

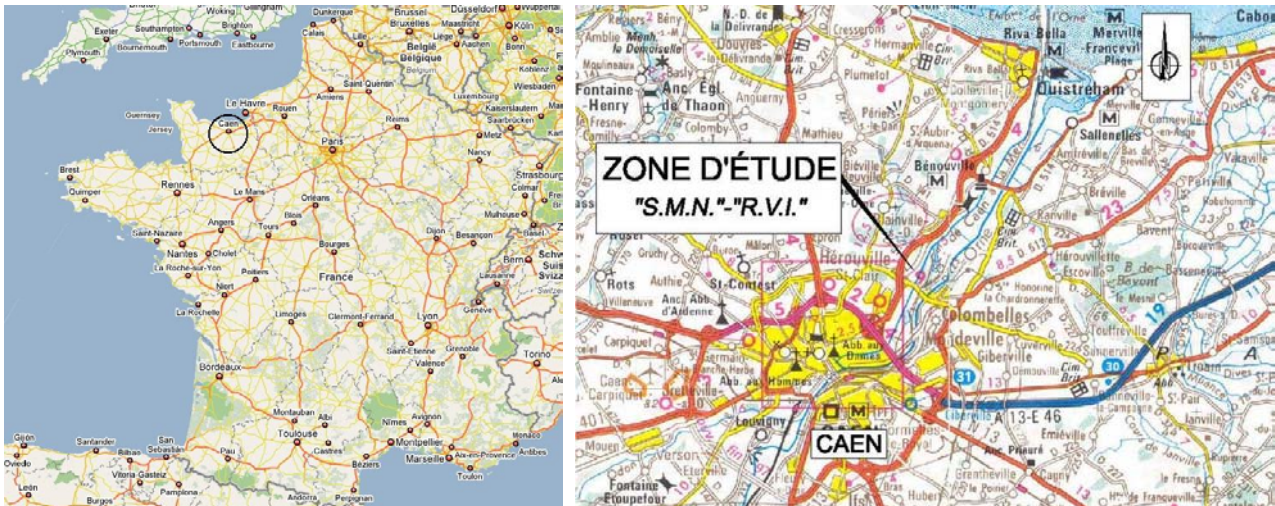
LE VIADUC EN ARC DE L'ORNE

Ejner THEILGAARD, Amandine CHAMBOSSE, Ze Yi WU
EGIS-JMI

1. PRÉSENTATION DU PROJET

Le projet de la Liaison Inter Quartiers Nord de l'agglomération Caennaise (LIQN) est aussi ambitieux que nécessaire. Il participe au soulagement du périphérique de Caen vis-à-vis des mouvements de desserte locale des communes qui se développent sur le plateau de la plaine de Caen.

La nouvelle voie qui relie au Nord la RD226a à la RD513 à l'Est franchit l'Orne qui a creusé son lit dans les calcaires du plateau.



Figures 1 et 2 : Repérage géographique

Si le site paraît aujourd'hui relativement naturel et arboré sur la rive droite de la rivière, son histoire est millénaire et mérite notre attention. Les archives historiques montrent que dès l'époque gauloise et gallo-romaine les mines de fer étaient exploitées dans le Calvados.

Si les aléas de l'histoire de la région ont vu disparaître les forges au XVIII^e siècle, les gisements existaient toujours. C'est seulement au début du XX^e siècle, et après de longs débats pendant la première guerre mondiale, que l'exploitation du minerai reprit sur les bords de l'Orne sur le territoire où la nouvelle voie se pose.

L'arrivée du chemin de fer, la création du port et l'élargissement du canal de Caen à la mer ont contribué à la création en 1916 de la Société Normande de Métallurgie (SMN) qui a existé sur ce site jusque dans les années 80 avant d'être définitivement arrêtée en 1993 puis démantelée. Aujourd'hui seuls une tour de refroidissement des hauts fourneaux et deux ponts sur l'Orne conservent la mémoire de ce fleuron industriel très important pour la région. Demain de nouvelles activités redonneront vie à ce vaste espace ; la LIQN y participera.

Les contraintes liées au franchissement de l'Orne sont nombreuses et orienteront les solutions possibles de structures.

- La géométrie du profil en long entre 3 % et 4 % est assez forte entre les deux rives de l'Orne dissymétriques dans leur géographie.
- Le développé du tracé en plan selon un rayon de 320 mètres impose un dévers unique de 5 % avec un impact sur la lecture en élévation de l'ouvrage qui ne sera pas neutre.
- La géologie est délicate et l'hydraulique du lit majeur de l'Orne n'autorise pas l'ouvrage à poser les « pieds » n'importe où.
- Les gabarits des voies à franchir influencent la position des appuis.



