

AUSCULTATION PAR BALAYAGE LASER 3D POUR LA MODÉLISATION ET LE SUIVI DES PONTS

Guy Mailhot, ing., M. Eng.

Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée, Longueuil

Sorin Busuioc, M. Eng.

SCDS PRO Inc., Montréal

Résumé

L'utilisation de la technologie d'auscultation par balayage laser tridimensionnel (3D) comme outil pratique pour la télédétection, la modélisation graphique et le suivi du comportement des ponts complexes en acier est l'objet de cette communication.

L'efficacité de cette technologie est examinée principalement au moyen d'une application visant à modéliser et à suivre dans le temps, sur une longueur de plus de 450 m, le comportement thermique de la travée principale du pont Champlain à Montréal. Les principes de base de cette technologie ainsi que les équipements, les opérations au chantier, les outils et les logiciels utilisés pour le traitement des données de même que la modélisation graphique 3D sont décrits. Par ailleurs, la communication démontre comment l'auscultation par balayage laser 3D peut servir à déceler et à quantifier les changements géométriques occasionnés par des variations thermiques.

Une comparaison des modèles 3D créés par balayage laser aux modèles produits par un traitement traditionnel des informations disponibles à partir des dessins d'ateliers de l'ouvrage permet d'apprécier la précision et le potentiel de cette technologie de pointe.

La communication traite également de l'utilisation de la modélisation graphique 3D pour améliorer la gestion des ponts et présente sommairement les autres applications potentielles de la technologie du balayage laser 3D pour faciliter le travail des ingénieurs affectés à l'entretien des ponts. Ces autres applications incluent notamment la réalisation de relevés bathymétriques, la confection ou la mise à jour des dessins tels que construits, la prise de mesures à distance pour l'élaboration des dessins d'ateliers requis dans le cadre des travaux de réparation d'acier et dans l'établissement d'une image tridimensionnelle de référence permettant de confirmer tout changement géométrique en cas de sollicitations exceptionnelles comme un séisme, un incendie ou l'impact d'un navire ou d'un camion.

1. Introduction et contexte

La technologie permettant l'auscultation d'un ouvrage par balayage laser 3D est disponible sur une base commerciale depuis la fin des années 90 (Réf. 1). Tout comme plusieurs autres nouvelles technologies exploitées récemment dans la pratique du génie civil, la technologie de l'auscultation par balayage laser 3D a évolué rapidement en raison des progrès technologiques importants réalisés sur le plan des systèmes de traitement informatique, particulièrement en ce qui a trait à l'acquisition et au traitement graphique de données.

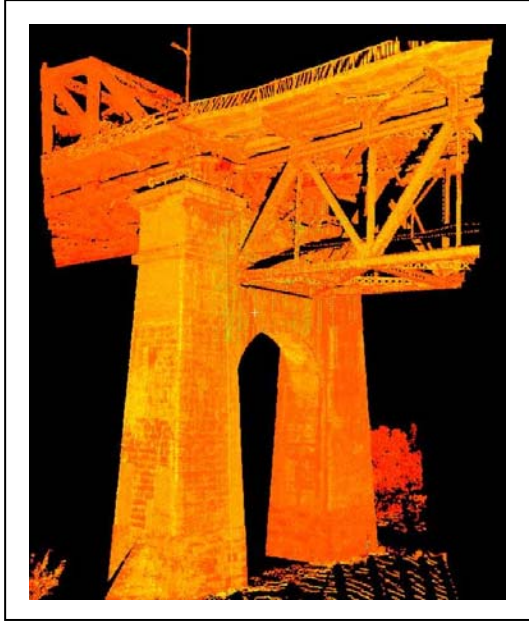


Figure 1 – Imagerie laser 3D d'une pile d'ancrage du Pont Jacques-Cartier

La Société *Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée (PJCCI)* a été exposée pour la première fois à cette technologie innovatrice dans le cadre d'un projet de démonstration visant à produire un levé tridimensionnel par balayage laser 3D d'une des piles massives en béton servant à ancrer la travée principale du pont Jacques-Cartier au moyen de tirants en acier situés à l'intérieur de celle-ci.

Ce levé tridimensionnel, réalisé par la firme *SCDS Pro Inc.* de Montréal, a nécessité moins de trois heures de travail au chantier pour effectuer l'acquisition des données et environ deux heures de travail au bureau pour traiter les données et ainsi produire l'image 3D illustrée à la *Figure 1* qui est constituée d'un nuage de points en trois dimensions. L'efficacité de cette technologie dans le contexte de ce projet a incité la Société à examiner de plus près cette technologie comme outil pratique pour l'auscultation, la télédétection, le suivi, la

modélisation 3D et la gestion d'ouvrages complexes en acier de grandes dimensions comme le pont Champlain, le pont Jacques Cartier et le pont Honoré-Mercier.

Des investigations complémentaires portant sur la faisabilité et l'efficacité de cette technologie pour des applications sur des grands ponts ont été poursuivies au moyen d'un projet pilote destiné à modéliser et à évaluer le comportement thermique de la travée principale du pont Champlain à Montréal. La travée principale en acier de ce pont, d'une longueur de 450,4 m, permet d'enjamber la voie maritime du St-Laurent. Par ailleurs, la dimension de cet ouvrage fait de ce pont, l'un des plus grands ouvrages au monde à avoir fait l'objet d'une auscultation par balayage laser 3D.

