

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES ET
TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE
CIVIL



DOMAINE : SCIENCES
ET TECHNIQUES
FILIERE : Génie Civil
OPTION : Structures

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : SEBAI AHLAM

BENRAYA MAROUA

Intitulé

**L'inspection et le contrôle de la construction
avec les outils de la digitalisation**

Soutenu devant le jury composé de

Dr. BOULAOUAD Abderachid	Université de M'sila	Président
Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine	Université de M'sila	Encadreur
Dr. KERMICHE Abdellatif Fawzi	Université de M'sila	Co-Encadreur
Dr. MENASRI Youcef	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2022 /2023



TABLE DES MATIERES

- Remerciement
- Liste des abréviations
- Glossaire
- Liste des figures
- Liste des tableaux
- Résumé
- Introduction générale

CHAPITRE I

Recherche bibliographique sur le contrôle et l'inspection des ouvrages

I	Introduction .	1
---	----------------	---

Partie I : suivi des ouvrages

I.1	Définition du suivi de chantier.....	2
I.2	les Objectifs du contrôle et suivi d'un chantier.....	2
I.3	Les outils utilisés.....	2
I.4	Suivi de chantier : différents points à observer.....	3
I.5	Les étapes principales du suivi de chantier.....	3

Partie II : contrôle des ouvrages

II.1	Inspections et tests.....	6
II.2	L'objectif de l'inspection détaillée.....	6
II.3	Objectif d'une inspection détaillée périodique	7
II.4	Matériel d'inspection et moyens techniques de relevé.	8
II.5	Exhaustivité et qualité du rapport d'inspection.	9

Partie III : Maintenance des ouvrages

III.1	Maintenance des ouvrages.....	10
III.1.1	La surveillance.....	10
III.1.2	Contrôle qualité et assurance qualité.....	10
III.1.3	Organisation possible de la surveillance.....	11
III.1.3.1	Découpage de la surveillance.....	11
III.1.3.2	Réparation des inspections dans le temps.....	11
	→ Conclusion.....	12

CHAPITRE II

Recherche bibliographique sur le scanner 3D et son utilisation dans le contrôle et l'inspection des structures

II.1	Introduction.....	13
II.2	Les principes de la méthode de relevé par scanner laser 3D	14
II.3	Définition scanné 3D.....	14
II.4	Historique.....	15
II.5	Les principaux avantages du balayage laser.....	17
II.6	Répondre aux besoins des professionnels du BTP avec la numérisation 3D.....	19
II.7	Scanners laser stationnaires Leica 3D.....	20
II.7.1	Leica BLK360	20
II.7.2	Laser RTC 360.....	21
II.7.3	Leica série P.....	22
II.8	Procédure de la capture	23
II.9	Les avantages du scanner BLK360 pour les acteurs du BTP	25
	→ Conclusion.....	25

CHAPITRE III

Les avantages et les inconvénients de l'utilisation de cette technologie dans le domaine du contrôle et inspection

III.1	Introduction	26
III.2	les 10 principaux avantages de la numérisation laser 3D.....	27
III.3	Les inconvénients	29
III.4	Les limites de la numérisation laser 3D dans la construction.....	29
	→ Conclusion.	29

CHAPITRE IV

Etude de cas (Ouvrage d'art - Bâtiment - Tunnel)

Partie I : Ouvrage d'art (Pont de Oued el Harrach)

I.1	Introduction.	30
I.2	Généralités sur des Ouvrage d'art.....	30
I.2.1	Définition des Ouvrage d'art.	30
I.2.2	Surveillance et entretien des ouvrages d'art.	31
I.2.2.1	Ouvrages concernés.	31

I.2.2.2	Visites de routine.	31
I.2.2.3	Visites annuelles.	31
I.2.2.4	Inspection détaillée.	32

Partie II : Bâtiment (Stade Omar Hamadi)

II.1	Introduction.	36
II.2	Principales causes de défaillance et d'effondrement des bâtiments de construction.....	37
II.3	Facteurs climatiques entraînant des déformations des bâtiments.....	37
II.3.1	Mouvement d'humidité.....	37
II.3.2	Mouvement thermique.....	38
II.3.3	Enrouler autour des bâtiments.....	38
II.3.4	L'impact des arbres plantés autour du bâtiment.....	38

Partie III : Tunnel (Tunnel Chevalley)