Figures 3 et 4 : Etat actuel du site

2. CHOIX ARCHITECTURAL ET STRUCTUREL

2.1 Généralités

Le parti architectural du viaduc a été retenu à l'issue d'un concours de conception associant des bureaux d'études techniques et des architectes. Il s'agit du projet de l'équipe J.M.I-Strates.

Les contraintes du site ont conduit l'équipe gagnant à concevoir un projet comportant un ouvrage principal sur l'Orne et un ouvrage secondaire pour franchir l'ancienne voie ferrée de la SMN, qui dans le futur pourra accueillir une voie ferrée ou un tramway sur pneu.

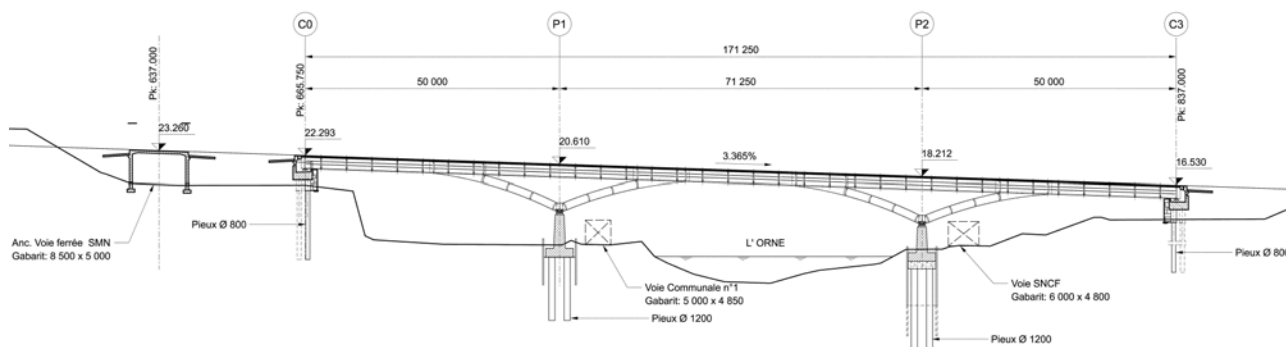


Figure 5 : Coupe longitudinale

L'ouvrage principal se développe, et présente une longueur respectable de 171.25 mètres. Au droit des culées, les hauteurs de remblais d'accès ainsi obtenues sont inférieures à 6 mètres, ce qui reste tout à fait en rapport avec l'échelle du site.

L'ouvrage secondaire assure le seul franchissement de l'ancienne voie ferrée et se limite à un pont cadre en béton armé sur lequel les murs de soutènement assurant la jonction avec la culée est de l'ouvrage principal, viennent harmonieusement se fondre.

L'architecture de l'ouvrage retenu de franchissement de l'Orne s'inspire de l'histoire industrielle de la SMN, en privilégiant le métal au béton.

Le tablier en caisson mixte, porté sur chaque pile par un fût étroit à travers des arches assurant une transparence de l'ouvrage, répond à la douceur du site et absorbe la dissymétrie des berges dans un vaste geste courbe.

Les portées entre axe de piles et culées sont 50m/71.25m/50m.