Le pont Champlain a été ciblé dans un premier temps car, en plus de présenter d'importantes contraintes au niveau de son accès, des relevés manuels effectués depuis un certain temps indiquaient un comportement thermique anormal de l'ouvrage, particulièrement à l'endroit des quatre travées d'approches constituées de poutres triangulées en acier à tablier supérieur. Le mauvais comportement thermique du pont et de ses travées d'approches a été associé au mauvais comportement des appareils d'appuis remplacés au début des années 80.

Le projet pilote comportait les cinq principaux objectifs suivants :

- i) évaluer le niveau de précision de l'outil dans le contexte d'une application sur un grand pont comme le pont Champlain;
- ii) évaluer l'efficacité de la technologie, lorsqu'appliquée à un grand ouvrage en acier et difficilement accessible ;
- iii) déterminer si cette technologie pouvait être utilisée pour obtenir une meilleure compréhension du comportement thermique de l'ouvrage;

- iv) comparer les informations obtenues du balayage laser aux informations similaires obtenues à partir des moyens traditionnels comme les dessins d'ateliers et les relevés au chantier;
- v) examiner d'autres utilisations potentielles de cette technologie comme outil pratique pour le suivi, l'entretien et la gestion des ouvrages d'art.

2. Principes de base et plateforme technologique utilisée pour l'auscultation 3D

Un scanneur opérant sur la base d'un traitement du temps de parcours d'une onde, comme dans le cadre du présent projet, émet une impulsion laser qui est dirigée vers l'objet. Le retour de l'onde est ensuite capté par le scanneur et les composantes de l'appareil mesurent le temps qui s'est écoulé entre l'émission et la réception de l'impulsion. Tenant compte d'une vitesse de propagation constante de l'onde qui se propage à la vitesse de la lumière, la distance qui sépare la surface de l'émetteur de la surface de l'objet peut être calculée avec précision. Des servomoteurs placés à l'intérieur du scanneur permettent de faire pivoter deux miroirs et ainsi balayer l'objet entier en émettant des impulsions laser à des fréquences régulières, soit environ 1000 impulsions par seconde par le scanneur de type CYRAX 2500 (Réf. 2) utilisé dans le cadre de ce projet et illustré à la *Figure 2*. Les coordonnées 3D des points acquis sont calculées en combinant trois informations précises, soit l'angle horizontal et vertical des miroirs constituant l'émetteur et la distance entre l'émetteur et un point précis sur l'objet.

De manière à saisir une image 3D de l'ensemble d'un ouvrage complexe, le scanneur optique doit être positionné à différents endroits autour de l'ouvrage. La technologie utilisée a l'avantage d'avoir une très grande portée, soit jusqu'à 200 m environ lorsque l'équipement est exploité dans des conditions optimales.



Figure 2 – Scanneur CYRAX 2500
(Cyra Technologies Inc.)

Pour effectuer le balayage laser sur le site, un logiciel commercial, soit le logiciel CYCLONE et plus particulièrement son interface qui est destinée à l'acquisition des données est utilisé pour opérer le scanneur. Des outils intégrés à même le logiciel permettent à l'utilisateur de spécifier différents paramètres de la numérisation tels que la dimension du champ de vision et la densité de points pixels dans l'image à capturer, d'effectuer un certain filtrage des points figurant dans les images et de reconnaître automatiquement des cibles prédéfinies. Des outils complémentaires sont également disponibles dans le logiciel permettant à l'utilisateur d'assurer un contrôle sur la précision et la fiabilité des données lors de l'acquisition des images 3D.

La versatilité du logiciel CYCLONE et de ses puissants modules conçus spécifiquement pour faciliter la modélisation des ouvrages permet à l'opérateur d'utiliser directement les nuages de points, c'est-à-dire une image constituée d'une multitude de points en trois dimensions pour représenter très fidèlement un objet complexe en 3D comme l'image apparaissant à la *Figure 1*.

De plus, ce même logiciel permet de traiter et de convertir les données en vue d'une exportation des images 3D vers des logiciels CAD pour un traitement subséquent.

3. Description de l'ouvrage et de la zone auscultée

3.1 Description de l'ouvrage

La partie en acier du pont Champlain est illustrée à la *Figure 3*. D'une longueur de 763,48 m pour la partie située entre les piles 4E et 4W, ce segment du pont comprend la travée de type cantilever qui est constituée de deux bras d'ancrage de 117,5 m, de deux porte-à-faux de 49 m et d'une travée centrale suspendue de 117,5 m ce qui confère au pont une portée centrale de 215,4 m entre les piles 1E et 1W. Le pont cantilever est bordé à l'ouest et à l'est, soit entre les piles 4W et 2W et les piles 2E et 4E respectivement, par deux travées constituées de poutres triangulées à tablier supérieur. L'emplacement des appareils d'appuis fixes et mobiles est également identifié sur cette même figure.

