

## N° 5968

## CHAMBRE DES DEPUTES

Session ordinaire 2008-2009

**PROJET DE LOI**

**autorisant la reconstruction du passage supérieur situé au point kilométrique 0,858 de la ligne de Luxembourg à Kleinbettingen et amendant la loi modifiée du 10 mai 1995 relative à la gestion de l'infrastructure ferroviaire**

\* \* \*

(Dépôt: le 4.12.2008)

**SOMMAIRE:**

	<i>page</i>
1) Arrêté Grand-Ducal de dépôt (26.11.2008) .....	1
2) Texte du projet de loi .....	2
3) Exposé des motifs .....	2
4) Commentaire des articles .....	13
5) Fiche financière .....	13

\*

**ARRETE GRAND-DUCAL DE DEPOT**

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

Sur le rapport de Notre Ministre des Transports et après délibération du Gouvernement en Conseil;

Arrêtons:

*Article unique.*— Notre Ministre des Transports est autorisé à déposer en Notre nom à la Chambre des Députés le projet de loi autorisant la reconstruction du passage supérieur situé au point kilométrique 0,858 de la ligne de Luxembourg à Kleinbettingen et amendant la loi modifiée du 10 mai 1995 relative à la gestion de l'infrastructure ferroviaire.

Palais de Luxembourg, le 26 novembre 2008

*Le Ministre des Transports,*  
Lucien LUX

HENRI

\*

## TEXTE DU PROJET DE LOI

**Article Unique.**– 1. Le deuxième et le troisième alinéa du paragraphe 3. de l'article 10 modifié de la loi du 10 mai 1995 relative à la gestion de l'infrastructure ferroviaire sont modifiés et complétés comme suit:

Le deuxième alinéa du paragraphe 3. est complété par le chiffre 24° nouveau, libellé comme suit:

24°	<b>Gare de Luxembourg. Reconstruction du passage supérieur situé au point kilométrique 0,858 de la ligne de Luxembourg à Kleinbettingen (Rue d'Alsace).</b>	19.250.000 €
-----	---	--------------

2. Le troisième alinéa du paragraphe 3. est remplacé par le texte suivant:

„Ces montants s'entendent hors taxe sur la valeur ajoutée (TVA). Les montants repris sous 1a°, 3°, 9°, 10°, 11°, 12° et 14° correspondent à la valeur 524,53 de l'indice semestriel des prix de la construction au 1er avril 2000. Ceux repris sous 1b°, 2°, 4°, 5°, 6°, 7°, 8°, 15°, 16°, 17°, 18°, 19° et 20° correspondent à la valeur 554,26 de cet indice au 1er octobre 2001. Le montant repris sous 21° correspond à la valeur 563,36 de cet indice au 1er avril 2002. Les montants repris sous 22° et 23° correspondent à la valeur 569,61 de cet indice au 1er octobre 2002. Le montant repris sous 24° correspond à la valeur 666,12 de cet indice au 1er avril 2008. 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.“

\*

## EXPOSE DES MOTIFS

### 1. PRESENTATION GENERALE DU PROJET

Le projet en question concerne un site ferroviaire et urbain très dense à proximité de la gare de Luxembourg. L'ouvrage à remplacer, sur la rue d'Alsace, est un pont métallique de type WARREN à quatre travées qui franchit un grand nombre de voies ferrées. Sa portée est de 119 m.

A son extrémité sud, l'ouvrage donne sur un lotissement du quartier Gasperich. Par ailleurs, les travaux devront respecter des contraintes sonores afin de minimiser les désagréments pour les riverains.

Côté nord, l'ouvrage est accessible par un remblai routier dont le tracé est peu modifiable du fait de l'implantation de nombreux bâtiments tout autour: la route se situe entre des bâtiments et les voies ferrées. Il peut cependant être remanié (élargissement et relevage).

\*

### 2. CONTRAINTES FONCTIONNELLES

#### 2.1. Caractéristiques de la chaussée

Les contraintes de l'ouvrage sur la rue d'Alsace sont définies par le Maître d'Ouvrage, les Chemins de Fer Luxembourgeois (CFL), et les services de la Ville de Luxembourg.

Ceux-ci ont fixé les dispositions suivantes:

##### 2.1.1. Vitesse de référence

La vitesse est limitée à 50 km/h sur l'ouvrage.

La vitesse de référence prise en compte est  $V_{ref} = 60$  km/h.

##### 2.1.2. Largeur utile sur l'ouvrage et hors ouvrage

La voie routière présente les caractéristiques suivantes:

– largeur de la chaussée 2 x 3,25 m

- largeur des pistes cyclables 2 x 1,50 m
- largeur des trottoirs 2 x 2,00 m
- pente transversale de la chaussée (profil en toit) 2,5%
- pente longitudinale de la chaussée variable

Soit une largeur de tablier minimale de 13,50 m.

Compte tenu de la largeur utile, l'ouvrage total présentera une largeur hors tout, d'environ 18 m.

La largeur de l'ouvrage neuf étant supérieure à celle de l'existant (augmentation d'environ 6 m), les voiries seront remaniées aux extrémités afin de conserver le tracé des circulations sur l'ouvrage (trottoirs et pistes cyclables). Ceci implique entre autres un élargissement de l'ensemble du remblai d'accès côté gare sur toute sa longueur, soit une centaine de mètres. Du côté du lotissement un élargissement de la voie est à prévoir au moins jusqu'au carrefour d'accès situé à une trentaine de mètres.

