs délais de réflexion pour concevoir des solutions alternatives, un concept de „cintre d'anticipation“ à vocation „confortative“ est analysé pour répondre à des évolutions éventuelles qui deviendraient inquiétantes dans la structure des arcs. L'anticipation de ce cintre apparaît alors comme une réponse technique pertinente.

Une étude du cintre est engagée, mais n'est pas retenue.

Image du cintre envisagé



Un ouvrage sous surveillance optique et géométrique permanente

Depuis la détection des premières fissures sur les arcs principaux en 1996, l'ouvrage est sous surveillance permanente. Au début, la surveillance de l'ouvrage consistait en un relevé régulier des témoins de fissuration mis en place ainsi qu'en des inspections visuelles régulières. Au fil du temps et vu les résultats des nombreuses investigations réalisées sur l'ouvrage qui ont mis en évidence sa vulnérabilité, les moyens mis à disposition pour la surveillance de l'ouvrage furent continuellement adaptés et étendus.

Finalement au courant de l'année 2008, comme stipulé précédemment, le pont a été équipé d'un ensemble de capteurs optiques ayant l'objectif d'assurer de très près le suivi du comportement du pont et tout particulièrement de l'efficacité du renforcement provisoire mis en oeuvre. Ceci afin de garantir la circulation sur l'ouvrage en toute sécurité et d'éviter le plus longtemps possible des restrictions d'utilisation.

Il s'agit notamment:

- de sondes thermométriques (au coeur des arcs notamment)
- d'extensomètres optiques
- d'inclinomètres optiques
- de cibles topographiques.

Le rôle de ces capteurs est d'alerter sur une éventuelle dérive des mesures permettant d'anticiper une défaillance du renforcement ou un début d'instabilité des arcs.

Un suivi géométrique très précis de la clé des arcs est réalisé au minimum deux fois par an. Les cibles disposées sur la maçonnerie offrent un excellent moyen de vérification et les mesures peuvent être réalisées très rapidement. Le tout complété par plusieurs inspections visuelles au courant de l'année.

De l'analyse des données fournies par les capteurs il ressort que sur la période concernée, les mesures obtenues de l'ensemble des zones sont concordantes. Les maximales n'approchent pas encore le seuil d'alerte. Les enregistrements démontrent l'efficacité du renforcement réalisé par l'Administration des Ponts et Chaussées. Ce renforcement étant malgré tout provisoire (barres non injectées), le suivi de ces capteurs doit être poursuivi.

Dans le même temps, le Maître d'Ouvrage prend en considération la réalisation d'un pont provisoire.

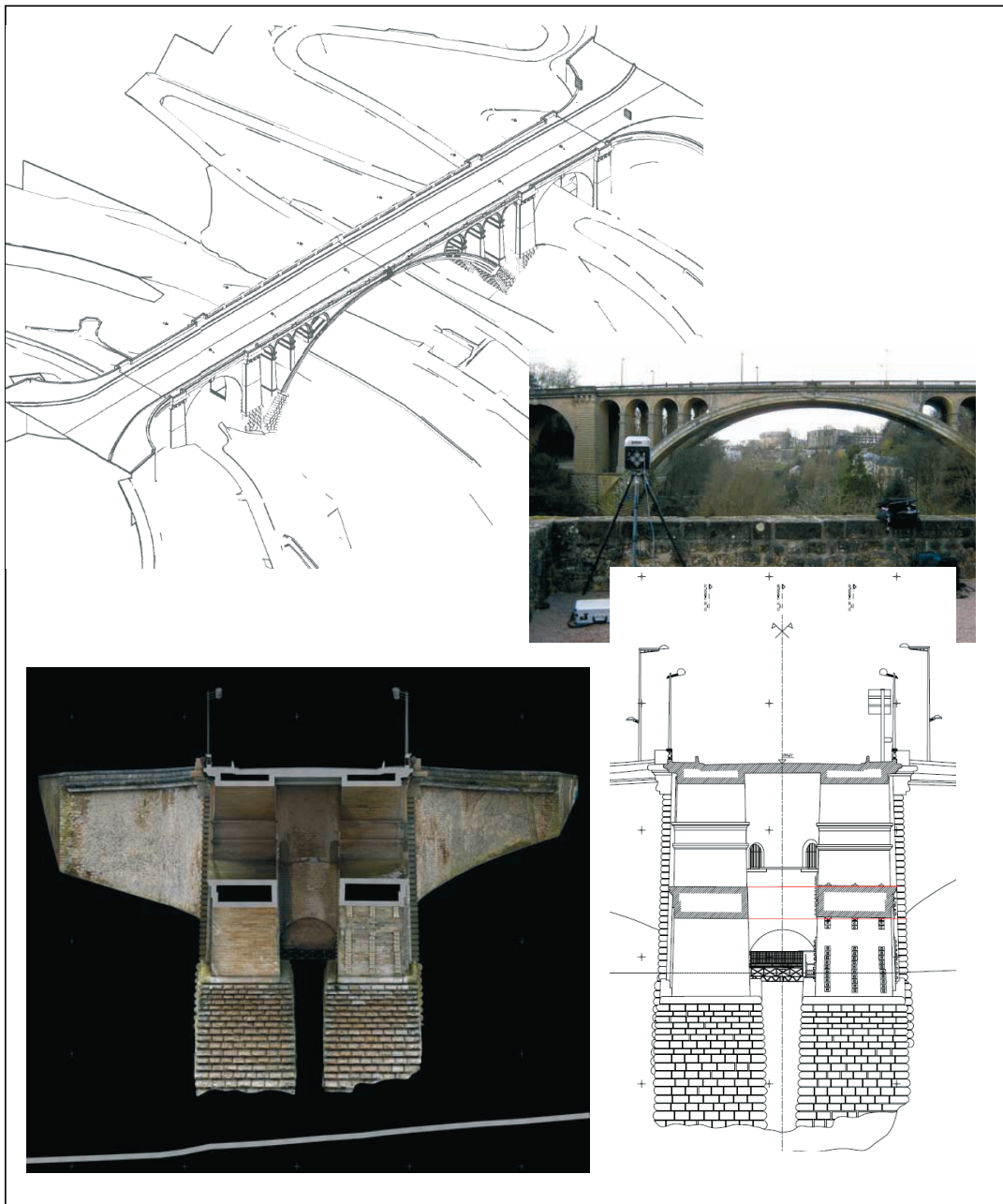
Au terme d'une analyse de cette situation qui redonne „du temps au temps“, il est admis qu'une solution confortative globale mérite d'être à nouveau envisagée en substituant aux barres précontraintes provisoires des dispositions de nature définitive. Les nouvelles bases d'un projet de réhabilitation qui va intégrer deux considérations récentes, importantes dans les analyses à venir sont définies:

- Pour le court terme, il est fait état de réalisation d'un pont provisoire. L'étude du pont provisoire est désormais engagée. L'intensité des flux de circulation qui traversent chaque jour le Pont Adolphe assurant la liaison entre la Haute-Ville et le plateau Bourbon jusqu'à la gare centrale exige la mise en place d'une solution de rechange sous forme d'un pont provisoire. Il constitue également la „réponse“ à des dérives éventuelles de comportement et se substituera au „cintre confortatif“.
- Pour le long terme, l'excentrement des voies de tram est désormais à prendre en considération, même si la disposition centrée demeure préférable. Jusqu'à ce jour, cet excentrement n'était pas envisagé car structurellement peu favorable. Il contribue à conforter le concept d'une nécessaire prise d'inertie progressive des arcs en zone de clé.

*

DES INVESTIGATIONS CIBLEES POUR UNE REHABILITATION ADAPTEE

Scan de l'ouvrage



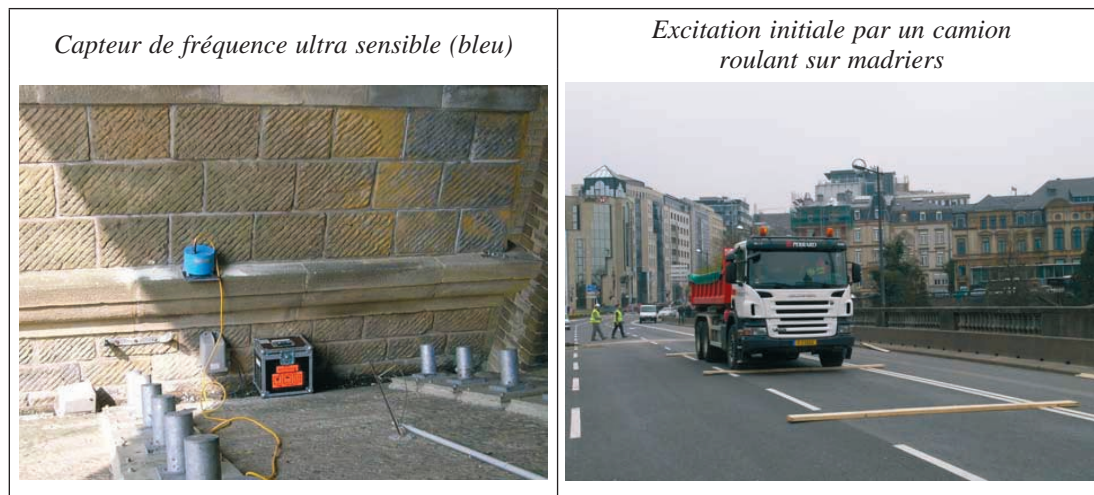
Puisque les 2 arcs présentent déjà jusqu'à 20 cm d'écart (en dénivelé et gauchissement) par rapport aux plans, un relevé détaillé 3D de l'ouvrage dans son ensemble a été effectué. Ce véritable scannage a permis de connaître l'état géométrique actuel, de comparer les données obtenues avec celles issues des divers documents traitant du Pont Adolphe et a servi de base pour les plans et la statique.

Prise en compte d'un tram sur l'ouvrage

Une analyse dynamique visant à la détermination des caractéristiques vibratoires (fréquences propres de l'ouvrage) a été décidée en 2009 afin de prendre en considération un tram sur l'ouvrage, puis de dimensionner les conditions d'appui des voies de tram qui conviennent.

En effet, la circulation d'un tram engendrera d'inévitables vibrations. Ces vibrations causées par le contact fer-fer de la roue sur le rail doivent être prises en compte et il convient notamment:

- de minimiser la transmission des vibrations à l'ouvrage,
- d'éviter tout effet de résonance.



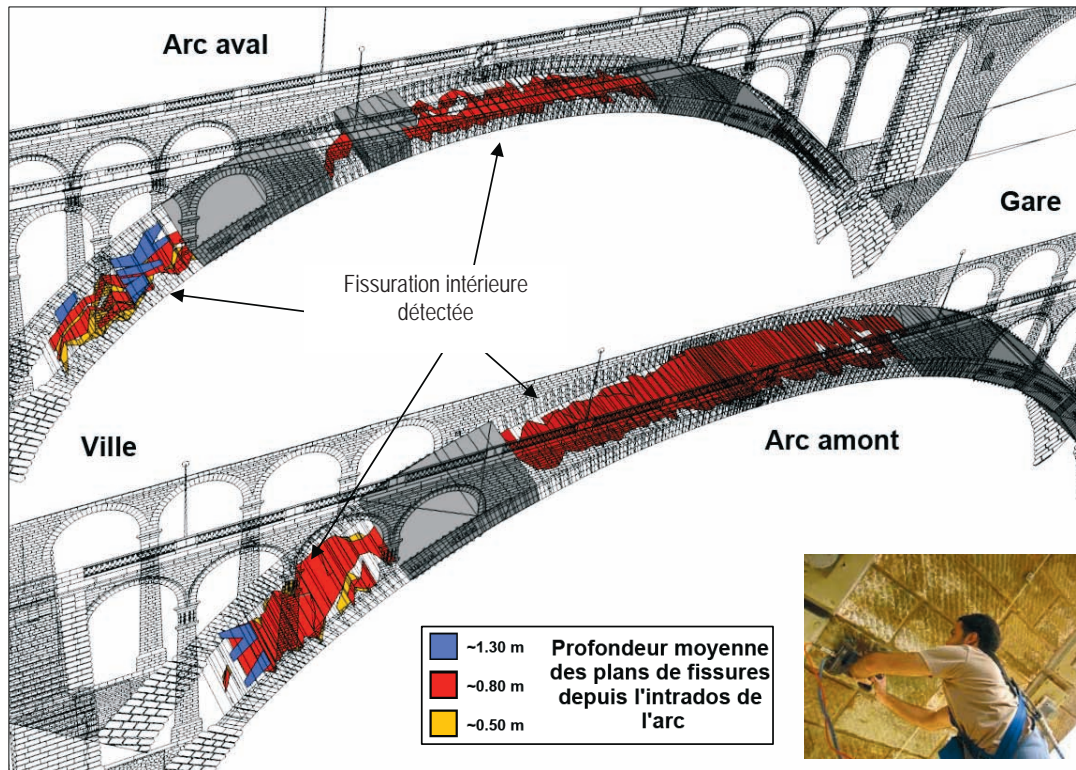
Puisque des vitesses vibratoires importantes (> 10 mm/s) ont été enregistrées, le dépouillement et l'interprétation de ces enregistrements en comparaison avec le modèle numérique du pont ont permis de concevoir et de dimensionner le nouveau tablier épaissi et élargi de façon à ce qu'il soit apte à supporter un tram. D'autres mesures d'absorption des vibrations sont prévues telles que appareils d'appui spéciaux et matelas amortisseurs.