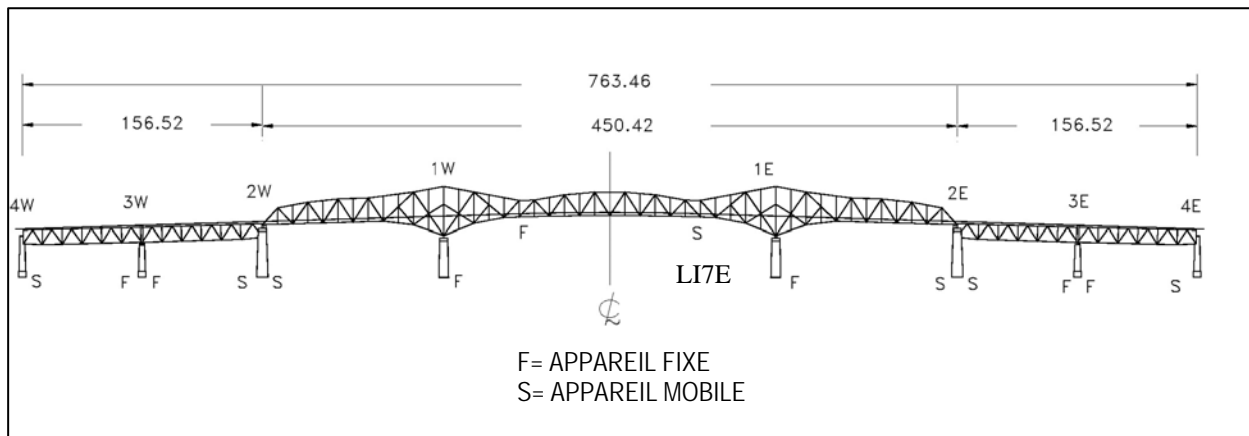


Figure 3 – Configuration de la travée principale et de ses travées d'approche

Les dilatations thermiques maximales de la travée principale se produisent au nœud L17E, là où se trouve un joint modulaire à 3 modules faisant partie du tablier orthotrope en acier installé en 1992 et 1993 en remplacement au tablier original en béton armé. Étant donné la configuration du pont et de l'emplacement de ses appareils d'appuis mobiles, les déplacements maximaux qu'on observe à l'axe L17E se développent sur une longueur tributaire théorique de 215,4 m.

3.2 Zone ciblée pour l'auscultation et accès au site

La zone auscultée dans le cadre de ce projet pilote s'étend d'une limite située à 9 m environ à l'ouest de la pile 2W jusqu'à une limite située à 10 m environ à l'est de la pile 2E. Le suivi sur une telle distance a permis l'acquisition des données portant sur les déplacements thermiques se produisant aux joints de dilatations présents aux axes des piles d'ancrages qui supportent à la fois les travées d'approches et les travées d'ancrages du pont cantilever. Les élévations amont et aval de la superstructure du pont ont été balayées par le scanner laser. Dans un premier temps, des cibles magnétiques, nécessaires pour assurer une grande précision des levés, ont été positionnées à différents endroits sur la partie métallique de l'ouvrage. De plus, des marques de références ont

également été identifiées le long de la partie inférieure des piles. La localisation des cibles utilisées aux fins des levés par balayage laser est identifiée à la *Figure 7*.

Un nœud situé à la base des poteaux verticaux principaux (« vertical main post ») aux piles 1E et 1W a fait l'objet d'une auscultation laser 3D de grande précision. Ce nœud, pour lequel les résultats de l'auscultation sont présentés à la *Figure 11a*, est caractérisé par la présence d'un assemblage majeur composé de deux plaques de gousset et de cinq goujons de fortes dimensions servant à relier les membrures et à transférer à la pile, par le biais d'une articulation de l'assemblage, les efforts axiaux provenant de cinq membrures de la poutre triangulée.

4. Travaux au chantier et acquisition des données

Les levés ont été exécutés selon deux conditions différentes de température, soit :

- a) Campagne hivernale : Température ambiante de $-15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- b) Campagne estivale : Température ambiante de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$

La méthodologie de travail et les techniques utilisées pour l'acquisition des données ont été essentiellement les mêmes lors des deux campagnes d'auscultation. La nature du projet a imposé de sévères contraintes eu égard à la précision des levés et la méthodologie de travail. En effet, la collecte des données a dû être structurée de façon à assurer un excellent contrôle sur l'alignement des séries de données provenant des différentes positions du scanner laser.

Pour atteindre le niveau de précision souhaité lors de l'acquisition des données provenant des différentes positions, l'équipe au chantier a dû positionner au préalable des cibles physiques « cibles fixes » pouvant être identifiées et enregistrées au moment de la capture des images 3D. En complément aux cibles physiques, d'autres types de cibles désignées « cibles flottantes » ou « cibles artificielles », qui sont associées à des traits ou à des caractéristiques géométriques d'éléments de l'ouvrage pouvant être facilement reconnaissables au moment de l'acquisition des images 3D, ont également été utilisées. Les deux types de cibles ont les propriétés suivantes :

- Cibles fixes : Des cibles physiques ont été utilisées pour assurer un contrôle sur les dimensions du modèle 3D en permettant de calculer avec précision les distances entre ces points de repère et de détecter tout déplacement relatif des cibles entre les levés en périodes estivales et hivernales. Ces cibles, identiques en forme d'un levé à l'autre, ont été positionnées exactement au même endroit lors des deux campagnes d'auscultation. L'emplacement de chaque cible a dû être documenté et sa position conservée pour toute la durée du projet.
- Cibles flottantes : Des cibles flottantes ou « cibles artificielles » ont servi à aligner les données provenant de différentes positions du scanner de manière à former une chaîne de données fusionnées ensemble de façon optimale. En effet, les données provenant de deux balayages laser distincts à partir de positions différentes du scanner ont été fusionnées en utilisant les cibles flottantes.