### **2.1.3. Profil en long et déclivité**

Le gabarit minimal (hauteur libre) retenu est de 6,50 m, contre 4,94 m actuellement. L'ouvrage existant est horizontal (cote 289,54 à ses deux extrémités). Pour dégager le nouveau gabarit ferroviaire, l'intrados de l'ouvrage devra être rehaussé.

Les différentes solutions techniques envisageables pour répondre à cette contrainte ont été combinées: élévations des appuis (jusqu'à 1,00 m côté remblai et environ 0,30 m côté lotissement) et mise à profit d'une courbure de l'intrados de l'ouvrage. Cette solution permet de concilier les avantages des deux principes en optimisant les remblais d'accès, et en minimisant les contraintes de chacune des solutions (courbure limitée et minimisation des remblais à remanier).

Cette solution permet d'obtenir une déclivité d'au moins 0,6%.

### **2.1.4. Tracé en plan**

Lors de l'étude d'APS (avant-projet sommaire), le tracé en plan n'était pas modifié par rapport à l'existant: l'ouvrage nouveau était réalisé à l'emplacement de l'ouvrage actuel. Cependant, dans le cadre des projets futurs d'urbanisation, le tracé a été légèrement modifié depuis l'étude précédente. L'ouvrage sera implanté en léger décalage vers l'ouest (une cinquantaine de centimètres) et subira une légère rotation dans le sens antihoraire.

Ce nouveau tracé résulte du tracé de la future rue d'Alsace en alignement avec un nouvel axe routier à réaliser et le carrefour actuel à l'extrémité sud de l'ouvrage.

La nouvelle implantation est conforme au plan 080521\_Masterplan\_Strasse\_Wurth.dwg, fourni en date du 21 mai 2008.

## **2.2. Evolution du tracé en plan et conséquences**

Par rapport à l'APS rendu en septembre 2007, l'aménagement futur des voiries autour de l'ouvrage a été modifié. En conséquence, l'alignement de la rue d'Alsace, et donc l'implantation de l'ouvrage ont sensiblement varié par rapport au projet initial.

Malgré qu'elles restent relativement mineures (légère rotation de l'ouvrage sur l'appui sud pour un décalage de quelques mètres de l'appui nord), ces modifications entraînent des conséquences assez lourdes en termes de conception, de phasage et de coûts.

Au niveau de l'appui sud (culée C0), la légère rotation de l'ouvrage est sans conséquence: la méthodologie retenue pour la réalisation des fondations, ainsi que la disposition des appuis futurs de part et d'autre de la culée actuelle sont inchangées. On viendra construire la culée future de part et d'autre de l'actuelle, et on se fondera sur des pieux afin de ne pas solliciter la culée actuelle avec le nouvel ouvrage.

Cependant pour l'appui nord (culée C1), le décalage de l'appui fait coïncider la culée existante et l'une des fondations de l'ouvrage futur. Ceci impose la destruction de l'ancienne culée pour réaliser les pieux. Cette démolition s'accompagnera d'un dispositif de soutènement pour maintenir l'accès sur la déviation routière. Enfin, la réalisation de cet appui, compte tenu des contraintes de site, ainsi que

de la configuration de l'existant ont nécessité une adaptation complexe du phasage, notamment pour limiter les coupures des circulations routières.

De plus, la nouvelle position de l'ouvrage, décalée par rapport à l'ouvrage existant ne permet plus d'utiliser aussi facilement les appuis existants au milieu de la brèche ferroviaire comme appuis provisoires de montage pour le bow-string. Ces appuis devront être prolongés vers l'ouest pour des longueurs variables de 5 à 10 mètres environ, tout en tenant compte des contraintes ferroviaires: difficultés d'intervention, gabarit à respecter, etc. Cette nouvelle tâche complique d'autant la réalisation de l'ouvrage, et nécessite elle aussi un phasage précis pour être menée à bien. Cependant, elle pourra être envisagée dès le début de l'opération afin d'offrir une plus grande souplesse dans l'obtention de coupures ferroviaires.

Enfin, le décalage de l'ouvrage vers l'ouest impose une conception particulière de la rampe d'accès à l'ouvrage futur. Compte tenu des contraintes géométriques, notamment la présence des bâtiments dans le prolongement de l'ouvrage, la rampe devra être bordée par un mur de soutènement vertical, et non un seul talus. Cette solution complique notablement le phasage de l'ouvrage, et apporte un surcoût important.

La modification de l'implantation, qui pouvait sembler mineure au premier abord, apporte une complexité importante dans la conception et le phasage de réalisation de l'ouvrage. Cette complexité est renforcée par le fait que l'on travaille dans un site exploité, non seulement ferroviaire mais aussi routier. Cette double contrainte, ajoutée à l'étroitesse de la zone implique une précision et une rigueur très importante dans la conception et le phasage de l'ouvrage.

## **2.3. Equipements de l'ouvrage**

### ***2.3.1. Etanchéité et corps de chaussée***

La couverture de la chaussée sera constituée d'une couche de roulement d'une épaisseur de 5 à 6 cm en béton bitumineux ou asphalte gravillonné protégeant une couche d'étanchéité d'une épaisseur de 3 cm, pour obtenir une épaisseur de chaussée de 8 à 9 cm.