Les conclusions montrent que les ordres de grandeur des fréquences propres de l'ouvrage réhabilité resteront éloignés des fréquences de vibrations des voies de tram.

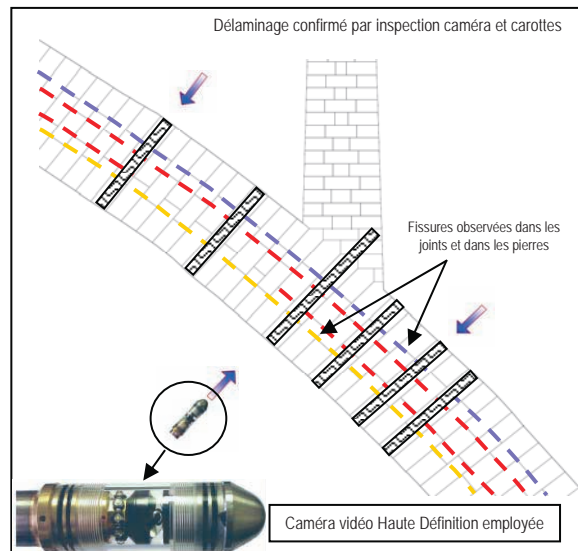
Quelles zones des arcs sont à conforter?

L'étendue globale du délaminage n'étant pas connue, une campagne d'auscultation géoradar a été exécutée fin 2009. L'analyse de ces résultats, confirmés en avril 2010 par forage et caméra optique, a révélé en plus de la fissure traversante verticale, 4 à 5 niveaux de fissuration horizontales internes largement étendus, invisibles depuis l'extérieur.

Fissuration intérieure détectée (extrait des résultats d'un institut universitaire spécialisé)



Fissuration intérieure confirmée (extrait résultats SGL)



Il y a donc bel et bien délamination des grands arcs et bien plus important que les seules fissures externes ont pu le laisser croire. Dès lors, il ne subsiste plus aucun doute quant à la nécessité de rétablir un maintien efficace et durable des 3 rouleaux entre eux sur la globalité des arcs.

Vu ce qui précède et l'importance des dégâts causés par les infiltrations d'eau et de saumures qui conduiront sans doute à une restriction d'utilisation et à des investigations et coûts supplémentaires

sensibles pour conserver les pierres. L'implantation du pont provisoire et la réhabilitation consécutive du Pont Adolphe ne doivent plus être repoussées.

Essais in situ d'injectabilité des maçonneries des grands arcs

Ces essais exécutés à partir de 2008 ont pour objectifs la détermination des caractéristiques des produits d'injection, ainsi que leur mode opératoire de réalisation.

Concomitamment, les forages exécutés à ces fins ont permis leur auscultation par caméra et l'examen visuel des carottes prélevées (cf. ci-dessus).

Enfin, ce sera l'occasion également de mettre au point la technique de rejointoiement des maçonneries.

La campagne menée a permis de mettre en évidence les caractéristiques hydrauliques singulières de la maçonnerie des arcs par une série de tests d'absorption d'eau réalisés en forages. Une forte conductivité hydraulique a été constatée entraînant des fuites importantes au niveau des joints.

Des discontinuités importantes ont été constatées conduisant au choix d'un traitement systématique des maçonneries. Le liant d'injection devant quant à lui être élaboré pour pénétrer les joints et les fissures interceptées.

Ce faisant, plusieurs compositions de liants hydrauliques ultrafins ont été étudiées pour répondre aux contraintes particulières de l'ouvrage. A ce titre, la recherche de propriétés rhéologiques combinées aux exigences mécaniques et aux conditions d'une maçonnerie semi-saturée et en présence de chlorure, ont amené à prolonger la mise au point des matériaux à l'institut universitaire spécialisé pour validation des essais réalisés in situ.

La faisabilité des travaux d'injection a pu être validée grâce aux essais conduits sur l'arc amont Ville. La distance moyenne interforage a été retenue à 1,50 m permettant ainsi d'harmoniser les opérations d'injection, de contrôle et de renforcement.

Enfin, diverses techniques de rejointoiement ont été testées. La préférence a été donnée à la mécanisation, moyennant un nettoyage simultané de la pierre.

Causes du délaminage des 2 grands arcs constaté

Par ces campagnes d'investigations, il est confirmé qu'il s'agit là de fractures des pierres de queuetages associant entre eux les trois rouleaux conçus par Séjourné pour réaliser les grands arcs.

La somme des composantes horizontales des trois rouleaux étant une constante, un rouleau déchargé génère la surcharge des deux autres au travers des queuetages. Davantage sollicités, ceux-ci peuvent se rompre. Puis, les premières défaillances entraînent d'autres dans le cadre d'une „chaîne de déchirures successives“.

La répartition de charges non uniformes entre rouleaux est de différente nature:

- de par le mode construction des arcs: à l'époque quelques réserves sont d'ailleurs émises vis-à-vis de ce procédé,
- de par la participation des tympans liés aux arcs au centre de l'ouvrage: les calculs ont effectivement montré qu'une part du flux des efforts de l'arc est captée par les tympans. Comme conséquence on peut vérifier sur l'ouvrage la fissuration de ces tympans et en déduire un cisaillement des pierres de queuetage. Ce sont d'ailleurs bien ces régions des arcs qui ont fait l'objet des premiers relevés de fissures puis de renforcements.

D'autre part, il est important d'associer à ce phénomène des effets essentiels pénalisant la situation:

- la fatigue centennale de la structure,
- l'assainissement défaillant,
- les effets différentiels de température entre les extérieurs et le cœur des maçonneries épaisses (non déterminants vis-à-vis du délaminage),
- l'excentricité initiale, augmentée par la réhabilitation 1961/2 des reports de charge du tablier,
- l'élargissement du tablier, à cette date, a été générateur d'un supplément de charge permanente excentrique.

Relevons qu'un élargissement du tablier générateur d'un supplément de charge permanente ne saurait être nocif pour un arc qui s'en trouve juste un peu plus comprimé. Il convient toutefois de s'assurer d'une distribution centrée de ce complément de poids.

Comment conforter les arcs?

Il est acquis que la réhabilitation prévoit leur renforcement par réalisation d'un réseau d'inclusions qui permettront de solidariser les 3 rouleaux, en complément d'une injection du réseau des fissures.

Initialement, un projet de maquettes de comportement s'attachait sur un modèle réduit de portion de grand arc à engendrer des ruptures de queue tout en s'inspirant au plus près du „concept Séjourné“ des trois rouleaux. Cependant ce projet trop ambitieux a dû être abandonné faute d'exécutants et de temps.

En renonçant à la courbure et par la mise en oeuvre d'efforts moins importants, un autre projet allant plus à „l'essentiel“ a retenu l'attention d'un laboratoire universitaire spécialisé.

En faisant usage d'une presse existante équipée en version cisaillement, les essais sont de ce fait recentrés vers l'acquisition de résultats en cisaillement relatifs à des complexes „Pierres de Gilsdorf/Coulis/Métaux d'inclusion passifs ou activés“.

Sont ainsi demandées:

- les capacités d'ancrage des métaux dans les coulis,
- les prises d'appui sur des redans toriques obtenus par un réalésage local des maçonneries.

Ces dernières dispositions pouvant s'avérer intéressantes pour éviter toute présence en surface des arcs de plaques métalliques apparentes sur les faces visibles des arcs.

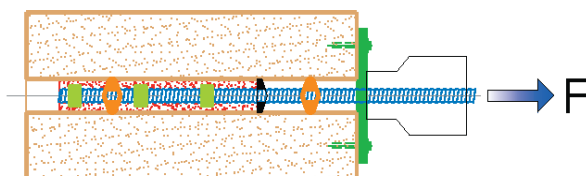
Les matériaux et techniques constitutifs de ces renforts sont testés en laboratoire universitaire afin de retenir le meilleur complexe inclusion/maçonnerie par la recherche de la meilleure adéquation entre efficacité, durabilité et esthétique.

- efficacité: mise au point de l'ancrage le plus adéquat et la détermination des meilleures capacités en traction et en cisaillement du système
- durabilité: test de plusieurs types de barres injectées (titanes, aciers inoxydables) avec différents types de coulis
- esthétique: recherche d'ancrages les plus discrets possibles

Les essais sont de 3 types:

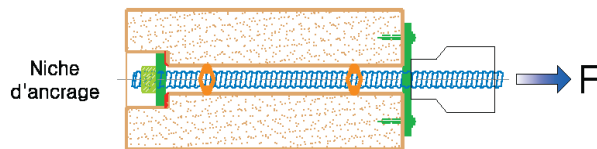
- des essais de scellement permettant d'apprécier par différents paramètres (géométrie du forage, nature du coulis) les capacités mécaniques du système barre/coulis/pierre

Exemple d'essai de scellement



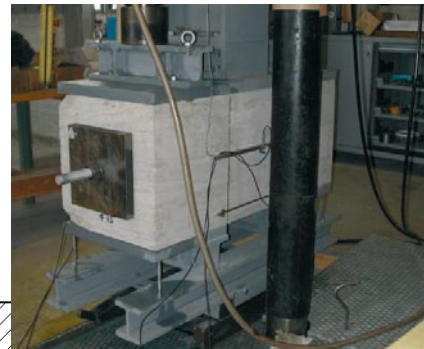
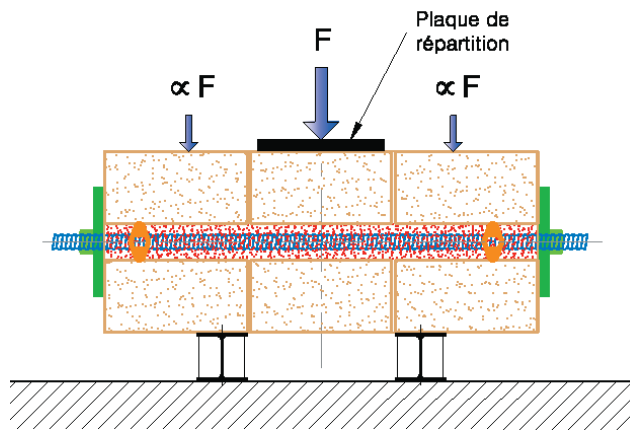
- des essais d'ancrage afin de minimiser l'impact visuel

Exemple d'essai d'ancrage



- des essais de cisaillement proprement dits (3 pierres = 3 rouleaux)

Dispositif d'essai de cisaillement



*

LE PROJET DE REHABILITATION DE L'OUVRAGE

Les solutions techniques proposées visent à redonner au Pont Adolphe une seconde jeunesse pour que sa nouvelle durabilité, associée d'un entretien adapté, soit au moins égale à 100 ans.

Conformément aux souhaits de l'UNESCO, les techniques de réhabilitation retenues ont été choisies de manière à rendre possible de nouvelles restaurations ultérieures tout en préservant au mieux l'architecture dessinée et réalisée par SÉJOURNÉ.

Les grands principes

La possibilité de conserver les arcs en les confortant une fois acquise, le projet de réhabilitation de l'ouvrage a été conduit en s'obligeant au maintien maximal, voire total, des maçonneries d'origine.

Ainsi, l'ensemble des parties d'ouvrage situées en-dessous de la sous-face actuelle du tablier, représenté par la ligne W-W dessinée par Paul Séjourné, sont conservées par confortement ou démontage et remontage à l'identique.