Bien que les imprécisions dans le processus d'alignement des différentes chaînes de données qui ont été quantifiées par le calcul d'un vecteur d'erreur étaient généralement en dessous de 1 mm dans 90 % des cas, une compensation pour ces erreurs a pu être effectuée de deux façons, soit :

- en fermant la boucle provenant des scans interalignés ;
- en liant les plans nord et sud de l'ouvrage via un triplet de trois cibles fixes placées au sol. Ce triplet étant caractérisé par une position stable et un emplacement offrant une bonne visibilité pour la capture des cibles lors du processus de balayage.

Durant la campagne hivernale, l'acquisition des nuages de points permettant de définir l'ouvrage au complet a nécessité 13 positionnements du scanner laser. Une disposition optimale des positions du scanner a permis de minimiser le nombre de déplacements du scanner en tirant profit de la surface glacée du canal de la voie maritime durant l'hiver (voir *Figure 4*).

Toutefois, l'équipe de chantier a été confrontée à plusieurs contraintes au niveau de la logistique et de planification des levés en raison des conditions hivernales et de l'emplacement de l'ouvrage situé au-dessus d'un important cours d'eau. Des techniques fiables ont dû être développées spécifiquement pour pallier aux problèmes de visibilité et d'accès à l'ouvrage. À titre d'exemple, des difficultés occasionnées par des obstructions, dont la végétation naturelle telle qu'illustrée dans la *Figure 5* ou des problèmes occasionnés par la configuration de l'ouvrage (*Figure 6*). Dans plusieurs cas, des scans complémentaires ont été nécessaires afin de filtrer l'information, soit par un post-traitement numérique dans le but d'éliminer toutes informations non pertinentes ou pour compléter les informations manquantes (voir *Figures 5 et 6*).



Figure 4 – Auscultation à partir du canal de la voie maritime

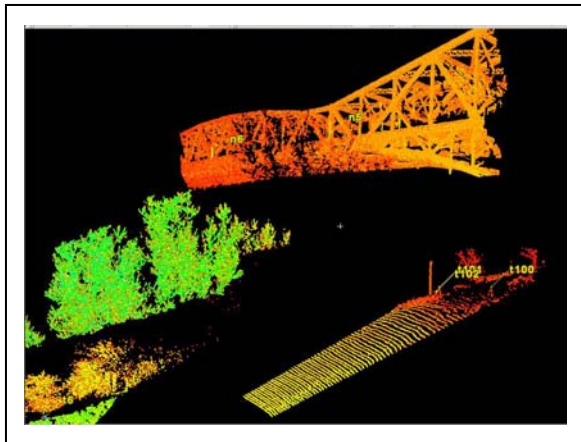


Figure 5 – Obstructions naturelles nécessitant des scans complémentaires

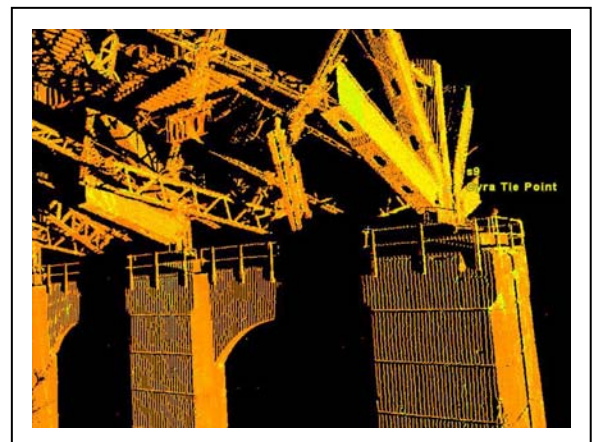


Figure 6 – Acquisition des données pour des endroits difficilement accessibles

Le temps nécessaire en période hivernale et estivale pour effectuer les levés par balayage laser et pour faire le traitement des données est comptabilisé au *Tableau 1*.

Tableau 1 – Heures-personnes pour effectuer l’acquisition des données et la génération du modèle complet 3D

Opération	Phase hivernale	Phase estivale
Installation des cibles	6 heures	6 heures
Auscultation laser au chantier	28 heures	26 heures
Traitement au bureau	56 heures	40 heures
Planification et visites du site	70 heures	40 heures
Total	160 heures	112 heures

Les équipements et les techniques retenus pour effectuer l’auscultation laser dans le cadre de ce projet se sont avérés particulièrement efficaces compte tenu de la complexité de l’ouvrage tel qu’en témoigne l’image présentée à la *Figure 6*. Cette figure illustre le dessous de la superstructure du pont et une partie d’une pile. Les zones de couleur noire dans la partie supérieure de la pile sont indicatives d’une position du scanneur pour laquelle, le champ de vision ne permettait pas de saisir une image complète de la surface auscultée.