III.1	Introduction	45
III.2	Généralités sur les tunnels	45
III.2.1	Définition et description	45
III.2.2	Spécificités des tunnels routiers.....	46
III.2.3	Les différents éléments constitutifs d'un tube.....	47
III.2.3.1	Les têtes	47
III.2.3.2	Ouvrages connexes.....	48
III.2.3.3	La section courante.....	49
III.2.4	Concepts de base dans la conception de tunnel.	50

(Tunnel Sidi Aich de Béjaïa)

IV.1	Présentation générale.....	56
IV.2	Fiche technique du projet	57
	↪ Conclusion	74
	↪ Conclusion général	75
	↪ Référence.....	76



شكر و تقدير

الحمد لله وكفى والصلاة على الحبيب المصطفى صلى الله عليه وسلم ومن وفى.
اهدي ثمرة جهدي إلى من وضع المولى - سبحانه وتعالى - الجنة تحت قدميها، ووقَّرها في كتابه العزيز
(أمي الحبيبة).

و إلى من كان خير مثال لرب الأسرة والذي لم يتهاون يوم في توفير سبيل الخير والسعادة لنا
(أبي الغالي).

و إلى أختي سميرة وزوجها أحميدة وسمية ومحمد ويوسف فلقد كانوا بمثابة السند في سبيل استكمال
مشواري الدراسي.

ولا ينبغي أن أنسى أستاذي زين العابدين رحموني والأستاذ كريمش عبد اللطيف
فوزي الذي كان لهم الدور الأكبر في مُساندتي وكذا جميع اساتذتي الكرام.

الى شريكتي وصديقتي (مروى)

أشرك على صبرك وجميع جهودك، كنت بالنسبة لي الشريك المثالي وأنا

لا يمكنني التعبير عن الدافع والمزاج الجيد الذي شعرت فيه بالعمل معك.

إلى أصدقائي الذين درسن معهم في مشواري الدراسي التي شاركت معهم كل اللحظات
والى روح اخي وصديقي قذيفة محمد رحمه الله والى اقاربي الذين أُجَّلتهم وأحترمهم..

ولا انسى بالشكر مصيلة أوقنون التي وقفت بجواري وساعدتني في البحث .

داعية المولى - عزَّ وجلَّ - أن يُطيل في أعماركم، ويرزقكم بالخيرات.

أحلام سباعي





شكر و تقدير

الحمد لله الذي بفضلته تتم الصالحات الحمد لله حمدا كثيرا يلصق بجلاله وكرمه على عبده الحمد لله على تحقيق ما كان بالأمس حلم كله بفضل الله و الى الله وأخيراً رفعت القبعة احتراماً لسنين مضت من الدراسة وقد ابتدأ الوداع مع كل ابتسامه مع كل لقطة أخذت بدء الوداع الف مبروك لكل المتخرجين

الى سندي في الحياة الذي عمل ساعيا لإنارة دربي نحو تحقيق النجاح.

الى ابي الغالي الى بؤرة النور التي عبرت بي نحو الامل الى عطر الخلود أجمل شيء في الوجود.

الى انيسة دربي حبيبتي امي الى اخوتي رمز قوتي وسندي الذي لا يميل.

الى صديقتي و حبيبتي احلام التي ساندتني في العمل مهما فعلت لن اوفي لكي نصف او جزء من الذي قدمته لي لا اصف لك مدى فرحتي و فخري بكي ادعو لها دمت ليا رفيقة الدرب.

ولا يمكن أن أنسى أستاذي زين العابدين رحموني وكرميش عبد اللطيف فوزي الكرام الذين كان لهم الفضل الكبير والدور الأول في مساندتي وتوضيح لي العديد من المعلومات الهامة والقيمة.

أود أيضاً أن أشكر مصيلة اقنون ممن كان لها الدور الأكبر في مساندتي ومدى بالمعلومات القيمة

بن رية مروى



Liste des abréviations

BIM : Building Information Modeling (ou Bâtiment et Informations Modélisés) .

2D : Deux dimensions (X, Y) .

3D : Trois dimensions (X, Y, Z) .

3DR : 3D Reshaper.

GPS : Global Positioning System (système mondial de positionnement) .

BTP : Bâtiment et travaux publics .

CAD : Conception Assistée par Ordinateur (CAO). La CAO (ou CAD en anglais) .

Glossaire

Leica Geosystems : est une entreprise suisse qui conçoit, fabrique et commercialise des appareils de topographie et géodésie, tels que des GPS, stations totales, niveaux optique, scanner 3D....