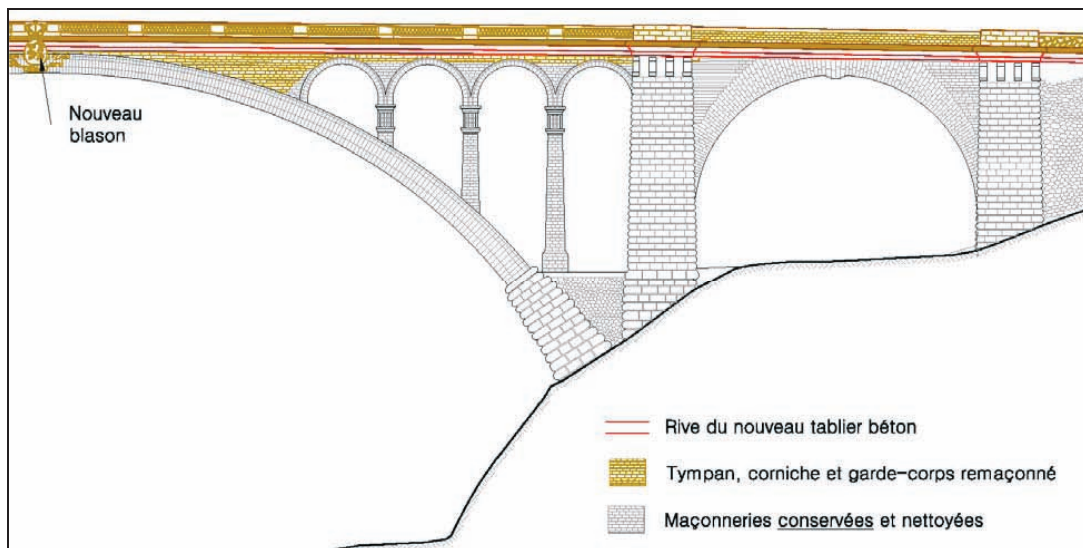
Les éléments constitutifs des garde-corps seront également reconduits à l'identique: en pierres reconditionnées dans la mesure du possible ou neuves si non.

Le rehaussement et l'élargissement du tablier ont fait l'objet d'une attention toute particulière de manière à rester en cohérence avec l'image de l'ouvrage.

Enfin, l'emblème symbolisé par le blason constitue à lui seul une recherche architecturale spécifique.

Un nouveau tablier

Le projet prévoit la dépose du tablier actuel, puis la réalisation d'un nouveau. Il sera plus large, plus épais et constituera également une couverture étanche aux maçonneries sous-jacentes. Il s'avère en effet que celles-ci ont subi, et subissent encore, l'écoulement abondant des infiltrations d'eaux et de saumures.



Coupe fonctionnelle

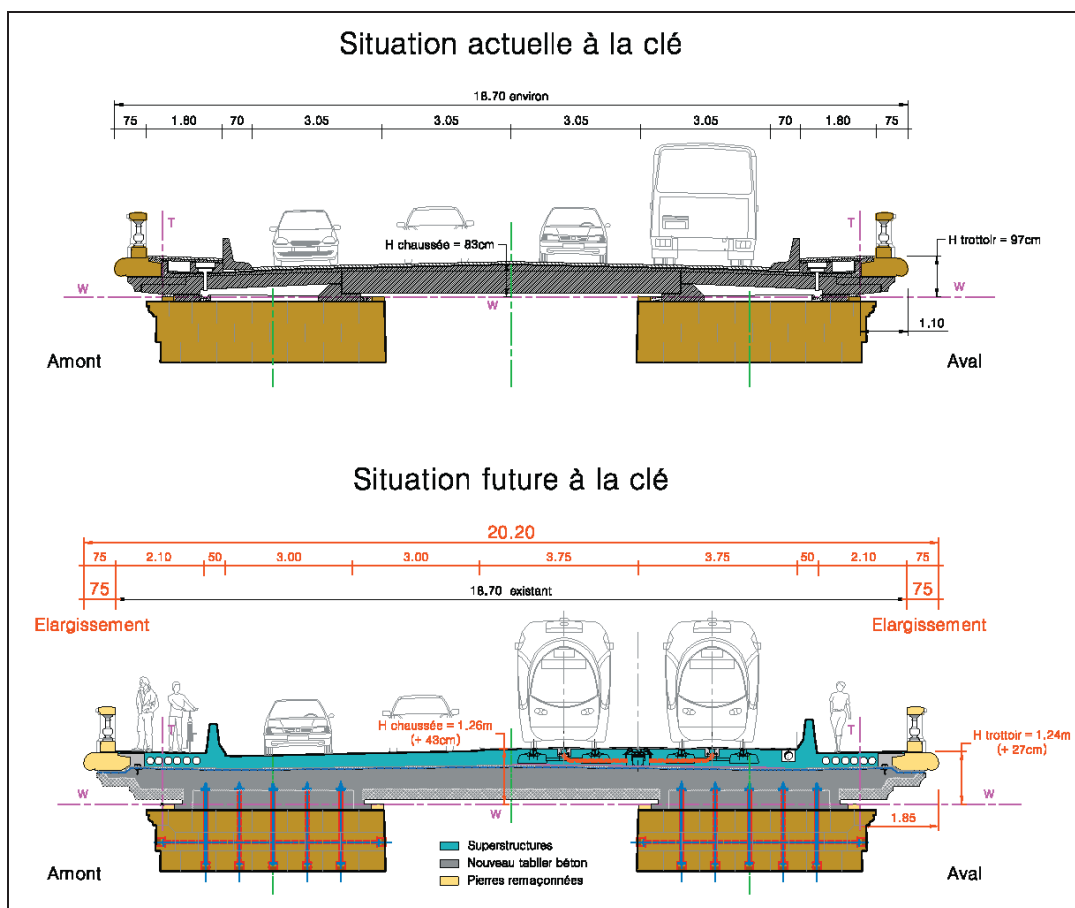
Au cours du XX^{ème} siècle, la largeur utile du Pont Adolphe (distance entre parapets) a été élargie de 16,00 m en 1903 à 17,20 m aujourd'hui permettant de s'adapter aux conditions de circulation.

Les futures conditions de trafic, l'élargissement des trottoirs (+ 2 x 30 cm), ainsi que la prise en compte du gabarit nécessaire au futur tram conduisent à augmenter à nouveau la largeur utile.

Un élargissement de 1,50 m (2 x 0,75 m) est prévu.

Ainsi, la nouvelle distribution fonctionnelle sera répartie en une chaussée de 13,50 m (7,50 m de gabarit du tram + 2 voies de 3,00 m ou 4 voies de 3,37 m) bordée par 2 trottoirs de 2,10 m, chacun sécurisé par une barrière chasse-roue de 0,50 m. La largeur utile sera donc portée à 18,70 m.

Coupe fonctionnelle du projet de réhabilitation



Couverture étanche continue

Les conséquences des nombreuses infiltrations et circulations d'eaux chargées et agressives provenant de la chaussée (sels de déverglaçage) sont visibles sur les parements de l'ouvrage.

La présence de 2 joints de dilatation défectueux au dessus des maçonneries amplifie le phénomène: cette interruption du tablier a permis à l'eau de s'engouffrer dans la maçonnerie de l'ouvrage.

Il a donc été décidé, pour remédier à ce problème, de reporter les joints de dilatation au plus loin des arcs principaux et équipés de dispositifs de recueil reliés au réseau d'assainissement.

La continuité du tablier sur l'ensemble des arcs principaux permettra de les protéger des venues d'eaux en créant une barrière étanche.

Structure

Confortement des arcs

Un des objectifs principaux du projet de réhabilitation du Pont Adolphe est de renforcer durablement les arcs principaux face au phénomène repéré de délaminage. Comme déjà évoqué, cette désolidarisation partielle et évolutive des 3 rouleaux entraîne un affaiblissement statique important des arcs, causé par une perte importante d'inertie.

Pour rétablir le monolithisme entre les 3 rouleaux, les mesures suivantes ont été retenues:

- Solidariser les rouleaux par un serrage actif.
- Comblent les vides existants par l'injection d'un coulis apte à remplir le réseau de fissuration.

Renforcement en zone de clé

Les puissants tympans mis en oeuvre par Paul Séjourné dans la zone de clé des arcs principaux font penser que le concepteur aurait souhaité conforter cette partie des arcs très élancée. D'ailleurs, la fissuration des tympans montre une diffusion des efforts des arcs vers ces derniers.

Dans le même esprit, le projet de réhabilitation prévoit le confortement de la zone centrale des arcs par l'addition d'un renforcement en leurs extradados. Ce renfort baptisé „4ème rouleau“, non visible, sera en béton armé structurellement lié aux 3 autres. En clé, le tablier intimement lié à l'arc, constituera en lui-même le „4ème rouleau“. Ce complément d'inertie permet dès lors la différenciation par désolidarisation des arcs avec les tympans.

Système statique

Les arcs renforcés gardent un fonctionnement classique en compression.

Les piles conservées permettent le transfert de charges aux arcs sous-jacents.

En revanche, le système statique du tablier est épuré. En effet, ce dernier est rendu solidaire des arcs dans les seules zones de clé. Ailleurs, il repose sur des appuis néoprène positionnés à l'axe de chaque pile permettant en outre de supprimer tous les effets de torsion. Une butée transversale est prévue sur les pilastres.

Entretien aisé

Lors de l'élaboration du projet de réhabilitation, une attention particulière a été portée à l'entretien:

- Toutes les eaux sont recueillies via un réseau d'assainissement intégré au nouveau tablier et évacuées vers le réseau existant.
- Une niche latérale de visite permet d'accéder aux appuis du tablier.
- L'accès aux dispositifs de recueil des eaux sous joints de chaussée est prévu.
- Un grillage anti-pigeon sera mis en oeuvre pour limiter les dégradations causées par les volatiles aux endroits qui leur sont accessibles.

Les voies de circulation

Sur le Pont Adolphe réhabilité, ainsi que sur les places de Bruxelles et de Metz adjacentes, la voirie est planifiée pour garantir la fluidité du trafic individuel parallèlement au trafic en commun.

Pendant la durée des travaux de réhabilitation du Pont Adolphe, le trafic est dévié via un ouvrage provisoire qui a fait l'objet d'un autre projet de loi début 2011.

Il est prévu de renouveler toutes les conduites et tous les réseaux situés dans les limites du projet et ceux-ci seront réalisés en dehors des voies de tram.

Compte tenu des calculs statiques du nouveau tablier, du complément d'inertie recherché en clé, ainsi que de la hauteur aménagée pour l'incorporation du coffre du tram, un rehaussement du profil en long dans l'axe de l'ouvrage est inévitable: il est égal à la hauteur du coffre et vaut 43 cm. Toutefois, comme le montre la coupe fonctionnelle ci-avant, le rehaussement sur les bords de l'ouvrage n'a que 27 cm.

Depuis l'origine sur le bd Royal, le profil en long est à niveau avec l'existant et a une pente de -2,18% en direction de la Gare et emprunte ensuite une rampe de 0,40% pour se raccorder au nouveau profil en long du Pont Adolphe. Celui-ci se situe, comme c'est actuellement le cas, sur une ligne parallèle à celle passant par les intrados des clés des voûtes élégies avec un décalage de 43 cm vers le haut.

Au sud du pont, le raccord aux niveaux actuels se fait sur la longueur de la place de Metz de façon à ce qu'au début de l'avenue de la Liberté ceux-ci soient préservés.

Les voies de roulement sont définies comme suit:

- Deux voies pour automobiles en sens unique depuis le centre Ville vers la Gare.
- Deux voies de tram à double sens de circulation situées du côté aval du pont. L’approvisionnement du courant est prévu par le bas à partir du coffre de 43 cm de hauteur.

Le réaménagement des carrefours sur les places de Bruxelles et de Metz reste sensiblement le même, sauf pour les adaptations des profils en long. Pour éviter (avec seulement 2 voies direction Gare) des remontées de files jusque dans l’avenue Marie-Thérèse, les tournes à droite et à gauche devront être reportés de la place de Metz jusqu’à la place des Martyrs.

Ce réaménagement tient compte du concept tram-bus. Cependant, suite à l’évolution du projet Tram concernant son fonctionnement et le traitement architectural le long de celui-ci, il est possible que l’aménagement de la place de Metz subisse des adaptations qui devraient alors être traitées séparément.

Dans le cas où le tram ne serait pas réalisé, les deux voies latérales seraient attribuées aux transports en commun.

Intégration de l’ouvrage réhabilité

Le Pont Adolphe avec ses voiries d’accès se trouve dans la zone tampon du périmètre de l’UNESCO. Ceci implique que des adaptations architecturales et urbanistiques sont planifiées en collaboration avec le Service des sites et monuments nationaux.

Les aspects architecturaux

L’élargissement et le rehaussement du tablier a rendu nécessaire la modification de plusieurs détails du parement du pont, comme la forme des retombées des sous-faces des trottoirs, l’élargissement des balcons surmontant les pilastres, le blason en clef d’arc.

Un architecte fut consulté afin de remodeler les zones impactées notamment le blason en clef de l’arc. Ainsi, avec la participation du SSMN, il a été possible de limiter l’impact esthétique de l’élargissement du pont et de conserver au mieux l’aspect de l’ouvrage.