Dans le cadre des levés effectués durant la période estivale, l’équipe de chantier a dû recourir à 18 positions différentes dispersées autour de l’ouvrage pour saisir l’ensemble de l’ouvrage. Pour cette phase, la distribution des cibles telles qu’illustrées à la *Figure 7* fut essentiellement la même qu’en période hivernale. Malgré le recours à un nombre de postillons supérieurs pour effectuer l’auscultation (18 positions .vs. 13), le temps requis pour réaliser les levés a été moindre comme l’indique le *Tableau 1*. Ce gain en efficacité a été possible par une optimisation du processus d’acquisition des données découlant d’une meilleure connaissance du site et des particularités de l’ouvrage suite à la première campagne d’auscultation.

5. Traitement des données et génération du modèle 3D

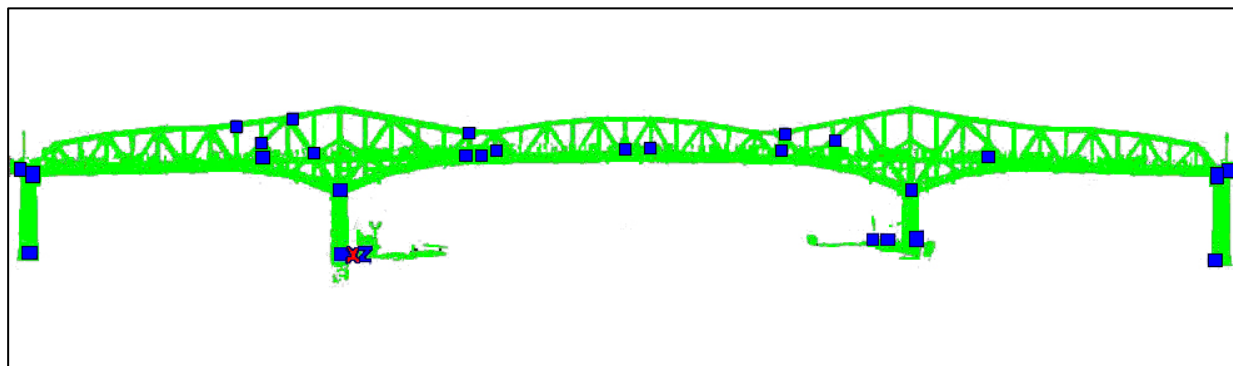


Figure 7 – Répartition des cibles

Les étapes essentielles au traitement numérique des données en vue de générer un modèle tridimensionnel incluent : la détection et la désignation d’éléments identiques parmi l’ensemble des données brutes par l’utilisation des étiquettes d’enregistrements (« registration labels ») et le

recours à des outils de calcul permettant de filtrer certaines données, d'effectuer des moyennes sur un ensemble de points dans le but de fixer un centroïde, de repositionner une cible ou d'y assigner des références à des éléments particuliers. Lorsque ces étapes de traitement sont terminées, la modélisation 2D ou 3D peut être initiée.

L'étape visant à assigner une étiquette d'enregistrement à une chaîne de données consiste à intégrer ensemble plusieurs scans différents provenant d'un même ouvrage ou d'une même partie d'ouvrage dans le but de confier aux points constituant cette chaîne de données un même et unique système de coordonnées. Cette intégration est faite en imposant des contraintes aux données, soit typiquement, en liant ensemble des *cibles fixes* identifiées dans les deux différentes séries de données 3D.

Dans certains cas, il n'est pas possible d'avoir accès à des cibles fixes communes pour joindre deux séries de données. À titre d'exemples, il peut être impossible d'avoir accès à une partie de l'ouvrage pour y installer une cible ou il peut être impossible de visionner une cible à partir d'une position quelconque du scanner laser. Dans de tels cas, la solution consiste à reconnaître des caractéristiques géométriques distinctes qui sont communes aux deux images 3D ou de calculer des propriétés géométriques communes au moyen d'outils mathématiques (e.g. le centroïde) pour certains objets et ensuite associer à ces objets des étiquettes d'enregistrement pouvant servir comme repère complémentaire aux cibles fixes placées sur l'ouvrage. Le concept d'une étiquette d'enregistrement est illustré à la *Figure 8*.

Le logiciel commercial MATLAB a été utilisé pour effectuer divers traitements mathématiques portant sur les données 3D. Ce logiciel a pu être intégré efficacement au logiciel CYCLONE, soit le logiciel de base fourni par le fabricant du scanner pour traiter, pour modéliser et pour exporter/importer les données et les modèles 3D.

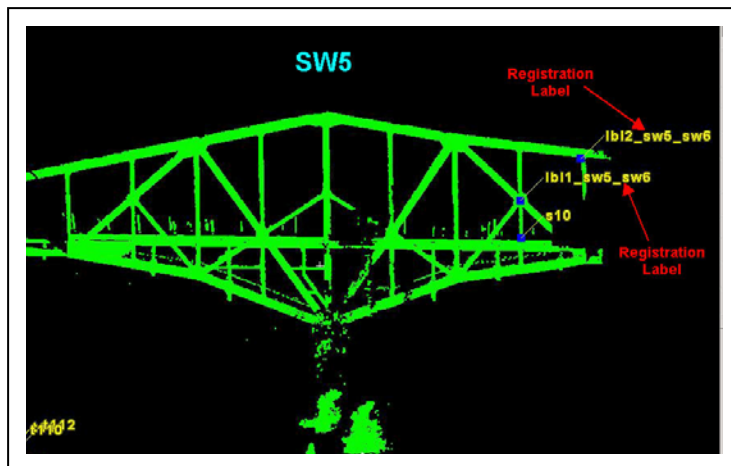


Figure 8 - Étiquettes d'enregistrements

À partir d'une image constituée d'un nuage de points décrivant un objet en trois dimensions, il est facile de créer directement un dessin 2D, comme ceux présentés aux *Figures 7 et 8*.