Scanner 3D : Appareil d'acquisition et de numérisation 3D. Cet appareil permet de générer des milliers de points par seconde et ainsi d'obtenir un nuage de points sur 360 degrés.

BIM : Outil numérique comprenant à la fois une représentation graphique du bâtiment et une base de données liée au bâtiment. Nous noterons que la « Maquette Numérique » est également désignée par le terme BIM.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Organigramme standard de chantier.....	5
Figure I.2 : Découpage de la surveillance	11
Figure II.1 : Répondre aux besoins des professionnels du BTP avec la numérisation 3D.....	19
Figure II.2 : Le Leica BLK360.....	20
Figure II.3 : Le scanner 3D Laser RTC 360.....	21
Figure II.4 : Leica série P.....	22
Figure II.5 : Système d'alignement des scans.....	24
Figure IV.1 : Oued el Harrach.....	32
Figure IV.2 : Nuage de points du Oued el Harrach.....	33
Figure IV.3 : Nuage de points du Oued el Harrach 2.....	34
Figure IV.4 : Nuage de points du Oued el Harrach d'en haut.....	34
Figure IV.5 : Nuage de points du Oued el Harrach d'en bas.....	35
Figure IV.6 : Nuage de points du Oued el Harrach d'en bas 2.....	35
Figure IV.7 : Stade Omar Hamadi.....	36
Figure IV.8 : Amphithéâtre du stade Omar Hamadi.....	39
Figure IV.9 : Nuage de points du Amphithéâtre du stade Omar Hamadi.....	40
Figure IV.10 : Couleur selon l'axe Z à Amphithéâtre du stade Omar Hamadi...	40
Figure IV.11 : plafond chambre de tangage Omar Hamadi.....	41
Figure IV.12 : Nuage de points de plafond chambre de tangage.....	41
Figure IV.13 : Couleur selon l'axe Z d'un salle du toit stade.....	42
Figure IV.14 : Dimensions du plafond de la salle stade Omar Hamadi	42
Figure IV.15 : Dimension du stade Omar Hamadi.....	43
Figure IV.16 : Nuage de points du stade Omar Hamadi.....	43
Figure IV.17 : Nuage de points du escalier stade Omar Hamadi.....	44

Figure IV.18 : vue éclatée de la composition d'un ouvrage	46
Figure IV.19 : Tête « naturelle ».....	47
Figure IV.20 : « Fausse » tête.....	47
Figure IV.21 : SYSTÈMES DE VENTILATION	48
Figure IV.22 : tunnel non revêtu.....	49
Figure IV.23 : L'effet de voûte	51
Figure IV.24 : Tunnel Chevalley.....	52
Figure IV.25 : Création d'un maillage 3D final du tunnel Chevalley.....	53
Figure IV.26 : Couleur selon l'axe Z Tunnel Chevalley.....	53
Figure IV.27 : Point nuageux avec plafond tunnel.....	54
Figure IV.28 : Un nuage de points pour le toit des deux façades de tunnel de l'intérieur.....	54
Figure IV.29 : Nuage de points à l'intérieur du tunnel.....	55
Figure IV.30 : Couleur selon l'axe Z à l'intérieur du tunnel	55
Figure IV.31 : Pénétrante autoroutière P16 de l'autoroute A1 entre Bejaia et Ahnif.....	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Synoptique de déroulement d'une inspection détaillée.....	7
Tableau II.1 : Caractéristiques Leica BLK360	20
Tableau II.2 : Caractéristiques Laser RTC 360.....	21
Tableau II.3 : Caractéristiques Leica série P.....	22
Tableau IV.1. Différence entre la conception d'ouvrage en souterrain et en surface.....	50
Tableau IV.2 : Division des sections.....	75

Résumé

La recherche présente les aspects pratiques de la surveillance et de l'inspection du site par balayage laser au sol.

La surveillance des sites est un aspect important pour assurer leur bon fonctionnement.

L'objectif principal étant d'améliorer le coût et le temps et la qualité du travail pour chaque collaborateur en appuyant sur des outils numériques. Le sujet proposé montre en détail la suite d'opération, Le scanner laser 3D est une nouvelle génération de capteur topographique permettant d'enregistrer plusieurs millions de points en 3D, en quelques minutes il acquiert donc des données extrêmement détaillées sur tout ce qui est visible depuis la tête du scanner. Pour les volumes sur de grandes surfaces non végétalisées, un scanner est extrêmement productif et efficace.