Blason en clef d’arc – Etat existant

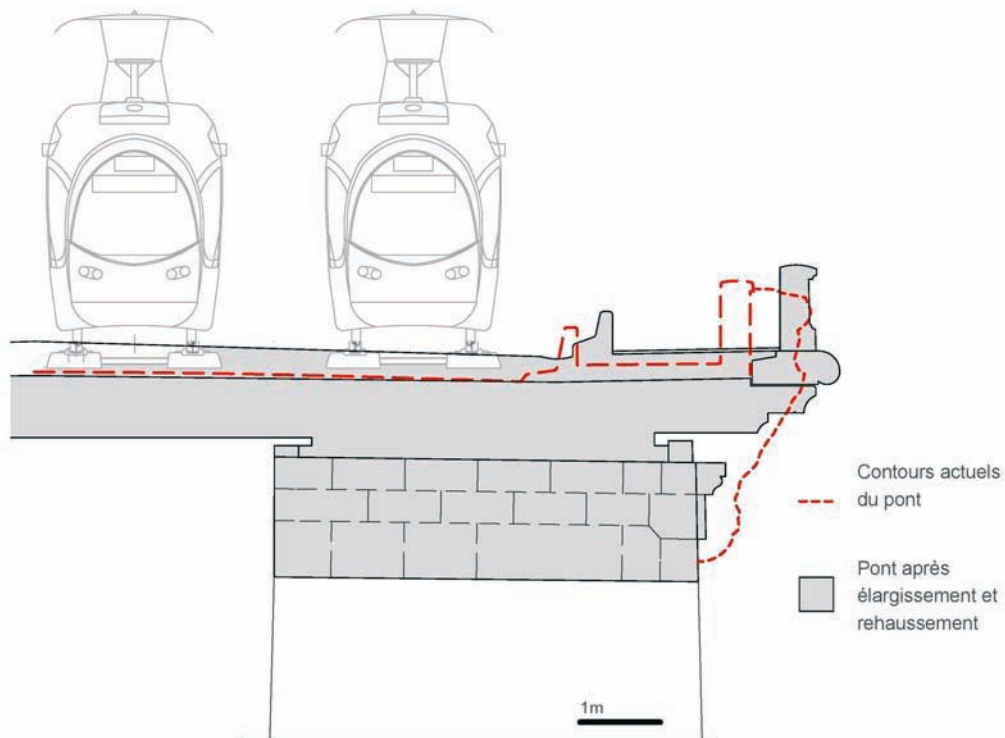


*Blason en clef d'arc – Etat projeté après élargissement du pont
(les couleurs représentant les travaux requis)*

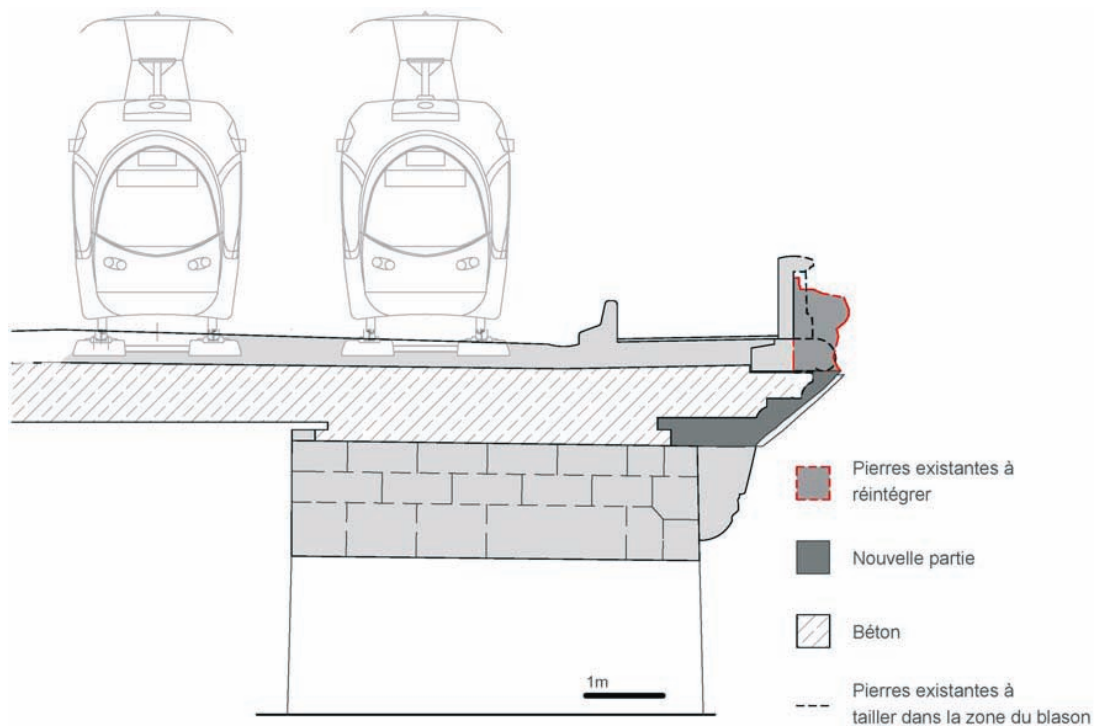


De grandes parties du blason sont conservées, à savoir les ornements originaux en partie basse, ainsi que la couronne rajoutée à l'époque du premier élargissement dans les années 1960. La partie centrale du blason doit être retaillée dans les mêmes proportions mais légèrement plus inclinée.

Coupe à travers le blason – Etat existant



Coupe à travers le blason – Etat projeté après élargissement du pont



Traitement des pierres

Les pierres du pont sont altérées sur des zones généralement bien délimitées: en parement on constate de nombreuses traces de coulures blanches et noires. Ces traces mettent en évidence la circulation interne d'eaux chargées en sel. Ces eaux s'infiltrent depuis la chaussée, notamment et abondamment par les joints de chaussée, avant d'emprunter les réseaux de fissures et les cavités de la maçonnerie. Les résurgences en paroi qui en découlent sont à l'origine des traces blanches observées.

Les traces noires sont quant à elles induites par la pollution atmosphérique qui vient se coller aux parements que la présence de sel rend adhérents.

Par endroit, notamment lorsque le grès constitutif des pierres est plus tendre, les agents atmosphériques naturels (vent, pluie, température) amplifient encore le phénomène, conduisant à une altération importante des parements.

Sauf pour les douelles des petits arcs (photo 3 ci-dessous), l'altération reste essentiellement en surface des parements de l'ouvrage, elle ne saurait remettre en question des défauts structuraux notables.

Altération des maçonneries



Les joints des arcs principaux sont généralement en assez bon état. Cependant, le traitement en profondeur des arcs, les essais l'ont montré, nécessite la restauration de l'étanchéité périphérique des arcs afin de permettre l'injection. La totalité des joints sera donc réhabilitée. Outre les arcs, les joints qui sont effectivement dégradés seront reconditionnés manuellement.

Le nettoyage de la pierre doit se limiter à l'élimination des salissures, résidus de pollution, dépôts de gypse, concrétions calcaires, efflorescences salines, mousses et lichens sans trop altérer le support. Par conséquent, le choix des méthodes d'intervention – brossage, hydro-gommage, aéro-gommage ou cryogénéisation – devra être adapté aux diverses situations en respectant cette exigence. Il est prévu que différentes méthodes ou des combinaisons de celles-ci devront être mises en oeuvre afin d'obtenir le meilleur résultat tout en sauvegardant la substance historique de l'ouvrage.

Les essais réalisés en 2010/11 ont apporté des informations importantes sur l'efficacité des différentes techniques mises en oeuvre et le niveau d'atteinte à la substance de la pierre. En particulier, les difficultés du nettoyage du mortier de jointolement appliqué par projection à la machine, ainsi que l'élimination des concrétions calcaires ont été mises en évidence. Ces dernières nécessitent un égrillage mécanique préalable au nettoyage final.

Les sels sont présents en grande quantité dans la pierre. Provenant du déverglaçage, ces sels hydro-solubles sont transportés à la surface de la pierre et cristallisent au contact de l'air. Sous l'effet des pressions engendrées par les phases successives de cristallisation, la pierre se désagrège, comme on peut l'observer au sommet des arcs principaux et sur les arcs secondaires.

Pour l'élimination périphérique de ces sels, la profondeur d'extraction est prépondérante. L'application de compresses d'argile en deux interventions donne de bons résultats et est efficace à une profondeur de 3 à 5 cm. Il faut préciser que ces travaux ne pourront être entrepris qu'après étanchéisation du tablier et assèchement suffisant de la maçonnerie. Aussi une extraction complète des sels dans toute l'épaisseur du parement est impossible car ils réapparaîtront par endroits. Ainsi il est prévu de traiter, après la fin du chantier, des zones ponctuellement avec les mêmes techniques mais en faisant appel à des moyens mobiles d'intervention.

Pour les zones les plus durement touchées où les pierres sont érodées sur une profondeur importante, quelques remplacements sont prévus. Le restrillage in situ du parement fera l'objet des plus grands soins de manière à bien intégrer ces réparations.

Chaque opération de nettoyage, de remplacement de pierre, de réfection de joint, de reconstruction ou de retaille de parement fera l'objet d'une épreuve de convenance avec point d'arrêt dont la levée

par le maître d'ouvrage, dans le cas où elle est jugée satisfaisante, conditionne l'exécution des travaux.

Méthodes – Installations de chantier

Les principes généraux de réalisation de la réhabilitation du Pont Adolphe ont été imaginés en tenant compte des contraintes générées par le caractère exceptionnel du site tant du point de vue environnemental qu'en termes de trafic:

- la réhabilitation du pont s'inscrit dans le cadre plus large incluant l'amélioration des accès de chantier dans la vallée de la Pétrusse et la mise en oeuvre du pont provisoire (v. planche 2);
- une attention toute particulière a été portée pour minimiser les atteintes à l'environnement dans la vallée de la Pétrusse: minimiser les bruits émis par le chantier, maintenir le plus grand nombre d'arbres en l'état;
- les accès aux propriétés de la vallée ont été maintenus et la sécurité de ces cheminements (véhicules légers, piétons, train touristique) a fait l'objet de la plus grande attention. La plupart du temps, côté Ville, la majorité des circulations est conservée;
- afin de minimiser le trafic propre au chantier dans la vallée, il a été privilégié des méthodes constructives permettant le transfert des matériaux par les extrémités de l'ouvrage au droit des places de Metz et de Bruxelles et l'utilisation des axes de circulation riverains de la vallée de la Pétrusse (boulevard de la Pétrusse, boulevard Roosevelt et avenue Marie-Thérèse). Cette disposition est valable pour la déconstruction (produits de démolition, pierres) et pour la reconstruction (aciers, béton prêt à l'emploi, pierres).

Ces éléments ont présidé aux choix des méthodes constructives suivantes:

- mise à disposition d'une importante surface de travail le long de la Pétrusse en rive droite;
- utilisation d'aires de stockage importantes au niveau des places de Metz et de Bruxelles afin de faciliter l'intégration du trafic chantier et de minimiser les impacts des approvisionnements dans la vallée;
- utilisation de grues à tour permettant, sans survol du pont provisoire, les évacuations et approvisionnements du chantier par ces aires de stockage;
- utilisation d'un échafaudage complet permettant l'accès à l'ensemble du parement de l'ouvrage. Cet échafaudage assure la collecte des eaux de lavage la protection contre le bruit et la protection contre les chutes de gravats et d'objets.

D'autre part, la structure de cet ouvrage en maçonnerie construit il y a plus d'un siècle et les pathologies constatées imposent également des contraintes de réalisation:

- la valeur historique de l'ouvrage est importante, ce patrimoine sera conservé dans la mesure du possible. Dans leur très grande majorité, les pierres de parement sont conservées et seront nettoyées avec des moyens adaptés à la conservation de la substance historique. Pour les pierres de tympans qui doivent être provisoirement ôtées pour permettre la mise en place de la nouvelle structure sous tablier, il est prévu de les repérer, numéroter, transporter, traiter et réinstaller sur l'ouvrage;
- en préalable aux travaux structurels sur l'ouvrage, les voûtes seront renforcées par des cintres métalliques. Ces cintres seront mis en place par ripage latéral, élément par élément, et le contact avec la pierre de l'ouvrage assuré par une structure en bois plaquée par vérinage. En outre, ces cintres assurent le confortement horizontal de l'ouvrage;
- la déconstruction-reconstruction du tablier devra s'opérer de manière symétrique. Plus précisément pour la déconstruction, il est prévu un découpage d'éléments par l'utilisation de techniques de sciage et une évacuation par portique pour être chargés aux extrémités du pont. Cet enlèvement du tablier s'accompagne de la mise en place entre les arcs de contreventements horizontaux de stabilisation des arcs l'un par rapport à l'autre. Il est prévu 3 contreventements de type croix de Saint-André. Ces dispositifs seront équipés de jauges de contraintes afin de suivre l'évolution des mouvements des arcs. Pour la reconstruction, la partie sur appuis néoprène sera réalisée par sections d'une douzaine de mètres de longueur en utilisant des dalles préfabriquées mises en place par le portique. Le bétonnage sera assuré symétriquement par plots des rives vers le centre;
- la structure portante (arcs, piles) sera renforcée en profitant de la diminution de contraintes créée par l'enlèvement du tablier. Le renforcement de l'arc sera réalisé par zone en respectant, sous les voûtelettes, le phasage suivant: détente des barres provisoires actuelles – injection de l'arc – mise en oeuvre des inclusions de renforcement définitives.