Ces images consistent en des vues pouvant être créées rapidement avec le logiciel CYCLONE en vue d'une exportation vers des logiciels commerciaux de dessins assistés par ordinateurs (DAO), pour traiter davantage le dessin incluant l'ajout de cotes de dimensionnement.

Dans le cas d'une modélisation 3D, les données peuvent être traitées selon différentes techniques reconnues et selon différents formats de représentation. Plusieurs formes de représentation géométrique sont disponibles, dont la plus directe est celle constituée d'un nuage de points (*Figure 11a*). Les autres formats fréquemment utilisés sont le maillage polygonal (*Figure 9a*) ou la représentation sous forme de contours et d'éléments solides 3D (*Figure 9b*). La plupart des

logiciels de dessin commerciaux 3D permettent la création et l'établissement de surface ou de modèle 3D en recourant aux techniques de « best-fit ».

Un modèle 3D généré à partir d'une auscultation laser par balayage 3D permet d'examiner un ouvrage sans avoir à s'y rendre sur place. De plus, une telle opération permet d'enregistrer une « copie numérique » de l'ouvrage qui servira de référence pour déceler les changements géométriques de l'ouvrage avec le temps.

6. Génération du modèle 3D pour le pont Champlain et précision des levés

6.1 Modèle 3D complet

La *Figure 10a* présente le modèle 3D complet sous la forme d'une représentation par un nuage de points. L'image dans cette figure a été générée à partir de l'auscultation par balayage laser 3D selon le processus de traitement décrit aux sections précédentes. L'image 3D identifiée dans cette figure contient environ 8,7 millions de points distincts. Tel que l'indique le *Tableau 1*, la création de cette image 3D a nécessité environ 112 heures-personnes de travail pour effectuer la planification du levé, l'installation des cibles fixes, le travail sur le terrain et pour effectuer le traitement des données au bureau.

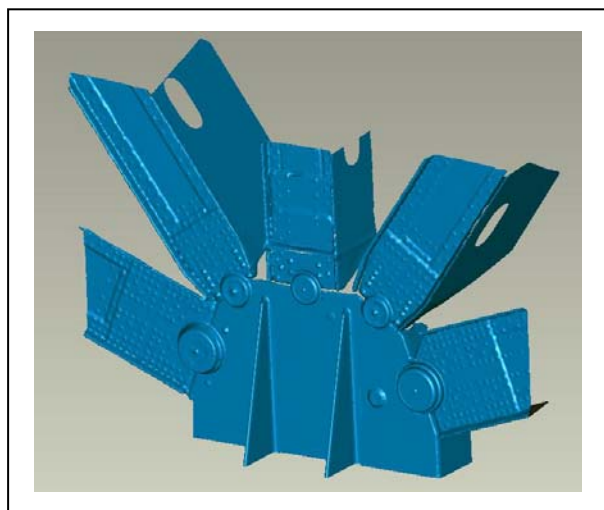


Figure 9a – Maillage polygonale 3D

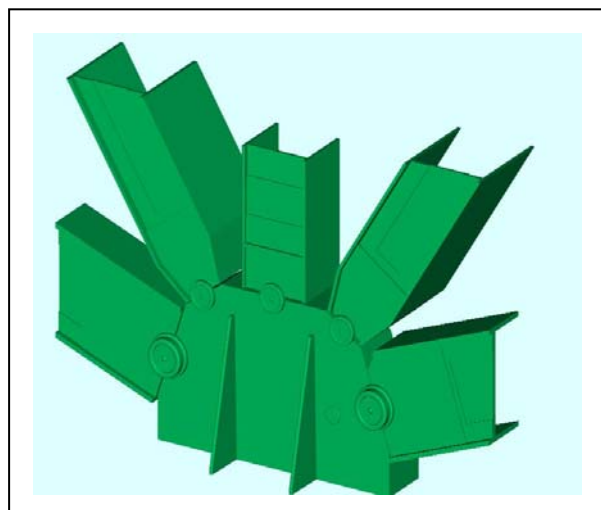


Figure 9b – Modèle solide 3D

Par comparaison, la *Figure 10b* fournit une représentation 3D comparable portant sur une partie du pont qui a été produite par le biais d'un traitement DAO traditionnel nécessitant un examen minutieux, une transcription et une reconstitution de l'ouvrage à partir des informations disponibles sur les dessins d'atelier de l'ouvrage. Le modèle DAO 3D identifié à la *Figure 10b* a exigé environ 2 200 heures-personnes pour consulter les documents historiques, pour effectuer la mise en plan et pour valider le travail. Le *Tableau 2* permet de comparer les principales dimensions découlant des travaux de modélisation selon les deux différentes méthodes de travail utilisées.