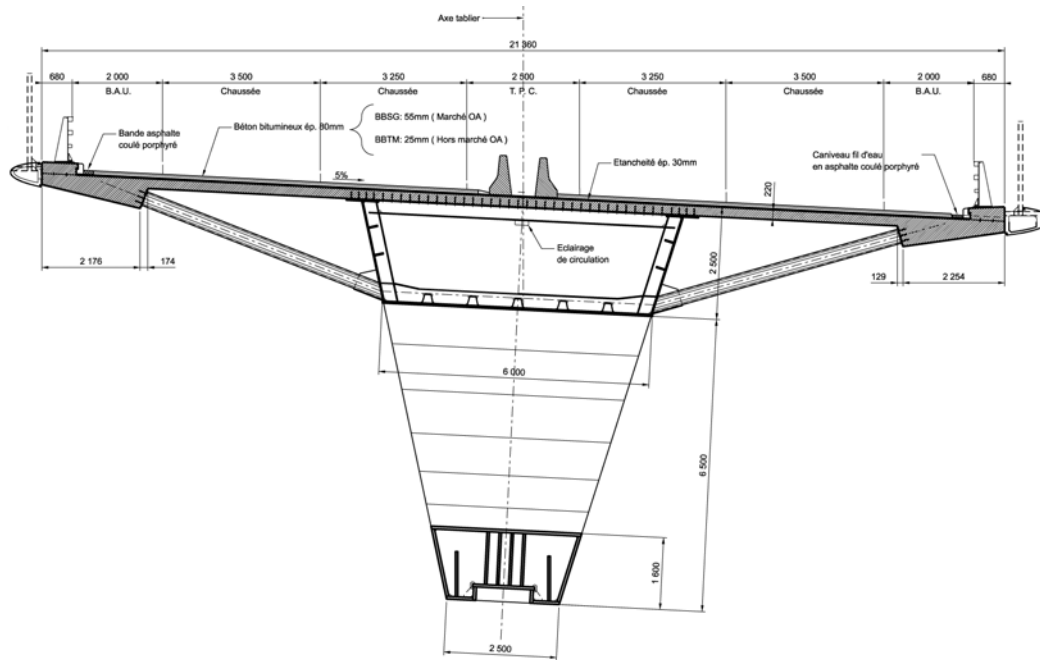


Figure 6 : Coupe du tablier sur pile

2.2 Les culées

Les deux culées, structurellement similaires, présentent des variations de traitements dues à leur situation géographique :

- en rive gauche, un mur en « U » qui est en remblai renforcé, assurant la relation entre les deux rives géographiquement si différentes,
- en rive droite, la culée est en relation directe avec l'ouvrage secondaire. Elle se prolonge par des murs de soutènement qui évitent les remblais, et assure la continuité structurelle entre l'ouvrage principale et secondaire.

2.3 Les piles

Composées d'un élégant fût elliptique tronconique de 3m sur 1.75m en tête, les piles viennent se glisser sous le caisson métallique du tablier.

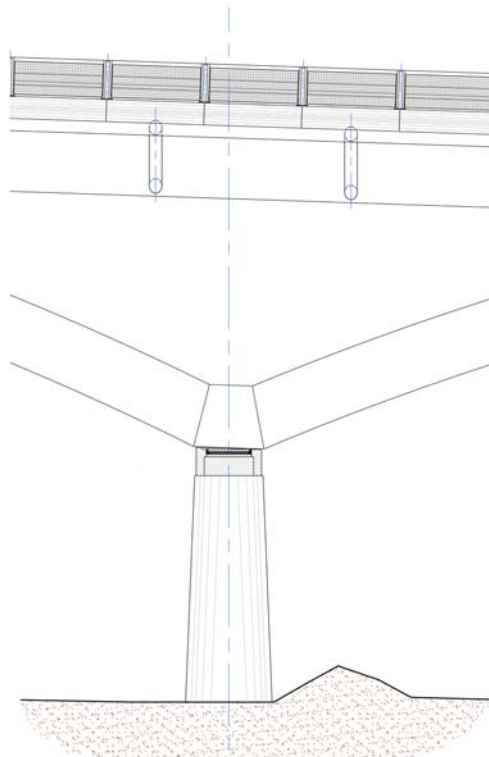


Figure 7 : Fût de pile



Les piles sont fondées sur 6 pieux d'un diamètre 1.2m et d'une longueur de 12 à 18m.

Un appareil d'appui à pot unique, assure la liaison avec le tablier. Des caches en acier inox vont couvrir appareils d'appui et assurer la continuité visuelle entre les fûts des piles et les arcs du tablier.

2.4 Le tablier

L'ouvrage principal est constitué d'un tablier de hauteur constante (2.5 mètres), en caisson métallique avec hourdi béton de 21.36 m pour un caisson métallique de 7.1 m de largeur.

Le hourdis a une épaisseur de 22 cm. Les encorbellements du hourdis sont soutenus par des béquilles tubulaires avec un pas d'environ 5m.

Les âmes du caisson sont inclinées pour dynamiser les perspectives.

Des arcs courbes en forme de V au droit des têtes de piles, assurent un « décollement » du tablier par rapport aux appuis.



Figure 8 : Le viaduc de l'Orne à partir de la route communale

2.5 L'ouvrage secondaire

Le rétablissement de l'ancienne voie ferrée de la SMN est assuré par un ouvrage courant de type portique avec une portée de 10 m. Il vient en continuité de la culée rive droite de l'ouvrage principal.