Les protections contre les nuisances

- emploi d'engins récents munis de catalyseurs
- arrosage adéquat pour réduire l'émission des poussières
- eaux usées ou polluées recueillies, traitées et évacuées
- clôtures autour des troncs et espace de sécurité des engins pour protéger les racines des arbres
- protections antibruit

Une campagne de mesurages du bruit et des vibrations a été entreprise permettant d'évaluer les incidences sur le voisinage. Si nécessaire, des mesures de protection antibruit supplémentaires seront mises en place. Un organisme agréé surveillera ces incidences durant toute la durée du chantier. Il validera les procédés avant démarrage des opérations et suivra les alarmes en cas de dépassements des seuils autorisés.

Les assurances

Le chantier est couvert par une assurance „Responsabilité Civile“ afin de couvrir les réclamations des tiers du fait de la construction, ainsi que par une assurance „Tous Risques Chantier“ afin de couvrir les pertes ou dommages matériels de toute nature subis par l'ouvrage pendant les périodes de travaux jusqu'à sa réception par le Maître de l'Ouvrage.

Ces assurances seront souscrites par l'entrepreneur adjudicataire et sur base du cahier des charges défini par le Maître de l'Ouvrage.

Surveillances et sécurité des travaux

Les plans, ainsi que les technologies de remise en état sont contrôlés par un bureau agréé. Il assurera également un suivi régulier des travaux. Indépendamment des calculs des bureaux d'études, il établit des propres calculs pour comparer les résultats. Les calculs détaillés et complexes des phasages de déconstruction-construction sont à relever.

L'assistance technique au Maître d'Ouvrage pour la surveillance et la sécurité des travaux a fait l'objet d'une soumission publique (pont provisoire et Pont Adolphe) avec critères de sélection et d'adjudication en 2011.

Des missions ponctuelles d'experts e.a. pour le contrôle des injections et des barres de confortement, le traitement et travail des pierres, l'esthétique, la mesure de la fréquence propre du pont réhabilité sont prévues.

Délais et phasage général des travaux

La réhabilitation du Pont Adolphe s'inscrit le planning général de l'opération incluant les ouvrages sur la Pétrusse et la mise en oeuvre du pont provisoire (v. planche 11).

Le délai global de la réhabilitation s'établit à 40 mois environ, mais la durée où la circulation est basculée sur le pont provisoire est de 30 mois environ. En effet, au démarrage, la préparation du chantier et une partie des installations s'effectuent avant le basculement de la circulation et à la fin, le démontage de l'échafaudage et le nettoyage final des parements s'effectuent sous circulation rétablie sur l'ouvrage. Les délais tiennent compte des périodes chômées de la construction (mois d'août et période de Noël, hors intempéries).

L'organisation des travaux est décrite selon le phasage présenté ci-dessous.

En résumé, 2 grands principes ont présidé à l'élaboration du planning:

- la nécessité de travailler symétriquement afin de ne pas déséquilibrer les arcs,
- la diminution des contraintes dans les arcs afin de faciliter le confortement des arcs par injection.

Les principales phases sont donc les suivantes:

- les travaux préparatoires constitués par la réalisation des plateformes et installations nécessaires au chantier mais surtout par la mise en oeuvre de l'échafaudage et des cintres de stabilisation des voûtes;
- la phase 1 est constituée par la démolition du tablier. La structure sera morcelée par sciage du centre vers les extrémités symétriquement;

- la phase 2 est constituée par l'enlèvement du remplissage sous chaussée. Cette phase sera également réalisée symétriquement. La fin de cette phase constitue la fin de la démolition. Un point d'arrêt sera respecté afin d'analyser le comportement de la structure ainsi allégée;
- la phase 3 est constituée par le renforcement des arcs, en plusieurs phases très techniques, par injection et remplacement des barres;
- la phase 4 est constituée par la réalisation de la structure liée à la maçonnerie. Cette phase est également à exécuter symétriquement;
- la phase 5 est constituée par la réalisation du tablier sur appuis néoprène. Cette phase est à réaliser symétriquement par plots;
- la phase 6 comprend l'exécution des superstructures. Durant cette phase, les opérations de nettoyage spécifiques (concrétions calcaires, extractions des sels) sont réalisées;
- la phase 7 consiste dans le réaménagement des deux Places attenantes et dans la remise en état des lieux. Le démontage de l'échafaudage d'accès et le nettoyage final des pierres de parement contiennent après mise en circulation de l'ouvrage.

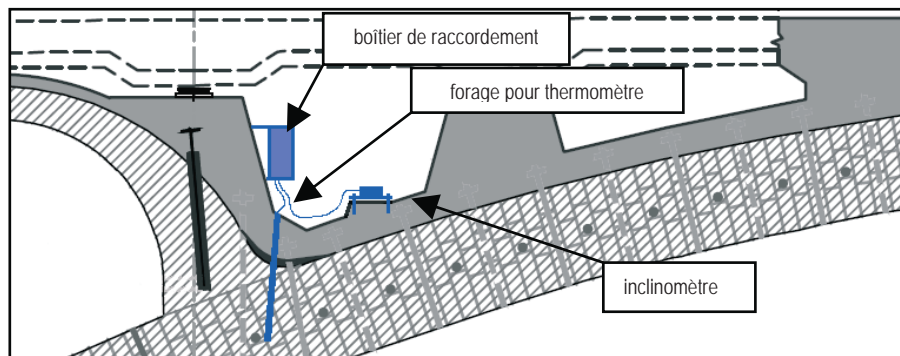
Et la suite de l'instrumentation

D'une manière générale, il est préférable de limiter les mesures effectuées pour ne retenir que celles réellement utiles et de ne pas chercher à conserver tous les dispositifs de mesure existants. En effet, pendant les travaux, il est irréaliste de maintenir les mesures à partir des capteurs existants, beaucoup trop exposés aux aléas du chantier. D'autres capteurs seront installés et les mesures seront concentrées aux points clé de l'ouvrage (naissance, clé, entre les arcs). Elles seront automatisées, permanentes et continues. Un moniteur de contrôle sera installé auprès de la direction des travaux.

Le contrôle topographique sera maintenu et automatisé, moyennant le report des cibles de visées hors des échafaudages.

Une fois l'ouvrage en service, un inclinomètre et un thermomètre permanents seront installés et reliés à une centrale de mesure à proximité.

Installation de capteurs compatibles avec l'ouvrage réhabilité en service



FICHE FINANCIERE

A l'exception des rails du tram, toutes les dépenses engagées et à engager pour l'ensemble des prestations et travaux relatifs à la réhabilitation totale du Pont Adolphe et le réaménagement des places de Metz et de Bruxelles sont reprises dans la fiche financière ci-après.

Le coût global de la présente loi s'élève à 62.900.000 € toutes taxes comprises et correspond à la valeur de l'indice semestriel des prix de la construction valable en avril 2011 (696,95).

Fiche récapitulative aux coûts de consommation et d'entretien annuels

(selon l'article 79 du chapitre 17 de la loi modifiée du 8 juin 1999
sur le budget, la comptabilité et la trésorerie de l'Etat)

Les frais annuels futurs occasionnés par le nouveau Pont Adolphe seront plus ou moins équivalents à ceux du passé. Dans un premier temps, les frais annuels prévisibles seront inférieurs à ceux nécessaires actuellement pour garder en état un pont en fin de vie et pour assurer les campagnes d'inspection fréquentes pour surveiller l'évolution de son état. Les frais annuels augmenteront cependant au fur et à mesure du vieillissement du pont, comme c'est le cas pour toute structure.

Communément, les frais d'entretien annuels des ponts sont estimés à environ 0,5% à 2,5% de leur coût de construction. La conception du nouveau tablier du pont OA750 en général et des détails constructifs en particulier vise une durée de vie maximale et une robustesse le plaçant le plus près de 0,5% pour les frais ultérieurs d'entretien et d'inspection.

Le contrôle de la conformité des travaux aux règles de l'art et aux exigences des cahiers des charges joue de ce fait également un rôle important et sera à effectuer que par de la main-d'oeuvre qualifiée.

L'impact du pont sur le budget d'entretien de l'Etat se trouvera donc dans un premier temps suite au renouvellement fortement réduit par rapport aux coûts actuels, mais augmentera au fur et à mesure de son vieillissement.

Tout comme pour les frais de renouvellement du nouveau pont, les frais d'entretien seront à charge des articles budgétaires 21.7.14.003 (ouvrages d'art routiers: travaux d'entretien et de réparation) et du Fonds des Routes.

Les 1ers 10 ans après réception travaux: ~ 150.000 €/an pour inspection et maintenance.

Par après: ~ 600.000 €/an pour inspection, maintenance et entretien.

Fiche financière

<i>n°</i>	<i>Définition des travaux/investissements indice des prix de la construction d'avril 2011: 696,95</i>	<i>Montants</i>
A*	Etudes et contrôles, travaux et investigations préalables	8.008.841 €
B	Travaux, surveillances, fournitures et prestations accessoires	44.020.000 €
C	Divers et imprévus: ~ 5% (Visiting Center, documentation travaux, mesures de protection et compensatoires non prévues, réaménagement Parc Pétrusse)	2.650.000 €
	Montant total HTVA	54.678.841 €
	TVA 15%	8.201.826 €
	Montant total TVAC	62.880.667 €
	Arrondi à	62.900.000 €

A*: des 8.008.841 € (HTVA), 6.301.884 € sont engagés et 3.816.931 € sont liquidés au 1.6.2012 sur le Fonds des Routes.

A Les études et contrôles, travaux et investigations préalables comprennent:

- les études de la réhabilitation du pont avec arc rigidifié à la clé et des places attenantes,
- l'encadrement d'expert,
- l'adaptation des capteurs optiques sur l'ouvrage réhabilité,
- les études de trafic lors réhabilitation et avec tram,

- les relevés laserométriques et scannage 3D,
- les images de synthèse de l'élargissement du tablier, des redans et du médaillon central,
- les investigations préalables dans et sur pont, les essais universitaires préalables sur pierres de Gilsdorf,
- les contrôles agréés des études et travaux,
- l'auscultation géoradar,
- les études et mesures acoustiques et vibratoires,
- les autres études, conseils et assistance techniques (projet publication, conseil pour assurance tous risques chantier, auscultations dynamiques, ...).

B Les travaux, surveillances, fournitures et prestations accessoires comprennent:

- les travaux de réhabilitation du Pont et les infrastructures du tram (à l'exception des rails) avec une alimentation par le bas,
- l'enlèvement des aménagements routiers provisoires pour le pont provisoire sur les Places de Metz et Bruxelles,
- les travaux de réaménagement des Places de Metz et Bruxelles,
- les nettoyages finaux des pierres du Pont après la fin des travaux,
- les surveillances et sécurité du chantier,
- les fournitures et prestations accessoires.