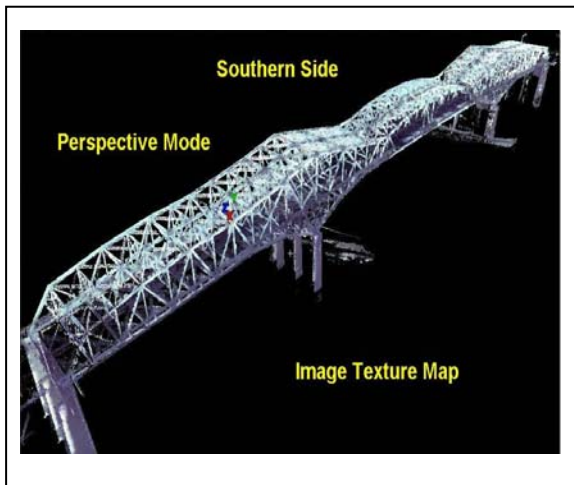


Figure 10a – Auscultation laser 3D (modèle complet)

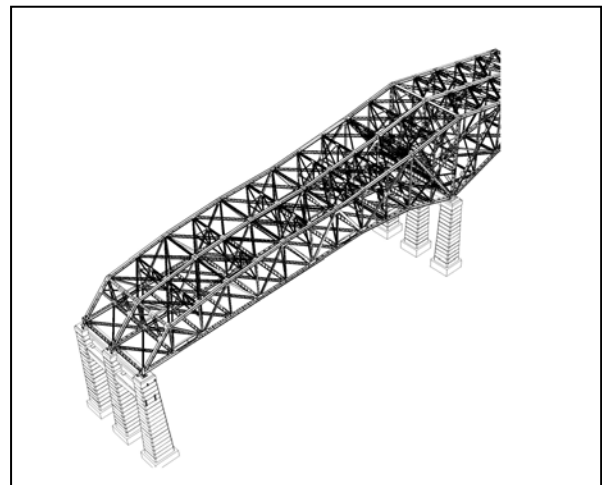


Figure 10b – Modèle 3D par DAO (modèle partiel)

Tableau 2 – Comparaison entre les résultats par balayage laser et par une modélisation

Description de la mesure principale	Dimension obtenue par balayage laser (lectures estivales)	Dimensions correspondantes provenant des dessins d'ateliers et modélisation DAO
Portée centrale: Axe 1E à l'axe 1W	215 436 mm (amont) 215 405 mm (aval)	215 419 mm
Centre-ligne ferme amont à la ferme aval	26 518 mm (à 1E) 26 518 mm (à 1W)	26 518 mm
Poteau principal : corde supérieure à inférieure	30 898 mm (à 1E amont) 30 919 mm (à 1W amont)	30 937 mm

6.2 Résultats pour la zone à haute résolution

La *Figure 11a* présente le nuage de points générés pour l'assemblage complexe du nœud localisé à la base du poteau principal situé à la pile 1E. La *Figure 11b* présente un dessin 3D représentatif du même détail élaboré à partir des dessins d'ateliers historiques produits par la Dominion Bridge Company. Aussi, les données fournies au *Tableau 3* permettent de comparer directement quelques dimensions principales obtenues à partir de ces deux sources d'informations. Ce tableau permet de constater que les dimensions obtenues des deux sources sont tout à fait comparables en dépit du fait que les mesures acquises par le processus du balayage laser ont été prises d'une distance de plus de 107 mètres.

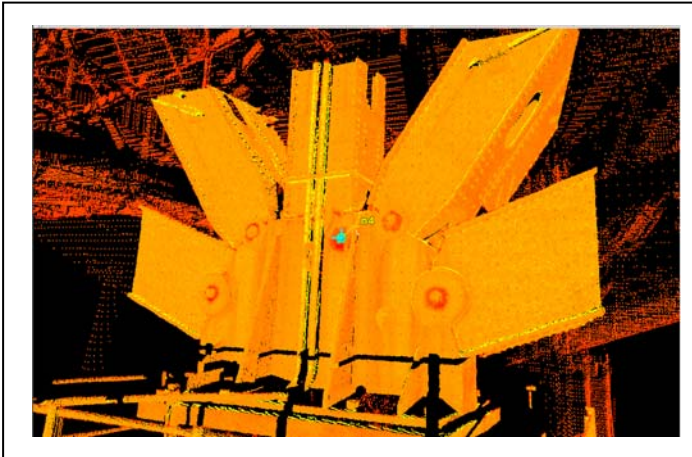


Figure 11a – Nuage de points pour la zone numérisée à haute résolution

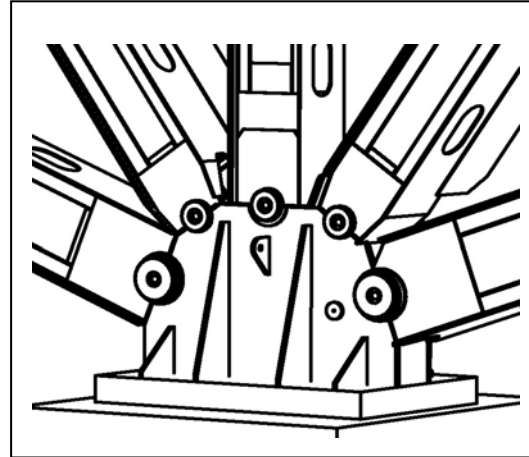


Figure 11b – Détail de l'assemblage par DAO

Tableau 3 – Comparaison des résultats pour la zone auscultée à haute résolution

Description de la mesure	Dimension obtenue par balayage laser (lectures estivales)	Dimensions correspondantes provenant des dessins d'ateliers et modélisation par DAO
• Largeur (hors tout) de la plaque de gousset	2 901 mm	2 896 mm
• Hauteur (hors tout) de la plaque de gousset	1 779 mm	1 780 mm
• Diamètre du plus gros capuchon	453 mm	451 mm