Les travaux d'étanchéité comprennent la fourniture, le transport et la pose d'un complexe d'étanchéité. Ils sont à prévoir avant réalisation des revêtements de surface (chaussée, trottoirs). Le choix du système d'étanchéité devra être compatible avec les conditions climatiques du site: précipitations fréquentes, gel et sels de déverglaçage, etc. Un soin particulier devra être apporté à la continuité de l'étanchéité sur toute la surface du tablier et au raccordement avec les dispositifs d'évacuation.

Les trottoirs présenteront une épaisseur de 25 cm minimum en rive afin de faire office de dispositif chasse-roues.

### ***2.3.2. Drainage***

Le drainage de l'eau sur la chaussée doit répondre à des critères d'efficacité, d'esthétisme et de sécurité. L'eau sur la chaussée et les trottoirs sera évacuée par écoulement naturel (pente de 2,5% dans le sens transversal de l'ouvrage). Un dispositif de caniveau sera mis en place à l'extrémité de la surface de roulement afin d'évacuer l'eau de l'ouvrage.

Les eaux de ruissellement seront ensuite acheminées vers les extrémités d'ouvrage par gravité du fait de la pente naturelle due à la dénivellation entre les appuis et à la courbure du tablier: on vérifie la pente minimale de 0,5% nécessaire à un écoulement satisfaisant des eaux pluviales.

Des avaloirs seront mis en place (corniches et caniveaux) afin de compléter le dispositif. Les descentes d'eau le long des culées seront reliées au réseau des eaux pluviales de la Ville de Luxembourg. Un drain en amont des joints de dilatation sera mis en place pour recueillir les eaux infiltrées à travers le revêtement.

### ***2.3.3. Joints de dilatation***

Des joints de dilatation seront mis en place aux deux extrémités, au niveau de la dalle de transition entre l'ouvrage et la voirie. Ils assureront la continuité de la surface de roulement entre l'ouvrage et la chaussée.

#### **2.3.4. Dispositif de retenue**

Le dispositif est choisi en fonction des prescriptions du SETRA (dispositifs de retenue en bord libre d'un pont) pour éviter le risque de chute d'un véhicule sur la voie. Une barrière de niveau H2, barrière métallique de type BN4, sera envisagée. Ce haut niveau de sécurité est dimensionné pour la retenue des poids lourds dans un environnement sensible: brèche ferroviaire en contrebas.

Des grillages de protection seront mis en place le long des garde-corps pour éviter leur franchissement par les piétons (utilisation des lisses comme échelle).

#### **2.3.5. Installations de maintenance**

Des installations de maintenance pourront être intégrées à l'ouvrage pour l'inspection des structures porteuses. Elles seront détaillées en fonction des contraintes propres à la structure.

Dans les autres parties, l'accessibilité de l'ouvrage est suffisamment aisée pour permettre des inspections au moyen de dispositifs extérieurs.

#### **2.3.6. Réservations pour réseaux**

En plus du passage des réseaux existants, des réserves supplémentaires seront prévues sur l'ouvrage neuf. Elles seront mises en place le cas échéant le long du tablier suivant un cahier des charges spécifié par les besoins des CFL et/ou de la Ville de Luxembourg.

#### **2.3.7. Auvents de protection**

Des auvents de protection verticaux, hauteur 1,80 m seront mis en place afin de protéger le public contre des risques inhérents au courant de traction. Ces équipements seront pleins en partie inférieure (sur 1,0 m) et grillagés en partie supérieure. Ils seront disposés sur la totalité de la longueur de l'ouvrage.

#### **2.3.8. Eclairage du site**

Deux types d'éclairage seront mis en place:

- un éclairage fonctionnel de la voie routière,
- un éclairage spécifique afin de mettre en valeur la structure de l'ouvrage.

\*

### **3. CONTRAINTES NATURELLES**

#### **3.1. Géologie et géotechnique**

Les éléments nécessaires au dimensionnement des fondations de l'ouvrage ont été apportés par la campagne géotechnique réalisée sur site en novembre 2007 par la société EURASOL. Ses conclusions sont exposées dans le rapport géotechnique No RH/KC/cs 18407 RC en date du 10 décembre 2007.

Les conclusions de ce rapport corroborent les éléments pris en compte à l'APS et issus des études de sol suivantes:

- fondations de potences et portiques pour signaux, avril 1992, qui comporte trois sondages effectués à une cinquantaine de mètres des ouvrages, deux de part et d'autre de la rue d'Alsace, et un troisième près de la rue Muehlenweg,
- reconstruction du saut de mouton, février 2006, campagne de reconnaissance effectuée sur un ouvrage situé à 200 m environ des ouvrages concernés.

##### **3.1.1. Géomorphologie du site**

Des sondages ont mis en évidence la succession des couches suivantes, de haut en bas depuis la surface actuelle située entre les côtes 282,00 et 283,00 environ, qui correspond au niveau des voies ferrées:

- une couverture de remblais constituée principalement de scories dans une matrice limoneuse d'une épaisseur moyenne de 1,86 m, avec une assise moyenne à 281,29;
- une couche de limon et d'argile, dépôt local de sédiments, d'une épaisseur moyenne de 2,20 m;
- une couche de substratum constituée de marnes légèrement gypsifères, brunes en partie supérieure. En profondeur, elles sont feuilletées en continu et indurées (marnes calcaires). C'est dans ce substratum compact (présent à la cote moyenne de 275,00) que s'ancreront les fondations profondes.

Entre les voies ferrées et les routes situées 6 à 8 m au-dessus, on trouve un remblai de qualité bien moindre, comme en témoignent les glissements observés le long de la rue de la Déportation, rue parallèle aux voies et reliant la rue d'Alsace à la rue Muehlenweg.