*

RESUME TECHNIQUE

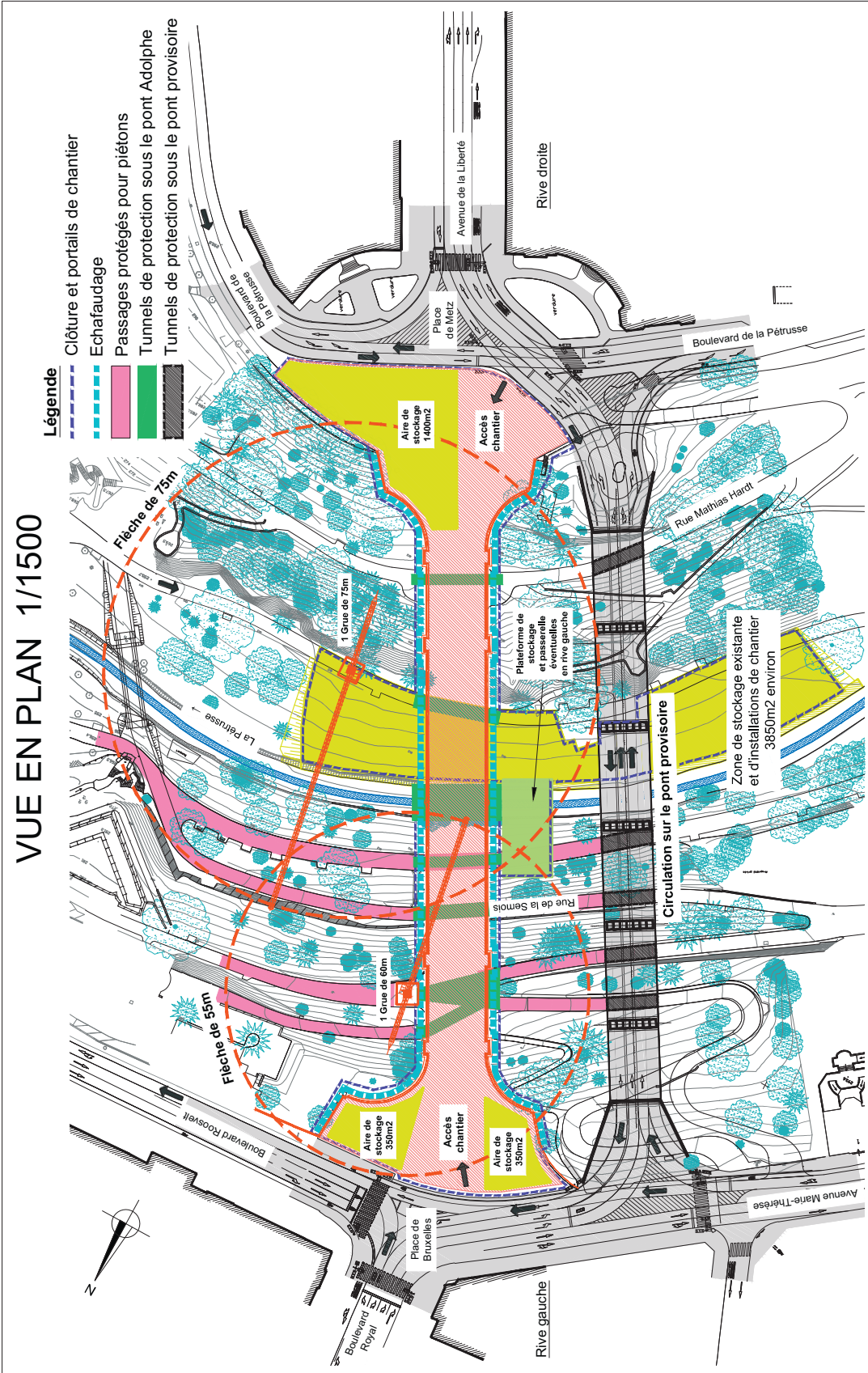
La réhabilitation du Pont Adolphe – OA750 peut être résumée comme suit:

- Planche 1 Vue en plan – repérage des principales zones de travail du chantier
- aires de stockage, déplacements, abattages et protections d'arbres, échafaudage général et tunnels de protection, cintres de confortement provisoire des 2 voûtes de rive et des voûtes d'élégissement, contreventements horizontaux entre les grands arcs et capteurs de mesure, si nécessaire passerelle supplémentaire sur la Pétrusse pour le passage des chariots de chantier
- Planche 2 Représentation des circulations dans la vallée de la Pétrusse pendant les travaux
- Accès au chantier par:
 - les rues de Prague et Saint Quirin et le long de la Pétrusse
 - le serpent à partir de l'avenue Marie-Thérèse
 - la rue de la Semois n'est qu'exceptionnellement autorisée
- Planche 3 Plan de phasage des travaux – Démolition du tablier
- morcellement par sciage du centre vers les extrémités et symétriquement
- Planche 4 Plan de phasage des travaux: Démolition des tympans en maçonnerie
- démolition du remplissage des tympans avec récupération et numérotation des pierres: réalisation symétrique, suivie d'un assèchement des maçonneries restantes et d'un point d'arrêt pour mesurer et analyser le comportement conforme aux calculs de la structure ainsi allégée
- Planche 5 Plan de phasage des travaux: Confortement des grands arcs – Reconstruction des tympans – Réalisation des parties en béton liée aux maçonneries
- consolidation (en 12 zones symétriques et consécutives) des 2 grands arcs: retrait des 258 barres de précontrainte provisoires, rejointoiement et injection au coeur des arcs, forages supplémentaires, mise en place des nouvelles barres de confortement précontraintes et injection définitive des trous, cachetage des ancrages des façades et en intrados
 - réalisation (symétrique) d'une structure complexe en béton armé liée à la maçonnerie. Concernant les arcs principaux, il s'agit de les rigidifier par l'ajout d'un 4ème rouleau en béton armé. Par ailleurs, réalisation de voiles intermédiaires d'appui du nouveau tablier dans les tympans centraux, renforcements (injections et micro-pieux) des têtes de piles, bétonnage d'une couverture collaborante en béton armé coiffant les voûtes d'élégissement, puis des nouveaux chevêtres d'assise sur piles. Cette phase comprend également les renforcements pour la confection des chevêtres situés au droit des chambres de visite actuelles des culées des grands arcs

- Planche 6 Plan de phasage des travaux: réalisation du tablier couronnant les arcs principaux
- réalisation (par plots, symétriquement et avancement par travée entre les pilastres) de la partie du tablier sur appareils d'appui. Il s'agit de réaliser le nouveau tablier qui sera élargi de 2 x 75 cm par rapport à l'état actuel. Ce dernier sera bétonné sur une série de prédalles coffrantes et collaborantes appuyées sur les tympanes reconstitués
 - retrait des cintres de confortement des voûtes élégies et des contreventements provisoires, permutation des capteurs optiques
 - blasons centraux en pierres de Gilsdorf, encorbellements structurels sur les culées
- Planche 7 Plan de phasage des travaux: Réalisation des superstructures
- corniches, parapets, étanchéités, chaussée et équipements y compris les infrastructures pour le Tram
- Planche 8 Adaptations et aménagements finaux des places de Metz et de Bruxelles avec tram, ainsi que enlèvement de la voirie d'approche du pont provisoire
- Planche 9 Profil en long: Y est représenté le rehaussement de 43 cm du nouveau tablier, ainsi que les adaptations nécessaires aux places de Bruxelles et de Metz
- Planche 10 Situation sans tram: Cette situation est sensiblement identique à celle avec tram, où les bus emprunteront les voies devenues disponibles
- Planche 11 Planning général

*

VUE EN PLAN 1/1500

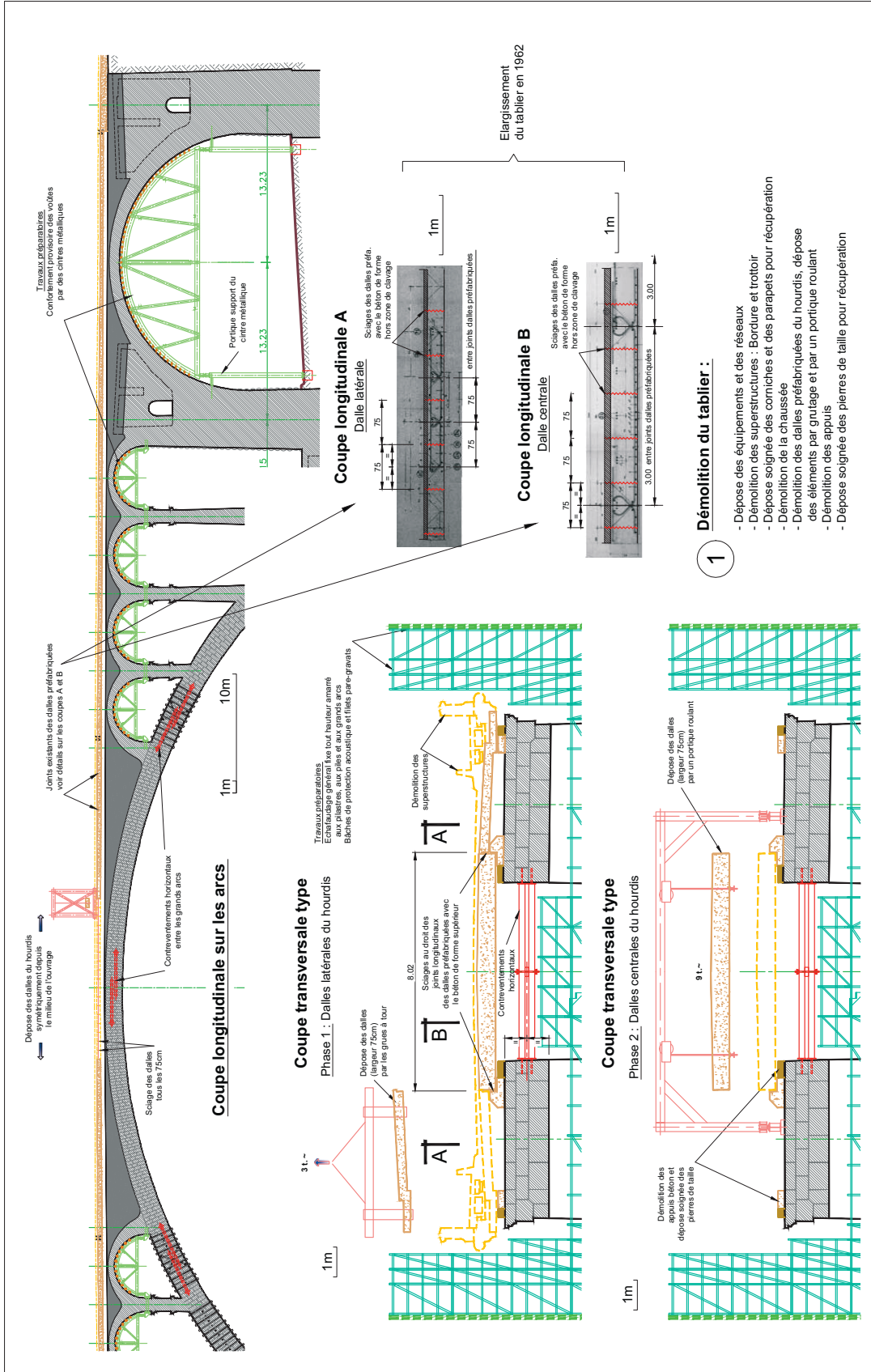


- Légende**
- Clôture et portails de chantier
 - Echafaudage
 - Passages protégés pour piétons
 - Tunnels de protection sous le pont Adolphe
 - Tunnels de protection sous le pont provisoire