Les mots clés : Surveillance de site, Scanner laser 3D, Outils numériques.

ملخص

يعرض البحث الجوانب العملية لرصد الموقع وتفتيشه عن طريق المسح بالليزر الأرضي ويشكل رصد المواقع جانبا هاما لضمان حسن أدائها.

الهدف الرئيسي هو تحسين تكلفة ووقت ونوعية العمل لكل موظف باستخدام الأدوات الرقمية. يُظهر الموضوع المقترح بالتفصيل تسلسل التشغيل، المسح الضوئي بالليزر ثلاثي الأبعاد هو جيل جديد من المستشعر الطبوغرافي يسمح بتسجيل عدة ملايين من النقاط ثلاثية الأبعاد، وفي بضع دقائق يحصل على بيانات مفصلة للغاية عن كل ما هو مرئي من رأس المسح. بالنسبة لأحجام المساحات الكبيرة غير النباتية، فإن المسح الضوئي منتجا فعالا للغاية.

الكلمات المفتاحية : مراقبة الموقع ، مسح الليزر ثلاثي الأبعاد ، الأدوات الرقمية.

Abstract

The paper presents the practical aspects of sites monitoring using terrestrial laser scanning.

Sites Monitoring is an important aspect in ensuring their proper functioning.

The main objective being to improve the cost and the time and the quality of work for each employee by using digital tools. The proposed subject shows in detail the next step, The 3D laser scanner is a new generation of topographic sensor making it possible to record several million points in 3D, In a few minutes it acquires extremely detailed data on everything that is visible from the head of the scanner. For volumes on large areas not vegetated, a scanner is extremely productive and efficient.

Keywords: Site monitoring, 3D laser scanner, digital tools.

Introduction générale

L'émergence de nouvelles technologies a contribué de manière significative à réduire le temps de conception et de production, et l'approche d'enquête tridimensionnelle est pleinement alignée sur ce développement, tant en termes de technologie que de besoins.

Si vous travaillez dans l'industrie de la construction, vous avez probablement rencontré le terme laser 3D à un moment donné.

Ou vous avez peut-être remarqué que vos partenaires de construction utilisent un scanner laser 3D sur site Saisir de plus en plus la réalité pour modéliser avec précision les conditions actuelles du projet, les entrepreneurs utilisent la réalité pour suivre les travaux sur les chantiers de construction.

L'objectif principal de ce projet est d'appliquer la modélisation de l'information sur les bâtiments à un exemple de réalité quand nous allons surveiller la technologie et Suivi des sites En utilisant un scanner laser au sol.

Cette recherche comporte quatre chapitres :

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le contrôle et l'inspection des ouvrages.

Ce chapitre comporte trois parties :

Partie I : suivi des ouvrages

Partie II : contrôle des ouvrages

Partie III : Maintenance des ouvrages

CHAPITRE II : Recherche bibliographique sur le scanner 3D et son utilisation dans le contrôle et l'inspection des structures.

CHAPITRE III : Les avantages et les inconvénients de l'utilisation de cette technologie dans le domaine du contrôle et inspection.

CHAPITRE IV : Etude de cas (Tunnel – Bâtiment – Ouvrage d'art) .

Ce chapitre contient quatre études :

première étude: Ouvrage d'art (Pont de Oued el Harrach)

deuxième étude : Bâtiment (Stade Omar Hamadi).

Troisième étude : Tunnel (Tunnel Chevalley)

dernière étude : (Tunnel Sidi Aich de Béjaïa)

CHAPITRE I

Recherche bibliographique sur le contrôle et l'inspection des ouvrages

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur le contrôle et l'inspection des ouvrages

I Introduction :

Un projet de construction nécessite une organisation, un suivi et un contrôle du chantier rigoureux, afin de respecter les délais et l'enveloppe financière fixée d'être approvisionnés au moment, etc. Le maître d'œuvre que doivent s'assurer que l'entreprise respecte le projet dans les conditions du marché. Ils doivent également contrôler que les travaux respectent la réglementation, notamment en matière de respect des normes de construction mais aussi de conditions de travail, d'environnement, de sécurité, de qualité d'exécution.