3. ÉTUDES

L'ouvrage principal du viaduc de l'Orne comporte structurellement plusieurs particularités.

- Les appuis sur les piles sont des appareils d'appui à pot uniques centrés sur les fûts.
- L'ouvrage étant en courbe, la chaussée est inclinée et le caisson du tablier suit cette inclinaison. Les arcs sous le caisson suivent l'inclinaison et les appareils d'appui uniques et les fûts des piles sont ainsi excentrés de l'axe du chaussée et du centre de gravité du caisson.
- La combinaison des appuis uniques sur piles et leurs désaxements par rapport au centre de gravité de l'ouvrage font que la stabilité de la structure est assurée par les lignes d'appuis sur culée à travers de la résistance à la torsion du caisson.

L'évaluation précise de la torsion, en particulier la torsion gênée, devenant ainsi primordiale, il a été décidé d'étudier l'ouvrage avec un modèle en coque spatiale pour les études statiques afin d'intégrer la torsion gênée dans l'étude du comportement de l'ouvrage.

3.1 Etudes statiques

Les études en coque spatiale des structures composite comportent une complication due à l'interaction métal-béton et la fissuration possible de ce dernier.

Le règlement français des structures mixtes a été conçu pour des calculs en poutre filaire et prescrit des calculs d'inconnues hyperstatiques en ne tenant pas compte de la fissuration du hourdis béton. Les contraintes sont ensuite calculées sur les sections transversales en intégrant la fissuration selon l'état de la dalle.

Cette approche n'est pas possible dans l'étude en coque spatiale. Les contraintes sortent directement des calculs en éléments finis et il faut ainsi intégrer la fissuration du hourdis pour tenir compte de la redistribution des contraintes dans la structure métallique suite à la fissuration du béton.

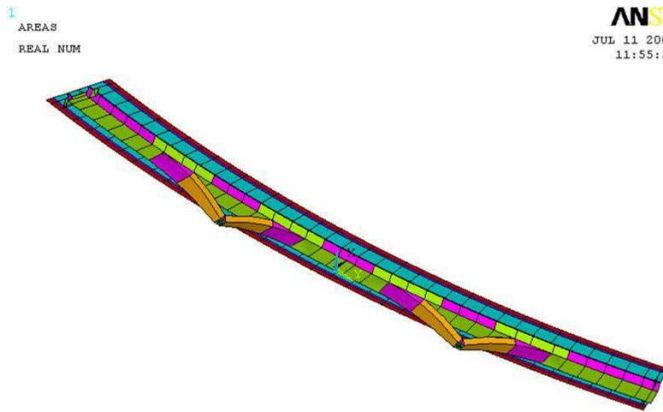


Figure 9 : Vue d'ensemble du modèle aux éléments finis

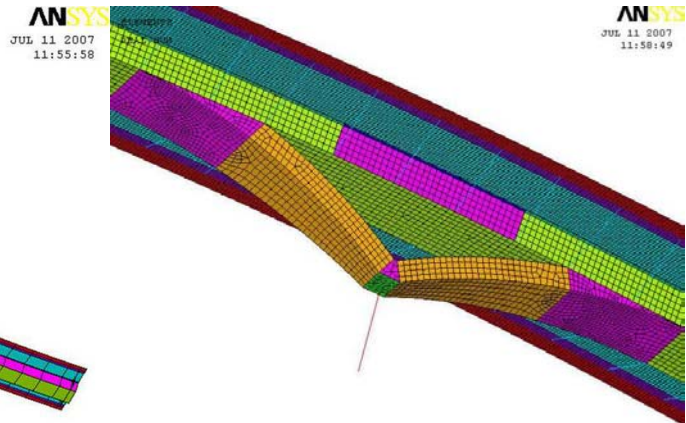


Figure 10 : L'arche

Concrètement l'étude a été faite en deux temps. Dans un premier temps, une combinaison Etat Limite de Service (G + 1,2 Q) a été appliquée pour déterminer les zones de fissuration de la dalle. G comprend donc ici les sollicitations dues au retrait, à l'action différentielle de la température (prises en compte ou non de façon à obtenir les effets les plus défavorables) et aux superstructures calculées avec des caractéristiques du béton à long terme. Q comprend les différents cas de charges pour A(l) calculés avec un module de béton à court terme.

La dalle béton a été considérée comme fissurée lorsque : $\sigma_b > f_{tj} = 3 \text{ MPa}$ où σ_b est la contrainte à mi-épaisseur de la dalle.