Sur cette rue, on observe une fissuration de la route qui suggère un début de glissement des couches supérieures vers les voies ferrées en contrebas.

Les culées de l'ouvrage rue d'Alsace seront implantées sur des fondations profondes constituées de pieux largement ancrés dans le substratum. Le massif de fondation sera réalisé en béton armé, et outre sa fonction d'appui de l'ouvrage, il devra aussi servir de soutènement pour les remblais d'accès à l'ouvrage. Des semelles de répartition connectant les pieux seront réalisées à un mètre sous le terrain naturel après recépage des pieux. Elles seront coulées à sec sur un béton de propreté.

Lors des travaux de réalisation de ces culées, il faudra prévoir un ouvrage de soutènement afin d'éviter les mouvements de terrain. Une solution de talutage n'est pas satisfaisante compte tenu du recul nécessaire (talutage à 30° pour un sol de qualité médiocre) et de la sensibilité des couches de surface aux intempéries (risques de rupture).

Enfin, compte tenu des informations indiquées dans les plans d'archives relatifs à l'ouvrage actuel, il semblerait qu'il soit fondé sur des semelles de fondations superficielles, sans pieux bois. C'est cette hypothèse qui sera retenue. Cette disposition limite les conséquences liées à la réalisation d'une fondation profonde au droit de la culée.

### 3.2. Hydrogéologie

Dans le cadre de la campagne de sondages, des relevés de niveau d'eau par piézomètre ont été effectués et ont permis de déterminer une nappe à variable en moyenne entre les côtes 281,13 et 281,81, soit 1,5 m à 2,0 m sous le terrain naturel, ce qui correspond à la limite supérieure pour la réalisation de nos semelles de fondations sans batardeaux.

Le niveau d'eau dans la nappe est fortement influencé par la pluviométrie.

### 3.3. Séismes

D'un point de vue sismique, aucune disposition particulière n'est à prendre en compte.

\*

## 4. CONTRAINTES INDUITES PAR L'ENVIRONNEMENT ET L'OUVRAGE

### 4.1. Voies et réseaux à rétablir sous l'ouvrage

#### 4.1.1. Voies ferrées

Les voies ferrées seront maintenues en service pendant toute la durée des travaux de construction. La vitesse des trains dans cette zone est limitée à 60 km/h.

Sur les voies principales, des barrages de la circulation ne seront envisageables que sur de courtes périodes pendant le week-end. Elles devront être programmées l'année précédant l'interception. Sur les autres voies, les conditions de barrages sont moins contraignantes.

#### 4.1.2. Réseaux

On notera:

- la présence de caniveaux à câbles S et T en service sous les ouvrages (passage le long des voies). Ces dispositifs ne sont pas affectés par la construction de l'ouvrage;

- l'absence d'installations électriques propres aux CFL au droit des ouvrages;
- la présence de câbles enterrés près des fondations du pont rue d'Alsace, côté nord;
- la présence de réseaux près des culées du pont rue d'Alsace, de chaque côté.

Ces réseaux seront pris en compte dans la construction de l'ouvrage. En particulier il pourra être envisagé de les déplacer pour permettre la réalisation des culées et des massifs de fondations. Ces réseaux pourront transiter par les nouveaux ouvrages, sous réserve de prendre les dispositions nécessaires.

#### **4.2. Proximité zones d'habitation**

Les riverains, et en particulier les habitants du lotissement proche de la rue d'Alsace seront exposés au bruit des circulations routières. Il n'y aura pas d'augmentation du niveau sonore, mais le remplacement des ouvrages sera mis à profit pour mettre en place des dispositifs visant à les réduire. Une étude plus approfondie permettra de définir exactement le besoin éventuel de la mise en place d'écrans sur l'ouvrage.

#### **4.3. Réseaux à maintenir en exploitation pendant les travaux**

Un audit des réseaux présents est en cours afin de définir pour chacun leur importance et de déterminer les réseaux à maintenir obligatoirement pendant les travaux, et leurs possibilités de déviation.

#### **4.4. Voies de circulations routières**

Il s'agit d'une voie de circulation relativement importante puisqu'on dénombre environ 2.000 véhicules par jour.

Le cahier des charges impose une voie d'accès maintenue pendant toute la durée des travaux. Des déviations du trafic seront possibles sur de courtes périodes à titre exceptionnel.

#### **4.5. Contraintes de travail à proximité des voies ferrées**

L'ouvrage est réalisé dans une zone ferroviaire électrifiée en exploitation. La sécurité des personnels séjournant dans le site constitue une priorité.

#### **4.6. Interception des voies ferrées**

Le barrage des voies (interception) sera possible avec une programmation déterminée l'année précédant l'intervention.

L'ouvrage franchit 3 voies principales dont les coupures seront contraignantes. Toutefois, le barrage des voies sera possible le week-end ou de nuit, avec programmation des coupures l'année précédant l'intervention.

\*

### **5. CONSEQUENCES DE CES CONTRAINTES SUR LA CONCEPTION DE L'OUVRAGE**

#### **5.1. Choix des méthodes de construction**

Le cahier des charges impose qu'une voie de circulation routière soit maintenue pendant toute la durée des travaux. Cette contrainte nécessite la réalisation d'un pont provisoire lors de la construction.