Partie I : suivi des ouvrages

I.1 Définition du suivi de chantier :

Le suivi de chantier est essentiel lors de gros travaux, d'un agrandissement ou d'une construction neuve. Réalisé par un conducteur de travaux, un maître d'œuvre ou un architecte, il offre des garanties incontournables au propriétaire. Le professionnel accompagne, conseille, gère les entreprises du BTP et tente de réduire les délais de réalisation.

I.2 Les Objectifs du contrôle et suivi d'un chantier :

- Donner les repères nécessaires au bon suivi du chantier, tels que : contrôle qualité, assurance qualité, planning, réunion de chantier et réception.
- Eviter les conflits liés à la méconnaissance des responsabilités de chaque intervenant.
- Limiter les aléas de chantier : perte de temps, modifications, reprise d'ouvrages, malfaçons et retards.

I.3 Les outils utilisés :

- Appareille topographique (appareil de mesure).
- Vibreur.
- Ecrasement.
- Ultrasonique.
- Mètre (pour mesuré et vérification distances).
- Scléromètre.

I.4 Suivi de chantier : différents points à observer :

Pour la bonne marche de gros travaux, il est impératif de prévoir et surveiller les points suivants :

- ✓ Établir un planning des travaux et le faire respecter.
- ✓ Fixer les horaires d'intervention du maître d'ouvrage.
- ✓ Prévoir un lieu où stocker le matériel.
- ✓ Prévoir un lieu où les ouvriers pourront stationner.

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur le contrôle et l'inspection des ouvrages

Bien entendu, le maître d'ouvrage se doit d'être régulièrement présent sur le chantier pendant les horaires de travail des ouvriers. C'est indispensable pour veiller au bon déroulement des travaux ; au respect des règles établies préalablement.

I.5 Les étapes principales du suivi de chantier :

La préparation :

Elle consiste à définir tout ce qu'il va falloir faire sur le chantier :

- **Les moyens en hommes** : quelles équipes, quelles qualifications, combien de personnes, pendant combien de temps...
- **Les moyens en matériel** : combien d'engins, de quels types, comment concevoir leur implantation sur le chantier le cas échéant, les parties confiées à des sous-traitants.
- **Le planning** : qui intervient à quel moment, et comment les différentes tâches s'organisent les unes par rapport aux autres.

La mobilisation, l'installation :

Il s'agit de constituer les équipes, et de nommer les responsables et les collaborateurs. Derrière les titres, des noms. Chacun va prendre sa mission. Parallèlement, sont implantés les matériels, les équipements sanitaires et de sécurité ... sans oublier le coin café.

La phase de travaux :

Le chantier va être découpé en phases. Les phases sont très différentes d'un ouvrage à l'autre.

- S'il s'agit d'un pont, l'équipe va commencer par les ancrages sur les deux rives, puis implanter les pylônes, puis le tablier du pont...
- S'il s'agit d'une route, l'équipe va commencer par le terrassement, puis construire les fondations,
- Déposer la couche de revêtement, réaliser les ouvrages annexes...
- Il faut beaucoup d'organisation faire ce que l'on a prévu de faire, quand on a prévu de le faire, que chacun sache bien ce qu'il doit faire.
- Il faut en même temps d'une grande souplesse face aux imprévus :
 - Le sol, la nature.
 - La météo.

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur le contrôle et l'inspection des ouvrages

○ L'histoire.

✚ La fin du chantier :

En termes de métier, cela s'appelle la réception de l'ouvrage.

- Pour que l'ouvrage puisse être considéré comme terminé, il faut que le Maître d'ouvrage en « prenne réception », c'est-à-dire qu'il juge le travail conforme au contrat.
- La réception va être précédée par une inspection très détaillée.
- Le Maître d'ouvrage est susceptible de formuler des « réserves », et de demander à l'entreprise de Travaux Publics de parfaire son ouvrage.
- La réception définitive a lieu lorsque les réserves sont levées.
- Les équipes quittent alors le chantier.