PROJET DE LOI :
REHABILITATION DU PONT ADOLPHE "OA 750"
à LUXEMBOURG - VILLE

OBJET :
AIRES DE STOCKAGE ET D'INSTALLATIONS
DE CHANTIER

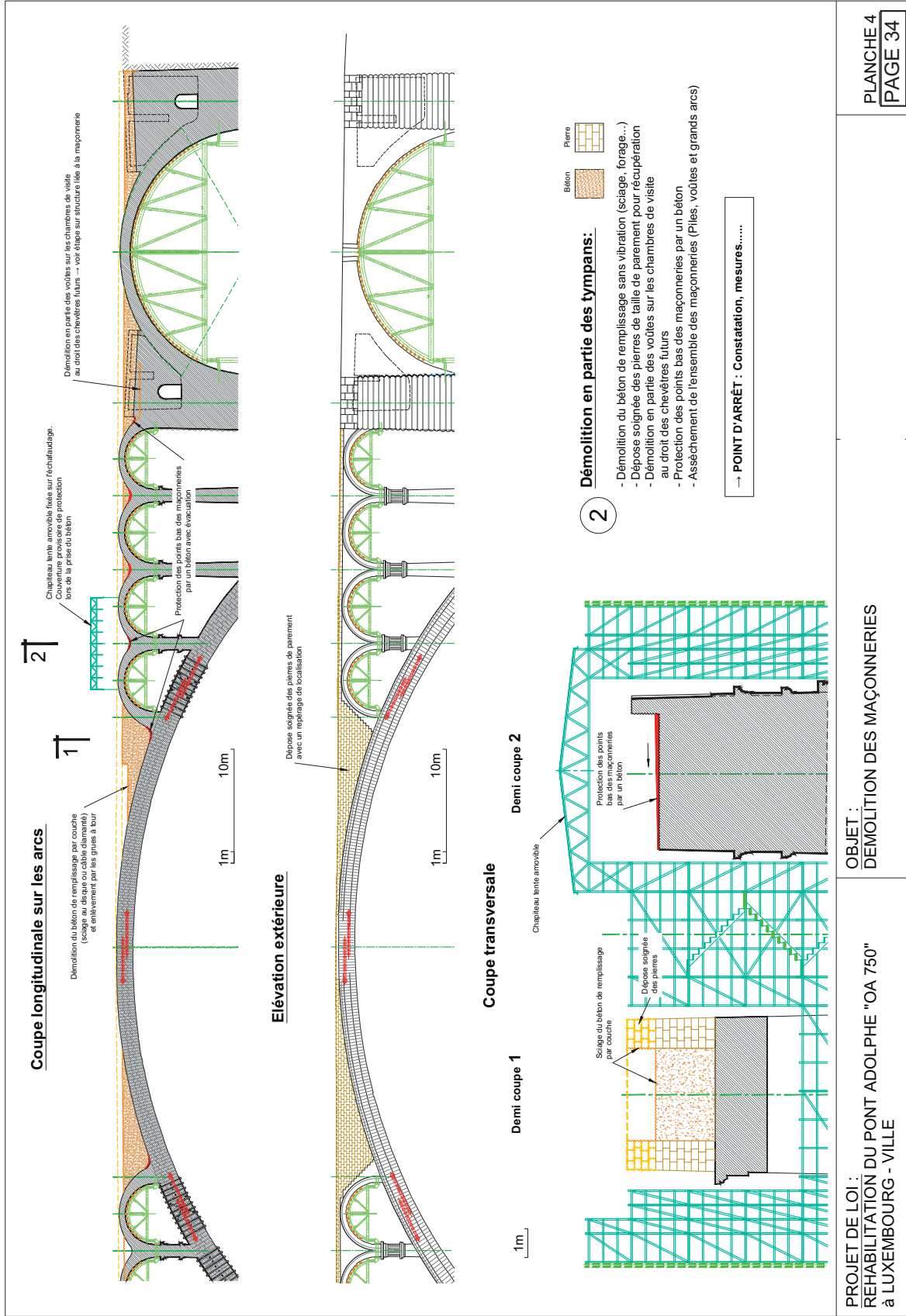
PLANCHE 1
PAGE 31

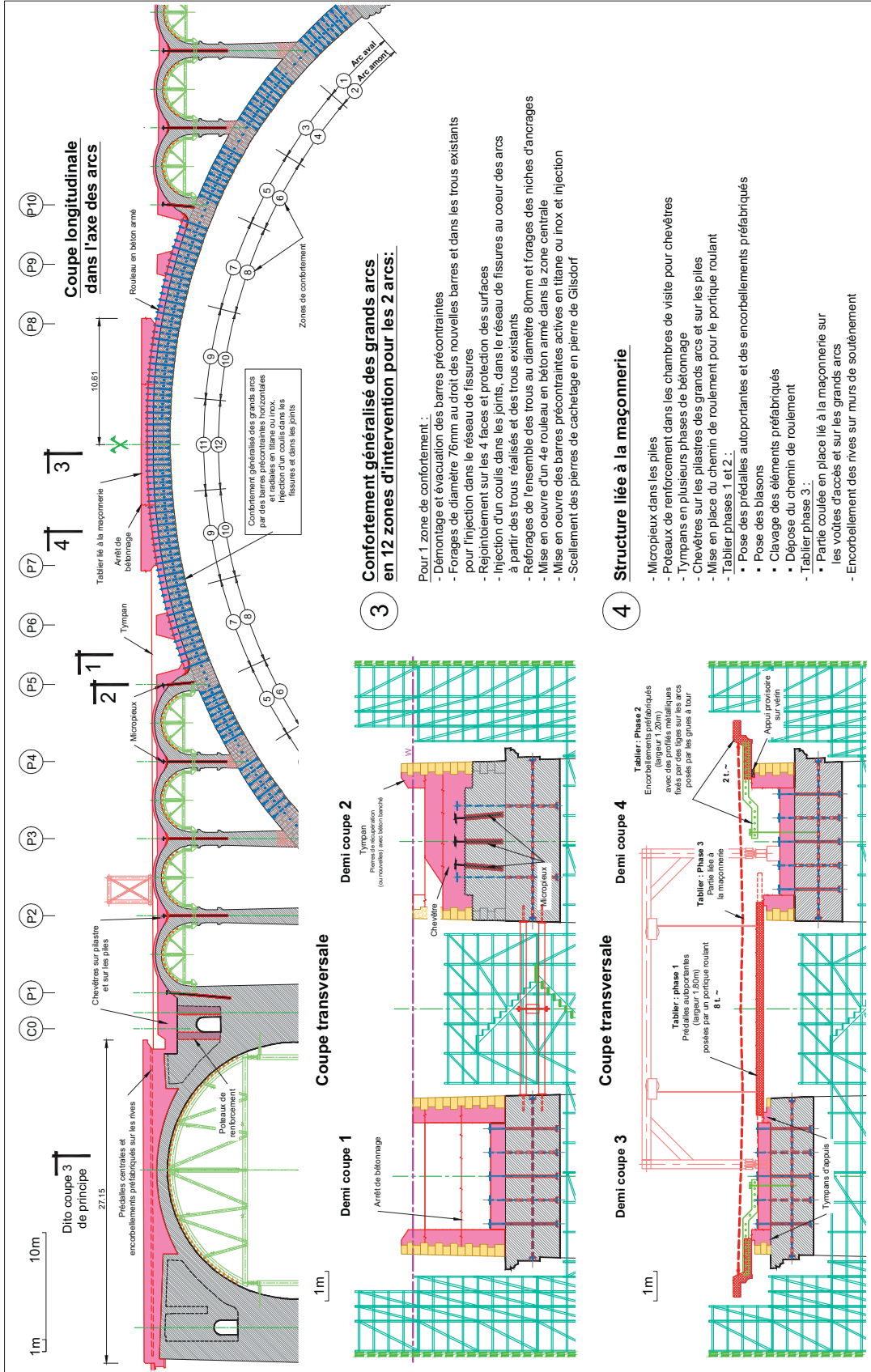


PROJET DE LOI :
REHABILITATION DU PONT ADOLPHE "OA 750"
à LUXEMBOURG - VILLE

OBJET :
DEMOLITION DU TABLIER

PLANCHE 3
PAGE 33

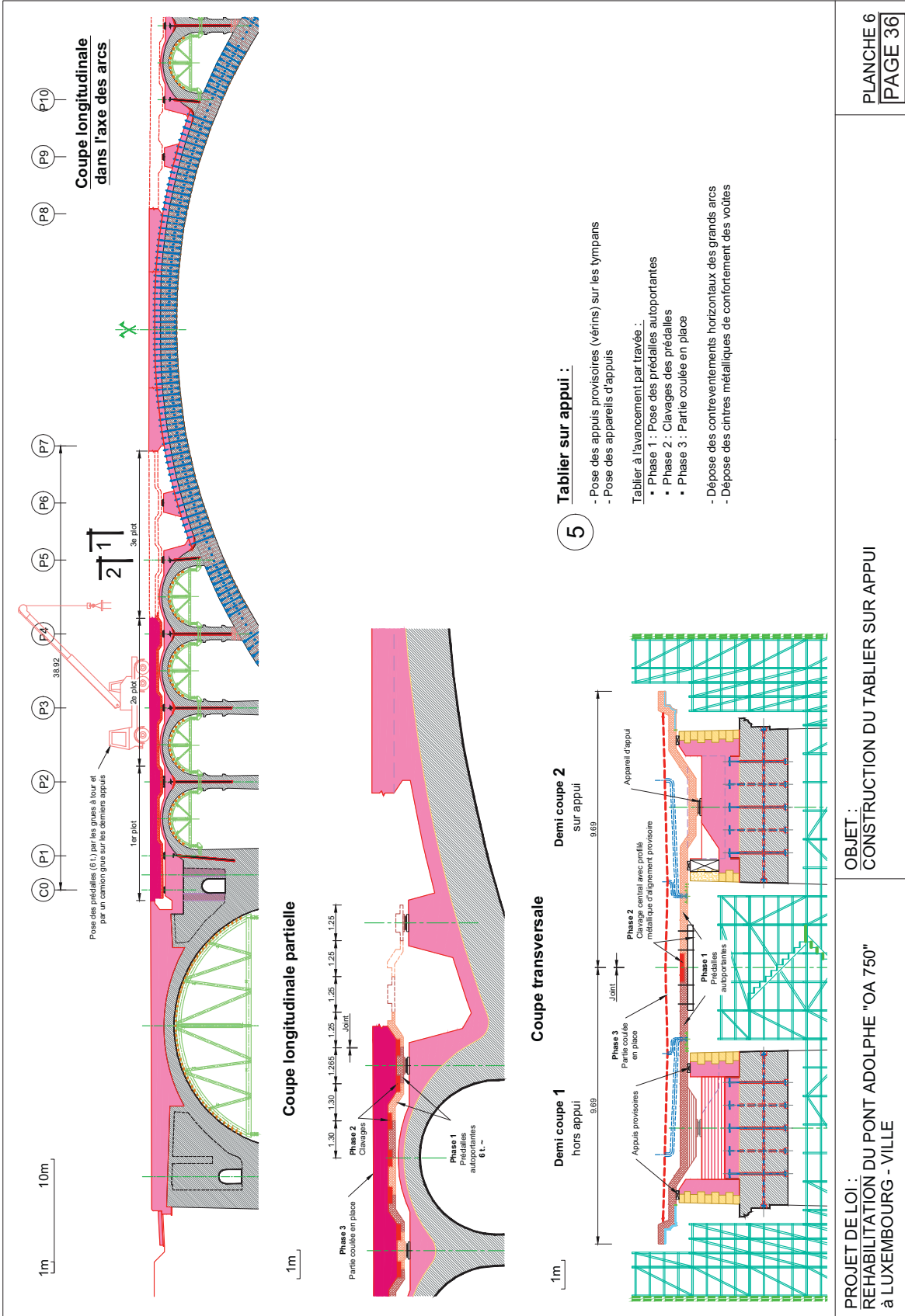


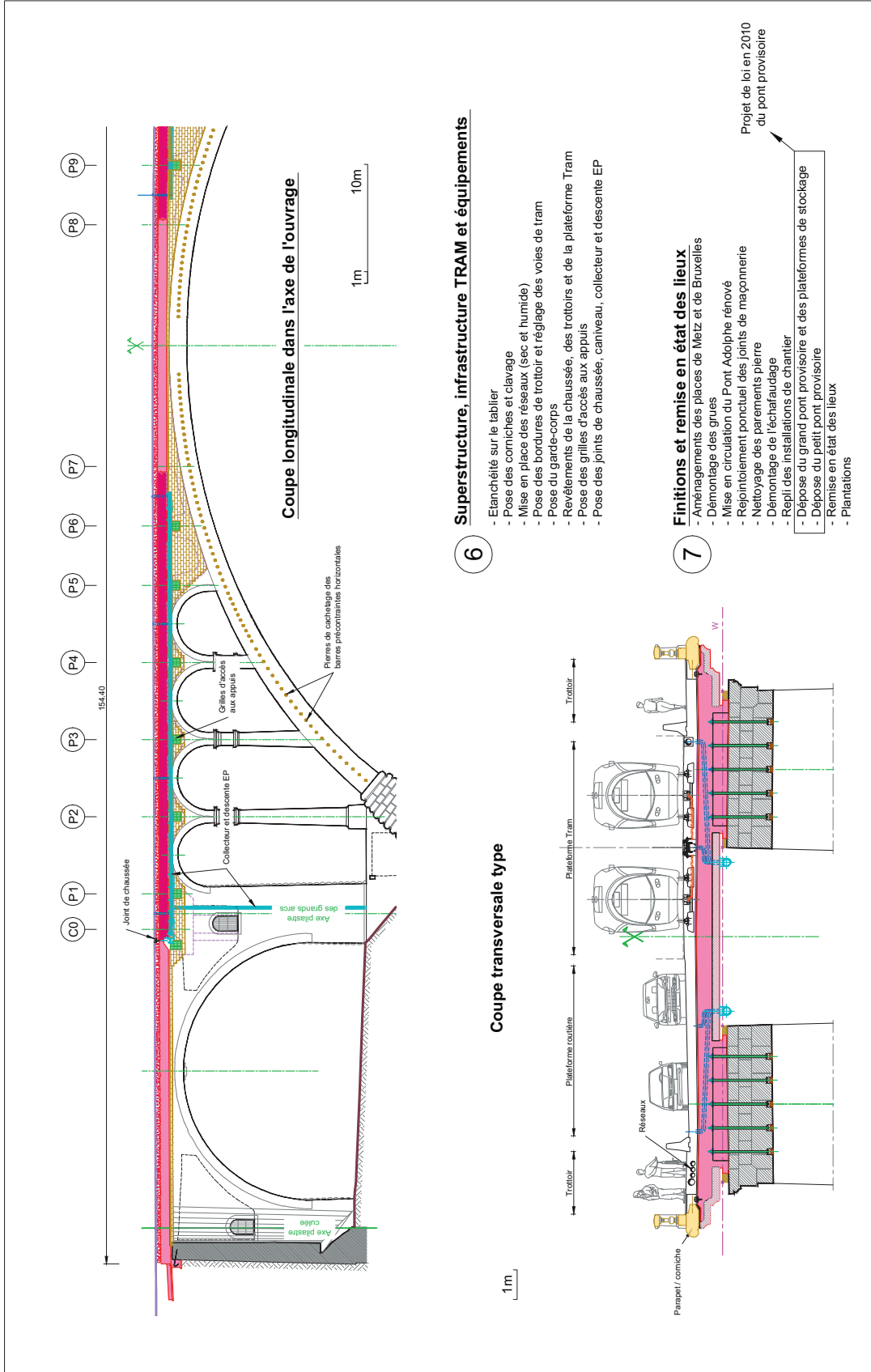


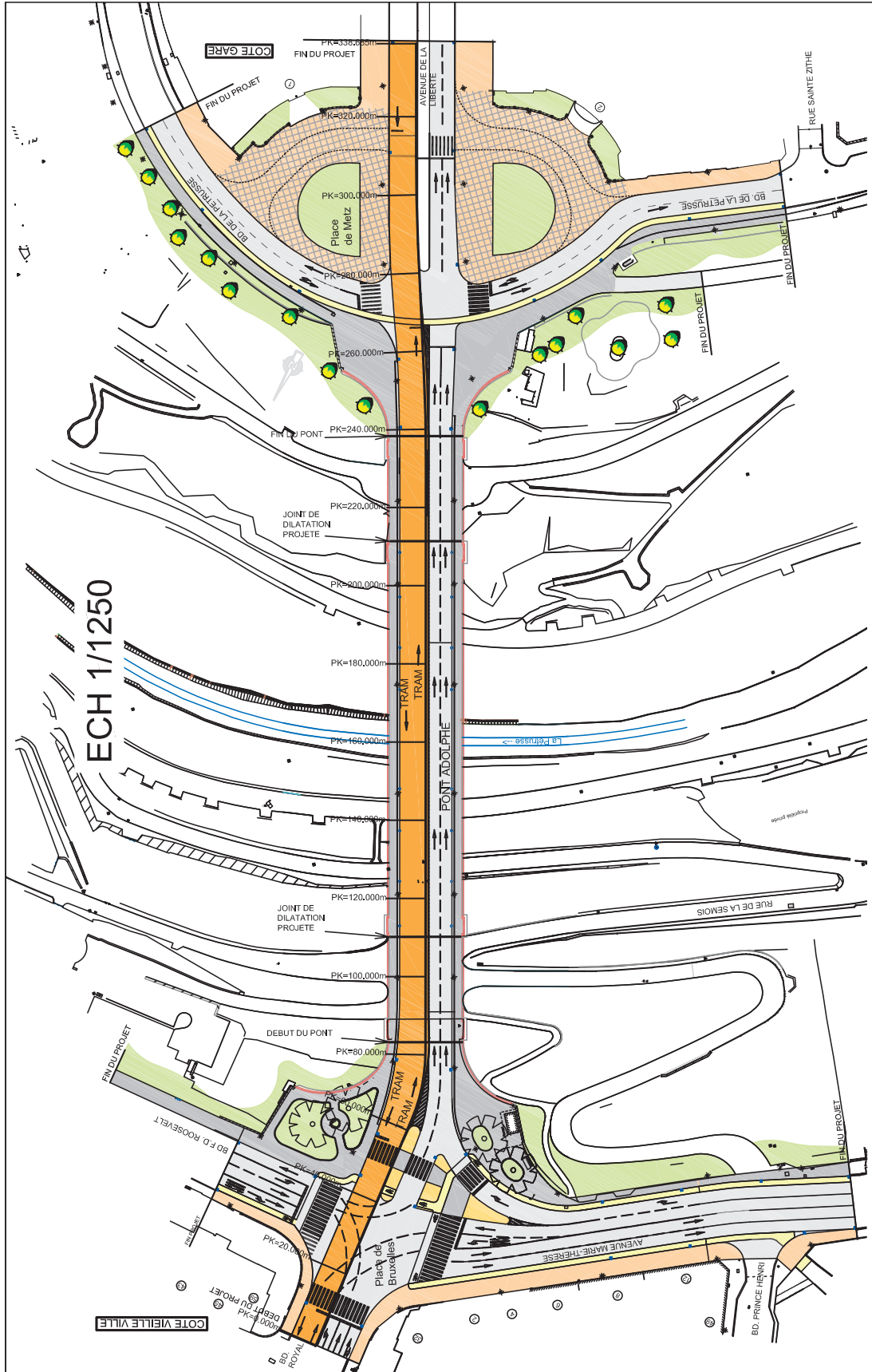
PROJET DE LOI :