Cette solution est difficile à mettre en place, car les accès de l'ouvrage existant sont étroits, ce qui entraîne les contraintes suivantes:

- un ouvrage provisoire nécessitera un remaniement important du remblai d'accès côté nord ainsi qu'une modification de la circulation au niveau du carrefour desservant l'ouvrage côté sud;

- par ailleurs cette solution, outre un surcoût élevé, entraînera un délai supplémentaire notable dans la réalisation des travaux: les travaux sur l’ouvrage neuf ne pourront débuter qu’après réalisation et mise en service de l’ouvrage provisoire;
- enfin la position de l’ouvrage provisoire, imposée par l’implantation du futur ouvrage et des bâtiments existants, conduit à le placer à l’est de l’ouvrage actuel (côté Muehlenweg). Cette disposition complique la réalisation des accès à l’ouvrage provisoire.

Par contre l’avantage de cette solution est qu’elle permet d’utiliser partiellement les piles de l’ouvrage existant comme palées provisoires pour la mise en place de la structure de l’ouvrage neuf. Elle réduit aussi notablement la durée de coupure de la route.

Une variante consiste à riper l’ouvrage existant sur appuis provisoires et s’en servir comme voie de circulation pendant les travaux. On fait ainsi l’économie d’un pont provisoire. C’est cette solution qui est retenue dans le cas de cette étude.

## **5.2. Synthèse des contraintes d’implantation des appuis**

L’ouvrage sera réalisé en une seule travée, conformément au souhait de la maîtrise d’ouvrage, afin d’éviter le positionnement d’appuis au milieu des voies ferrées. Ce choix permet d’éviter une délicate réalisation d’appuis intermédiaires dans cette zone très dense et de s’affranchir du risque de collision d’un train contre une pile.

Les piles de l’ouvrage existant pourront être utilisées comme palées provisoires pour les besoins de la construction, moyennant un prolongement vers l’ouest.

Les culées existantes seront remaniées à leur emplacement actuel pour reprendre les descentes de charges de l’ouvrage neuf, et élargies pour admettre la mise en place de l’ouvrage neuf. La culée nord devra être démolie afin de permettre l’implantation de l’appui futur qui se superpose à l’existant.

## **5.3. Choix des méthodes de démolition des ouvrages existants**

Les ouvrages existants sont situés à proximité immédiate des voies, leur démolition fera l’objet de soins particuliers.

### **5.3.1. Tabliers**

Les tabliers des ouvrages seront découpés sur place puis démontés à la grue par éléments de taille réduite. Ce mode opératoire permet d’effectuer un travail interférant au minimum avec les voies. La taille des éléments sera optimisée pour minimiser les durées de démontage.

La découpe pourra se faire à l’oxycoupage ou au cordeau détonnant (plus rapide).

Un diagnostic plomb sera effectué sur l’ancien tablier afin de traiter les déchets selon les normes environnementales en vigueur. En cas de présence éventuelle de ces composés modifiant la procédure de démontage, une expertise sera à faire par la Maîtrise d’Ouvrage. Cette donnée impacte aussi l’évacuation des déchets et les coûts de la démolition.

### **5.3.2. Culées**

La démolition des culées sera effectuée avec des outils classiques (BRH, marteau piqueur et évacuation des gravats à la pelle) à l’abri d’écrans de protection derrière les voies.

### **5.3.3. Piles intermédiaires de l’ouvrage**

Elles seront démolies sous barrage des voies. Des écrans de protection seront mis en place pour éviter les chutes de matériaux sur les voies. On procédera au sciage des palées et à l’enlèvement des morceaux à l’aide d’une grue jusqu’à atteindre le niveau du ballast.

## 6. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

L'ouvrage retenu est un pont-route de type bow-string métallique à travée unique de 119 m entre axes des lignes d'appui. L'ouvrage est droit (angle de 100 grades aux extrémités) et a une hauteur approximative de 20 m, qui donne au franchissement un impact visuel très important. Pour la facilité de ces réglages, la solution à „suspentes rayonnantes“ est retenue.

Le bow-string est un ouvrage autoéquilibré constitué d'un arc dont la poussée est reprise par un tirant qui travaille en tension. Sur cette structure porteuse est fixé un tablier à poutrelles enrobées (béton et acier) qui supporte les voies de circulation: chaussées, pistes cyclables et trottoirs. Les charges apportées par le tablier sont reportées sur l'arc par l'intermédiaire des éléments appelés „suspentes“ (câbles ou barres métalliques) qui restent continuellement tendues.

### 6.1. Prédimensionnement

Afin d'avoir un ordre d'idée des dimensions des pièces principales de l'ouvrage, un prédimensionnement, à l'aide d'une formule empirique, a été effectué pour déterminer les sections de bases des profilés, et ensuite pouvoir être utilisé dans le modèle de calcul.

Une certaine marge de manoeuvre doit être gardée afin de tenir compte de l'effet du vent et de la contrainte de fonctionnement avec une suspente en moins. En effet, dans ce genre d'ouvrage, le changement de suspente doit pouvoir s'effectuer sous circulation sans que la structure ne passe en comportement plastique.