Il est alors possible de déterminer un ensemble d'éléments fissurés pour les différents cas de charges. Tous les éléments de la dalle pour lesquels la contrainte longitudinale a dépassé f_{tj} (sous un des cas de charges) se sont vus affectés de nouvelles caractéristiques de matériau.

La cartographie des contraintes longitudinales dans la dalle est donnée dans la figure 11, ainsi que la cartographie les éléments fissurés (cf. figure 12).

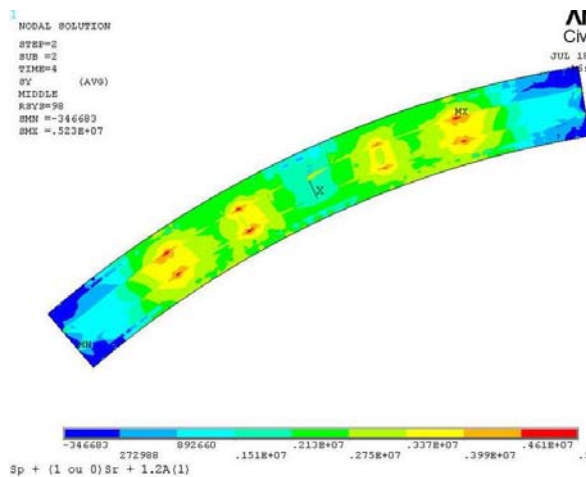


Figure 11 : Contraintes longitudinales

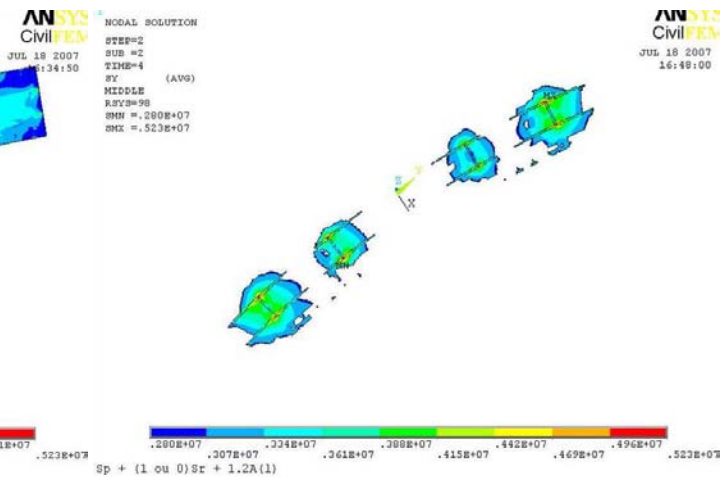


Figure 12 : Zones fissurées dans le hourdis

Les sollicitations dues aux différents cas de charges (A(l), Bc, Mc120, Bf, vent, poids propre, retrait et action différentielle de la température, superstructures) ont été à nouveau déterminées et le dimensionnement a été effectué à partir de ces dernières.

3.2 Séisme

D'origine une configuration d'appuis ordinaire savait été prévue sous la structure, à savoir un appui fixe sous l'une des piles et des appuis à pots glissant longitudinalement sous les culées et la pile restante.

La région de Caen n'est pas dans une zone très sismique, mais les études sismiques démontraient que des appuis à pots ordinaires engendraient trop de sollicitations sur les appuis (piles et culées) lors d'un séisme.

Pour limiter les sollicitations sismiques sur les fondations une nouvelle configuration d'appui a été mise au point. Sur les culées les appuis à pots ont été remplacés par des appuis néoprènes renforcé par un amortisseur sismique longitudinal. L'appui à pot fixe sur l'une des piles a été remplacé par un appui à pot glissant longitudinalement et un dispositif avec un

amortisseur à ressorts précontraints transversal (cf. figure 13) a été rajouté sur les piles pour libérer les appuis transversalement lors d'un séisme et recentrer l'ouvrage à la fin du séisme.

Le dispositif sismique sur les piles a considérablement compliqué la conception de l'arc métallique au-dessus de l'appui (cf. figure 14) et une étude en éléments finis du détail a été exécuté (cf. figure 15 et 16).