REHABILITATION DU PONT ADOLPHE "OA 750"
à LUXEMBOURG - VILLE

OBJET :
CONFORTEMENT DES GRANDS ARCS,
CONSTRUCTION DES TYMPANS ET DU TABLIER

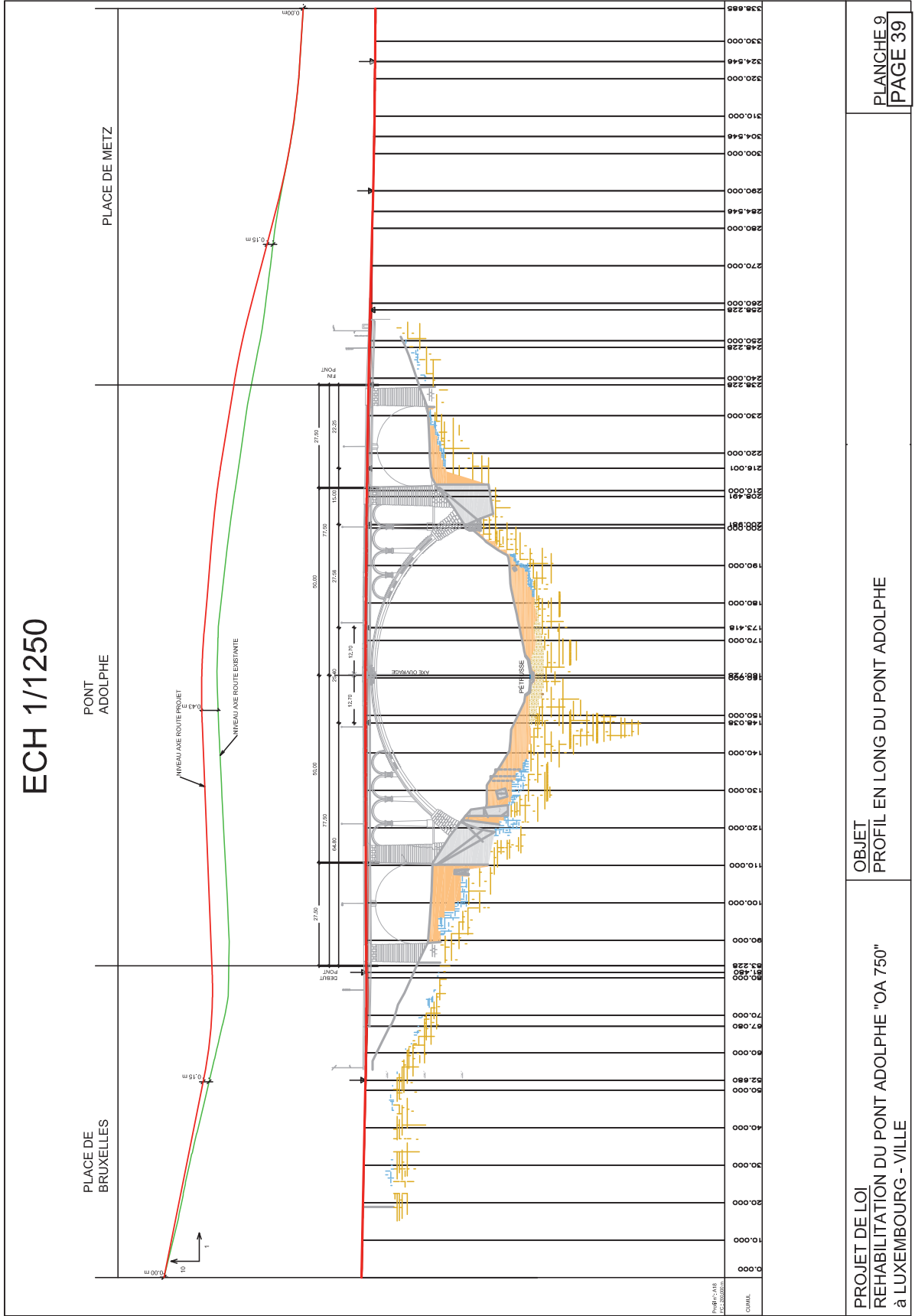
PLANCHE 5
PAGE 35

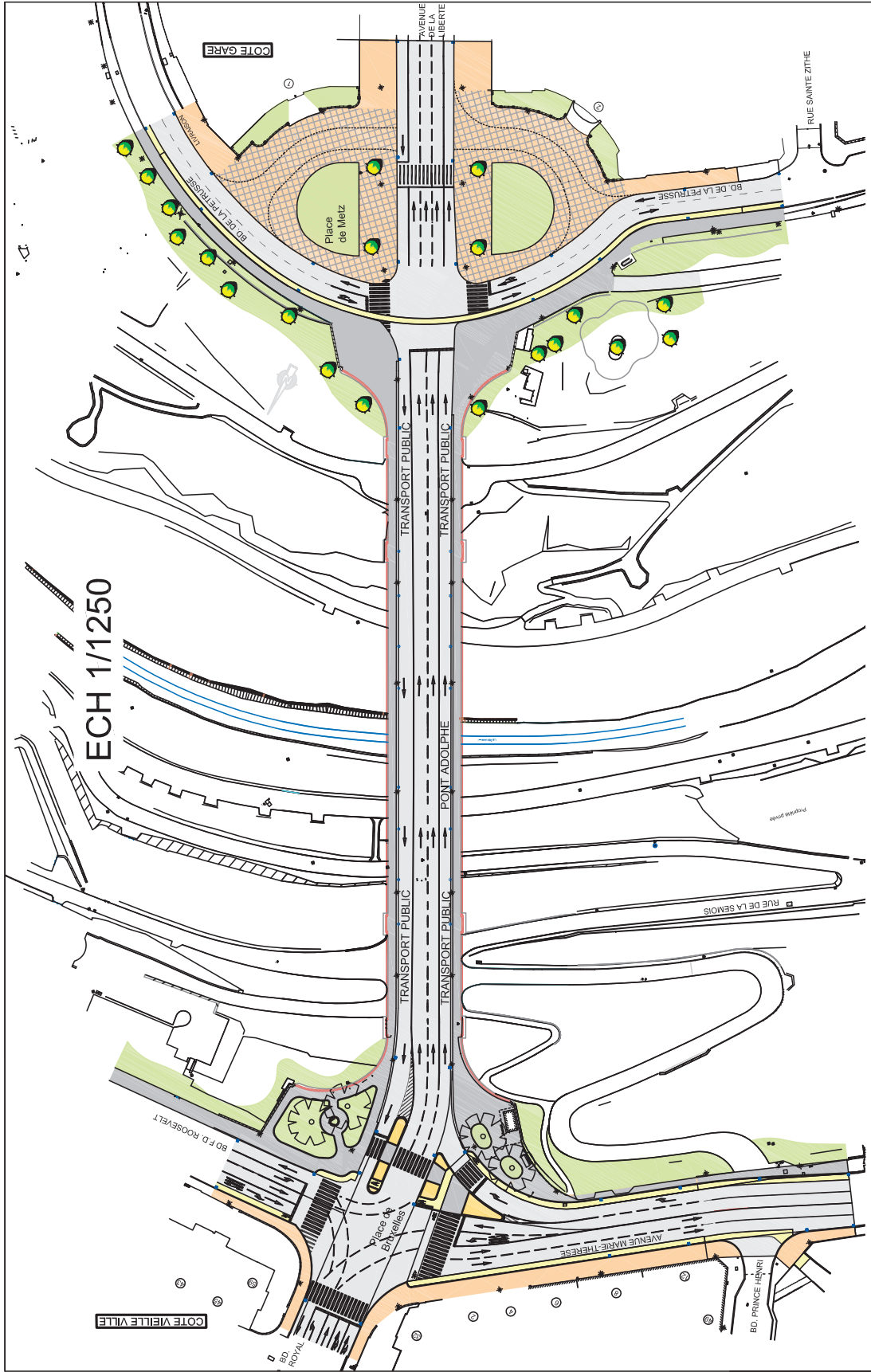






<p>OBJET SITUATION FUTURE AVEC TRAM</p>	<p>PROJET DE LOI REHABILITATION DU PONT ADOLPHE "OA 750" à LUXEMBOURG - VILLE</p>
---	---





PROJET DE LOI
REHABILITATION DU PONT ADOLPHE "OA 750"
à LUXEMBOURG - VILLE

OBJET
SITUATION FUTURE SANS TRAM

PLANCHE 10
PAGE 40