### 6.2. Description des éléments de l'ouvrage

#### 6.2.1. Les arcs

Les arcs sont constitués d'un caisson comprimé et fléchi. Ils sont inclinés vers l'intérieur de l'ouvrage (angle de 10 grades) et sont reliés entre eux par trois contreventements horizontaux qui rigidifient l'ensemble de la structure. Les caissons ont une section en trapèze, hauteur de 2,00 m et largeurs de 1,48 m à 1,80 m en tôle de 50 mm et raidis par des diaphragmes régulièrement espacés. Cette géométrie permet de restituer la forme générale de l'ouvrage avec ses arcs inclinés, et augmente d'autant sa finesse. Les oreilles de fixation des suspentes, constituées d'un plat de forte épaisseur, traversent la semelle de l'arc. Des diaphragmes intérieurs, de forte épaisseur, transmettent aux arcs les efforts apportés par la suspente.

Les arcs sont encastés à leurs extrémités sur les tirants, constitués de deux poutres latérales métalliques P.R.S. (Profilés Reconstitués Soudés) en I. Le tablier vient s'ancrer sur la semelle inférieure horizontale de largeur 1,25 m et de 100 mm d'épaisseur. Les âmes des poutres (30 mm d'épaisseur) ainsi que la semelle supérieure sont inclinés de 10 grades afin de s'insérer dans le plan de l'arc et des suspentes. Au droit de ces dernières, l'âme des tirants traverse la semelle supérieure, pour constituer l'oreille de fixation des suspentes.

#### 6.2.2. Le butonage des arcs (contreventement)

Pour des questions de stabilité, les arcs sont le plus souvent reliés en partie centrale. Dans notre cas de pont à grande portée, ces derniers seront indispensables. Leur rôle principal sera de limiter le flambement des arcs et en assurer la stabilité latérale. De plus, du fait de l'inclinaison des arcs (géométrie particulière) un effort de compression conséquent sera à reprendre.

#### 6.2.3. La chaussée

Les deux voies de 3,25 m sont bordées par deux pistes cyclables de 1,50 m de largeur (qu'il est également possible de charger comme les chaussées). Les eaux de ruissellement sont évacuées sur la chaussée dans des caniveaux placés en rive. La dalle est revêtue d'une chape d'étanchéité de 3 cm d'épaisseur, elle-même recouverte d'une couche de roulement de 6 cm.

#### **6.2.4. Les trottoirs**

Extérieurement à la chaussée, le tablier porte un trottoir de 2 m de largeur de chaque côté de l'ouvrage. Ce dernier, composé d'une bordure de 25 cm de hauteur, possède une pente orientée coté chaussée de 3,3%.

Remarque: On note C0 la culée du côté lotissement Gasperich et C1 la culée du côté du remblai d'accès.

### **6.3. Hypothèses de calcul et règlements**

Les notes de calcul suivront les règlements européens (Eurocode).

ENV 1990	EC 0	Bases de calcul
ENV 1991	EC 1	Actions sur les structures
ENV 1992	EC 2	Calcul des structures en béton
ENV 1993	EC 3	Calcul des structures en acier
ENV 1994	EC 4	Calcul des structures mixtes acier-béton
ENV 1997	EC 7	Calcul des fondations: reprend très largement le fascicule 62 titre V (article 7.4.1)

### **6.4. Caractéristiques des matériaux**

#### **6.4.1. Acier**

Acier S355 N ou NL pour l'ensemble de l'ossature métallique: arcs, tirants, suspentes et poutrelles HEM 550.

La limite élastique à prendre en compte est donnée en fonction de l'épaisseur:

- dans le cas des tirants (ép.: 80 mm) limite à 325 MPa
- dans le cas des arcs (ép.: 50 mm) limite à 335 MPa
- dans le cas des suspentes (ép.: 180 mm) limite à 280 MPa

#### **6.4.2. Béton**

Pour des raisons de pérennité des ouvrages, les bétons recommandés pour ce type d'ouvrage sont au minimum de la classe C30/37.

Les pieux de fondations seront réalisés en béton de classe C25/30 minimum.

L'enrobage minimum sera de 4 cm pour l'ouvrage, et 7 cm pour les fondations.

#### **6.4.3. Armatures de béton armé**

On mettra en oeuvre des aciers haute adhérence (HA), de résistance Fe E 500.

### **6.5. Accessibilité et entretien**

Au choix de la maîtrise d'ouvrage, trois options sont possibles pour l'inspection de la hauteur des caissons. Les caissons peuvent être:

- étanches et non accessibles: on réserve cette solution aux très petits caissons de toutes façons inaccessibles (dimensions inférieures à 600 x 600);
- accessibles mais non visitables: obturation étanche amovible (portes boulonnées ou vissées);
- visitable de manière „confortable“: éclairage, ventilation, escaliers, rampes, diaphragmes avec trous d'hommes.

La protection anticorrosion extérieure doit être particulièrement soignée. La présence d'un tablier poutrelles enrobées empêche l'inspection d'une partie du tirant (face intérieure des profilés en I). Un système de protection de type C4NV sera mis en oeuvre.

Enfin, l'inspection du tablier en sous-face ainsi que l'inspection de l'arc (face extérieure) pourront être réalisées par une nacelle sur voie ferrée. De même la surface du tablier et l'arc (face intérieure) seront inspectés aisément par une nacelle routière. Ces solutions évitent la mise en place de dispositifs de maintenance spécifiques.

\*

## **7. METHODES DE CONSTRUCTION – PRINCIPE GENERAL**

La construction de l'ouvrage doit tenir compte des contraintes du lieu:

- les espaces disponibles sont assez restreints, ce qui empêche la possibilité de mise en place du tablier par lançage (absence de recul derrière les culées);
- la mise en place de palées provisoires est limitée du fait de l'encombrement de la brèche par des voies circulées qui grèvent la fixation de tels dispositifs au sol.