6.3 Dilatations thermiques globales

Les calculs théoriques indiquent que la dilatation thermique globale qui doit se produire au joint de dilatation à l'axe L17E pour un écart de température uniforme de 40°C, en supposant des appareils d'appuis mobiles sans friction, est de 101 mm (c.-à-d. 40°C x 11.7E-06 x 215 420 mm). Les dilatations relevées au joint de l'axe L17E, calculées à partir des mesures des distances horizontales entre les cibles S7 à S8 et N7 à N8, qui chevauchent le joint de dilatation en question, sont fournies au *Tableau 4*.

Tableau 4 – Dilatations thermiques globales

Emplacement des cibles	Distance entre les cibles	Dilatation thermique
Côté amont (sud) Cibles S7 à S8	6231 mm (été) 6324 mm (hiver)	93 mm
Côté aval (nord) Cibles N7 à N8	11465 mm (été) 11531 mm (hiver)	67 mm
Moyenne	-----	80 mm
Théorique (+ 25° C à -15° C)		101 mm

7. Autres applications potentielles

Parmi différentes applications potentielles de la technologie de balayage laser 3D pour la gestion, l'inspection et le suivi des ponts, il convient de mentionner les applications suivantes :

- Confection des dessins 2D ou 3D d'un ouvrage existant via le traçage des contours des pièces directement à partir des images provenant des nuages de points. Un avantage important de cette technologie pour documenter un ouvrage réside dans le fait que cette méthode de levés élimine ou réduit considérablement les risques associés aux relevés sur place nécessitant un « doigt sur la pièce ».
- La vérification ou la préparation de dessins d'ateliers pour effectuer des réparations de l'acier lorsque l'accès au site est extrêmement difficile.
- L'établissement d'une image tridimensionnelle de référence pouvant servir comme point de repère permettant de confirmer tout changement géométrique suite à une sollicitation exceptionnelle comme un séisme, un incendie ou l'impact d'un navire ou d'un camion.
- La réalisation de relevés bathymétriques visant des ouvrages submergés.
- La création de cartes géomatiques permettant à des utilisateurs d'un système de recherche informatisé d'afficher en tout temps et de saisir sur le vol des images et des données facilement interprétables portant sur l'emplacement spatial d'un pont, d'un élément d'un pont ou d'un autre type d'ouvrage, notamment quant à ses dimensions, les difficultés et/ou les moyens à prévoir pour accéder à l'ouvrage et les caractéristiques du terrain avoisinant. Par ailleurs, ce type d'information pourrait être utile pour procéder à des visites virtuelles d'un ouvrage dans le cadre de la préparation des dessins et devis ou dans le cadre d'un appel d'offres (pour visiter les lieux) lorsqu'il est très difficile sinon impossible d'avoir un accès physique autrement.

8. Conclusions

L'application et l'efficacité de la technologie d'auscultation par balayage laser tridimensionnel comme outil pratique pour la télédétection, la modélisation et le suivi de grands ponts en acier qui sont difficilement accessibles comme le pont Champlain ont été étudiées dans le cadre d'un projet pilote et, tels que décrits dans cette communication, les résultats se sont avérés concluants. La précision des équipements et la méthodologie de travail retenues pour faire l'acquisition des données et pour traiter l'information dans le cadre de cette application particulière a produit des levés suffisamment précis pouvant être répétés avec le temps de façon à permettre de déceler les changements géométriques de l'ouvrage occasionnés par des variations thermiques.

Des comparaisons effectuées entre un modèle 3D développé en utilisant des dessins d'ateliers existants aux modèles 3D construits entièrement au moyen d'un balayage laser indiquent que les résultats sont comparables dans les deux cas. De plus, il a été démontré de quelle façon les informations obtenues à partir d'un balayage laser 3D sont riches en contenu et de quelle manière

cette information peut être utile pour documenter la configuration réelle d'un pont incluant ces composantes accessoires.

9. Références

1. WUNDERLICH, THOMAS, "Operational and Economic Prospects of Terrestrial Laser Scanning", Proceeding. of the 5th International Conference on Optical 3D Measurement Techniques, pp. 18-25, Vienna, 2001.
2. Cyrax 2500, Product Specifications, Cyra Technologies Inc., Leica Geosystems.
3. SANTALA, JAAKKO AND JOALA, VAHUR, "On the Calibration of a Ground-Based Laser Scanner", TS12 Standards, FIG Working Week 2003, pp. 1-7, Paris, 2003.
4. TUCKER, CHRIS, "Testing and Verification of the Accuracy of 3D Laser Scanning Data", Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa, 2002.
5. LEMMENS, MATHIAS J.P.M., AND VAN DEN HEUVEL, FRANK, "3D Close-Range Laser Mapping Systems", GIM International – Feature, pp. 30-33, January 2001.
6. JASELSKIS, EDWARD J. ET AL., "Pilot Study Improving Efficiency of Transportation Projects Using Laser Scanning", MTC Project 2002-03, U.S. Department of Transportation and Iowa Department of Transportation, pp. 1-80, Washington DC, 2003.