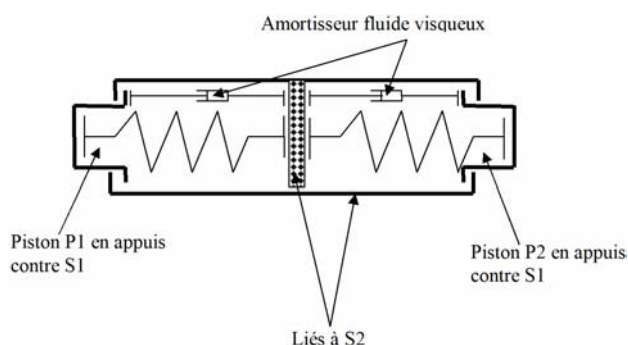


Figure 13 : Amortisseur à ressorts précontraints

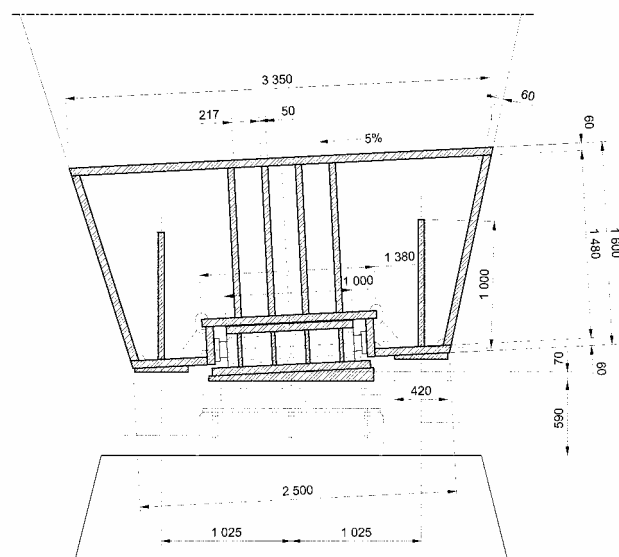


Figure 14 : Conception de l'arc métallique

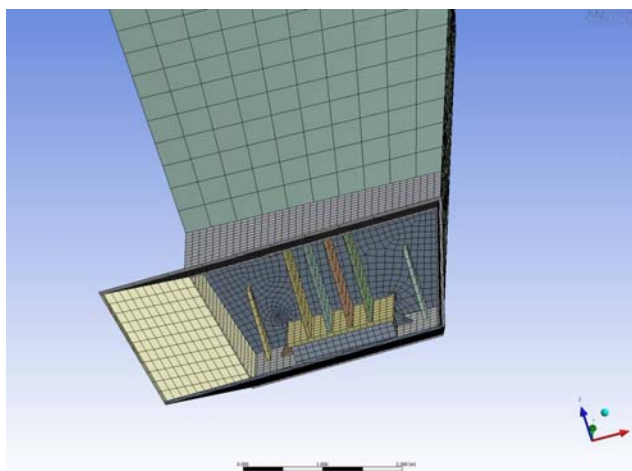


Figure 15 : Modèle d'étude aux éléments finis

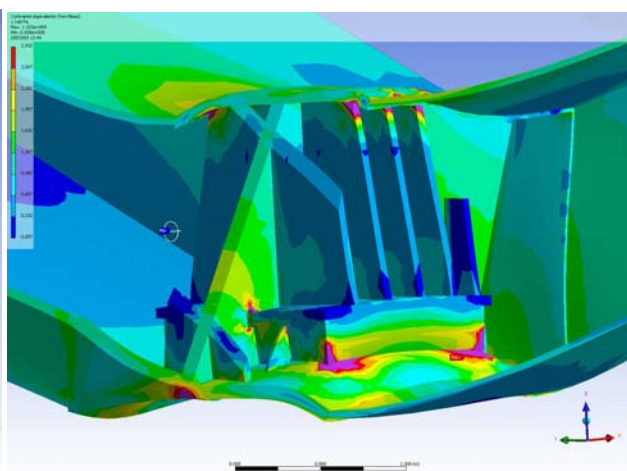


Figure 16 : Résultat de calcul aux éléments finis

4. CONCLUSIONS ET SUITE

Dans les pays développés un des soucis majeurs est d'intégrer les intérêts du développement économique, en particulier le transport, avec le respect du milieu dans lequel les infrastructures nécessaires doivent s'intégrer. L'Ouvrage du viaduc de l'Orne répond à cette demande en prenant sa place dans la vallée de l'Orne sans heurter la géographie complexe du paysage.

La consultation des entreprises est prévue fin août pour une mise en service en 2010.



Figure 17 : Le viaduc de l'Orne vue depuis la voie ferrée