Par ailleurs, la contrainte de conservation des circulations routières impose une méthodologie particulière qui priorise la réalisation de l'ouvrage provisoire.

\*

## **8. COUTS PREVISIONNELS**

### **8.1. Décomposition en postes principaux**

L'estimation du coût des travaux est réalisée selon la méthodologie de décomposition par lignes de prix regroupées en familles. Un métré estimatif permet une décomposition au premier niveau des postes principaux pour chaque phase ou famille de travaux. Cette méthode affine notablement la précision par rapport à l'APS qui regroupe les familles de prix sans détails. Il s'agit là de la décomposition habituellement utilisée pour les phases APD.

### **8.2. Méthode de chiffrage**

Pour chiffrer les différents postes de travaux, une synthèse des données quantitatives relatives aux différentes parties d'ouvrages qui résultent des calculs justificatifs et prédimensionnements a été faite.

A ce stade d'étude, la répercussion dans le prix de certains impacts, qui se développeront dans des milieux naturels et humains particulièrement sensibles ont été intégrés sous la forme d'un poste „imprévu et arrondi“.

En outre, l'augmentation soutenue et régulière des coûts d'acier ne peut être anticipée que difficilement pour ce projet. Les prix sont donnés aux conditions de juin 2008. Une évolution linéaire limitée sur les deux prochaines années a été intégrée dans les prix.

Les prix sont établis aux conditions économiques de juin 2008.

### **8.3. Justification écarts coût APD/APS**

Les hausses constatées du coût de l'acier, de l'ordre de 10% (depuis l'APS en juin 2007), constituent un évènement majeur exceptionnel dont la portée mondiale n'a pas épargné les zones à faibles croissances comme l'Europe ou le Japon (prolongement de la conjoncture annoncée dans l'APS) et cette progression des prix semble durable à l'échelle de notre projet.

Le prix des matériaux de construction a subi une envolée rythmée par les hausses exceptionnelles du coût de l'acier. Ce dynamisme du marché de l'acier génère une augmentation sans précédent sur le prix de réalisation des ouvrages. Ainsi l'ensemble des coûts, et notamment les prix des bétons ont eux aussi été réévalués à la hausse.

Les frais d'installation de chantier et les frais généraux ont été estimés dans cette phase d'étude. Ce poste représente environ 10% du montant total de l'opération. Cependant, du fait de la modification d'implantation de l'ouvrage, les coûts ont été réévalués afin de tenir compte de la complexité supplémentaire apportée par ce fait nouveau.

Cette modification de l'implantation de l'ouvrage implique, de plus, un certain nombre de travaux supplémentaires, une complexité accrue de la pose de l'ouvrage neuf, une modification profonde de la réalisation de la fondation (culée C1), ainsi que des remaniements importants du remblai d'accès côté nord, et la démolition de la culée C1. Ces modifications ne sont pas sans conséquences sur l'évolution du prix.

Enfin, la modification de la rampe d'accès et la nécessité d'un mur de soutènement a été prise en compte dans le détail estimatif.

Le tableau ci-dessous analyse certains postes affectés par ce contexte économique particulier:

<i>Désignation</i>	<i>Phase APS (k€)</i>	<i>Phase APD (k€)</i>	<i>Ecart (k€)</i>	<i>Commentaires</i>
Frais d'installation de chantier F	910	1.080	170	Surcoût d'études lié à la complexité accrue du phasage pour l'accès nord
Tablier bow-string	6.429	9.162,56	2.733,56	Renchérissement du coût des matériaux: l'acier est passé de 2.700 € à 3.000 € la tonne et +33%, le béton augmente de 10% environ
Culées/Fondations	297	470,58	173,58	Renchérissement du à la démolition de la culée C1 et les suggestions particulières sur cet appui
Remblai d'accès + rampe	168	769,9	601,9	Renchérissement du à la modification de l'implantation qui nécessite une nouvelle conception de la rampe
Appuis provisoires + ripage	1.250	1.650	400	Rajout d'un soutènement pour la rampe d'accès

\*

## 9. CONCLUSIONS

Les méthodes de construction proposées pour la reconstruction du pont de la rue d'Alsace minimisent l'impact des installations dans l'environnement naturel et les interruptions de circulation ferroviaire.

La complexité apportée par la modification de l'implantation de l'ouvrage entre les phases APS et APD a renforcé d'autant la nécessité de finesse et de précision dans la conception de l'ouvrage et de son phasage. La réflexion poussée sur ces méthodes, menée lors des phases de conception, devra être poursuivie impérativement par l'entreprise en charge des travaux afin d'optimiser chacun des choix en fonction de ces méthodes et capacités spécifiques.

Cette rigueur dans la conception comme dans l'exécution sera pour le nouveau passage supérieur de la rue d'Alsace la garantie de son intégration dans le tissu urbain de la ville de Luxembourg.

\*

## COMMENTAIRE DES ARTICLES

Conformément à la pratique antérieure de regrouper dans un relevé d'ensemble tous les projets ferroviaires de grande envergure dont le coût de réalisation dépasse le seuil légal de 7,5 millions €, il est proposé de compléter le paragraphe 3. de l'article 10 modifié de la loi du 10 mai 1995 précitée par l'inscription du projet sous examen à cet endroit.

En vue de pouvoir mettre en compte les hausses légales, il y a en outre lieu de faire correspondre le montant de l'enveloppe financière précitée à la valeur du dernier indice semestriel connu des prix à la construction, soit la valeur de 666,12 de l'indice du 1er avril 2008.

Il convient d'inscrire cette précision au troisième alinéa du paragraphe 3. dudit article 10. L'évaluation financière du projet table sur un coût de 19,25 millions d'euros au niveau de l'indice des prix à la construction valable au 1er avril 2008 (indice 666,12).

\*

## FICHE FINANCIERE

Le présent projet relatif à la reconstruction d'un passage supérieur en Gare de Luxembourg est repris sous le No 14 dans la liste des projets d'investissement du Ministère des Transports ayant atteint le niveau APS et faisant l'objet du débat d'orientation du 19 décembre 2006 sur le financement des grands projets d'investissement réalisés par l'Etat.

Le projet concerne le passage supérieur permettant l'accès à la rue d'Alsace, reliant les lotissements du quartier de Gasperich et le quartier de la gare. L'ouvrage enjambe dans le secteur ouest de la Gare de Luxembourg les voies ferrées des lignes de Luxembourg à Kleinbettingen (au point kilométrique 0,858) et de Pétange à Luxembourg.

Il a été construit en 1903 dans le cadre de la suppression d'un ancien passage à niveau suite au raccordement de la ligne en provenance de Pétange à la Gare de Luxembourg et à l'extension de la zone marchandises en Gare de Luxembourg. De ce fait, et bien qu'il s'agisse d'un pont-route, l'ouvrage fait aujourd'hui encore partie de l'infrastructure ferroviaire. Il est constitué de culées et piliers en maçonnerie avec quatre tabliers métalliques d'une portée de 27,50 mètres pour les tabliers d'about et de 32 mètres pour les tabliers centraux.

Une expertise de l'ouvrage réalisée par un bureau de contrôle a confirmé l'état de vétusté avancé du pont et a amené les CFL à réduire la surcharge admissible. La surveillance annuelle réalisée par le bureau de contrôle fait apparaître une évolution rapide et alarmante des défauts. Un remplacement de l'ouvrage est impératif à très brève échéance.

Les études ont entre-temps atteint le niveau APD.

Ces études ont été élaborées de concert avec la Ville de Luxembourg qui s'est déclarée disposée à devenir propriétaire du nouvel ouvrage après achèvement des travaux.

Les études d'ingénieur mandatées par les CFL prévoient un nouveau pont-route de type bow-string métallique à travée unique de 119 m entre axes des lignes d'appui. L'ouvrage est droit et a une hauteur approximative de 20 m. Pour la facilité de ses réglages, la solution à „suspentes rayonnantes“ est retenue.

Par rapport à l'avant-projet sommaire (APS), l'aménagement futur des voiries autour de l'ouvrage a été modifié suite à la demande de la Ville de Luxembourg et ce afin d'intégrer l'ouvrage dans les futurs projets d'urbanisation de la ville. En conséquence, l'alignement de la rue d'Alsace, et donc l'implantation de l'ouvrage, ont sensiblement varié par rapport au projet initial. Les coûts ont été réévalués afin de tenir compte de la complexité supplémentaire apportée par ce fait nouveau.

La modification de l'implantation de l'ouvrage implique en outre un certain nombre de travaux supplémentaires, une complexité accrue de la pose de l'ouvrage neuf, une modification profonde de la réalisation des fondations ainsi que des remaniements importants du remblai d'accès côté nord et la nécessité d'un mur de soutènement qui ont tous été pris en compte dans les devis estimatifs d'APD.

En outre, les prix des matériaux de construction ont subi une envolée rythmée notamment par les hausses exceptionnelles du coût de l'acier. Ce dynamisme du marché de l'acier génère une augmentation sans précédent sur le prix de réalisation des ouvrages. Ainsi l'ensemble des coûts, et notamment les prix des bétons ont eux aussi été réévalués à la hausse. Cette progression des prix semble durable

à l'échelle de notre projet. Les prix sont donnés aux conditions de juin 2008. Une évolution linéaire limitée sur les deux prochaines années a été intégrée dans les prix.

Le coût APD du projet se subdivise comme suit (pour mémoire, le coût APS du projet se chiffrait à 16.300.000.- €):

<i>Corps de métiers</i>		<i>Montants hors TVA en €</i>
<b>I.</b>	<b>Voie</b>	
	a. prestations et matériel externe (entreprises privées)	0
	b. matières CFL	0
	c. prestations CFL	0
<b>Total Voie</b>		<b>0</b>
<b>II.</b>	<b>Signalisation et télécommunication</b>	
	a. prestations et matériel externe (entreprises privées)	25.000
	b. matières CFL	5.000
	c. prestations CFL	100.200
<b>Total Signalisation et télécommunication</b>		<b>130.200</b>
<b>III.</b>	<b>Caténaires</b>	
	a. prestations et matériel externe (entreprises privées)	435.000
	b. matières CFL	15.000
	c. prestations CFL	100.000
<b>Total Caténaires</b>		<b>550.000</b>
<b>IV.</b>	<b>Travaux de génie civil</b>	
	a. prestations et matériel externe (entreprises privées)	14.378.450
	b. matières CFL	0
	c. prestations CFL	1.129.800
<b>Total Travaux de génie civil</b>		<b>15.508.250</b>
<b>V.</b>	<b>Etudes et pour arrondir</b>	<b>3.061.550</b>
<b>VI.</b>	<b>Acquisitions terrains</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>19.250.000</b>