✚ Organigramme standard de chantier :

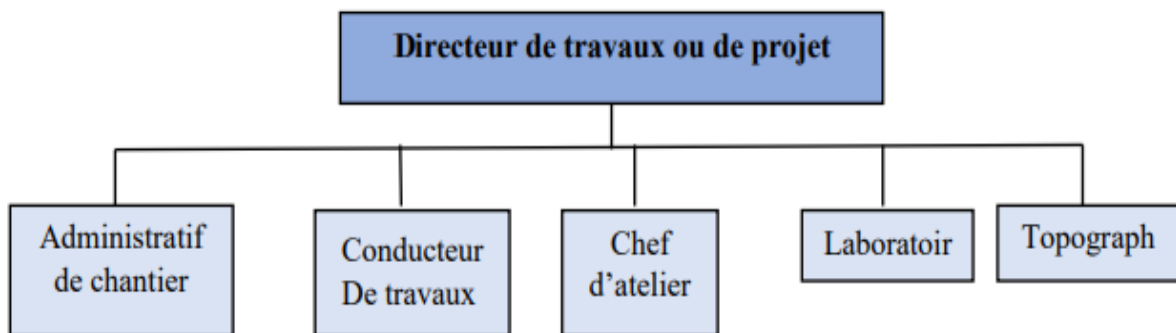


Figure I.1 : Organigramme standard de chantier [1].

✚ Personnes concernées :

- Maîtres d'ouvrages, Chargés d'opérations, Conducteurs de travaux, assistants et toute personne en charge du suivi d'une opération de construction ou de réhabilitation.
- Techniciens de maintenance.
- Architecte.
- Sous-traitants et Tâcherons.
- Les sous-traitants sont suivis par le biais de leur contrat. Contrairement aux sous-traitants qui possèdent d'ores et déjà une structure

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur le contrôle et l'inspection des ouvrages

d'entreprise permettant les procédures de facturation, les tâcherons doivent faire l'objet d'un suivi comptable rapproché.

Partie II : contrôle des ouvrages

II.1 Inspections et tests :

Certains éléments du projet tels que la solidité du béton, la compacité du sol, etc. sont généralement testés par des organisations externes. Les inspections accompagnant ces tests sont généralement menées au cours de l'exécution des travaux pendant lesquels la qualité des produits est constatée et rapportée immédiatement avec la progression à la suite des inspections. Outre l'entrepreneur ou le chef de projet, la qualité de certains éléments du projet est inspectée et déterminée par l'architecte ou des consultants externes au cours des visites de chantier programmées.

Pour ces produits sur le chantier qui ne passent pas l'inspection initiale et les tests de qualité, l'architecte ou le chef de projet crée une punch list d'éléments devant être corrigés ou refaits afin de satisfaire aux spécifications du projet et normes de qualité définis [2].

II.2 L'objectif de l'inspection détaillée :

L'inspection détaillée constitue un bilan de santé de l'ouvrage. À ce titre, lors des interventions sur site, elle comprend :

- ✓ L'examen visuel dit « au contact » de toutes les parties d'ouvrage.
- ✓ La caractérisation, au moyen de contrôles et de mesures simples, des observations : type, caractéristiques, étendue et localisation.
- ✓ Le report systématique des observations sur les documents supports préparés à l'étape 1 avec la prise de photographies permettant de visualiser l'ensemble de l'ouvrage et les observations réalisées.

II.3 Objectif d'une inspection détaillée périodique :

Une inspection détaillée périodique doit :

- ✓ Donner un avis argumenté sur l'état de l'ouvrage et son évolution probable, à partir du relevé et de l'analyse des dégradations visibles, de

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur le contrôle et l'inspection des ouvrages

l'examen du dossier de l'ouvrage et, le cas échéant, de l'analyse des actions de surveillance métrologique, d'auscultations ou de contrôles non destructifs.

- ✓ Proposer les actions à entreprendre pour garantir la sécurité des usagers et maintenir le niveau de service de l'ouvrage.

ETAPE 1	PREPARATION
	<ul style="list-style-type: none">→ Préparation technique.→ Préparation organisationnelle.→ Préparation sécurité.
ETAPE 2	INTRVENTION SUR SITE
	<ul style="list-style-type: none">→ Examen de la structure, des équipements et de la zone d'influence de l'ouvrage.→ Relevé exhaustif et caractérisation des anomalies.
ETAPE 3	ANALYSE ET MISE EN FORME DES DONNEES
	<ul style="list-style-type: none">→ Rédaction du rapport d'inspection.→ Restitution et remise du rapport.

Tableau I.1 : Synoptique de déroulement d'une inspection détaillée [3].

II.4 Matériel d'inspection et moyens techniques de relevé :

Le matériel et les moyens techniques doivent permettre à l'équipe d'inspection d'observer, de caractériser et de relever sur support durable les observations, anomalies et défauts constatés lors de l'inspection détaillée.

- **Liste-type de matériel courant d'inspection :**

Liste non exhaustive ajustable aux caractéristiques particulières des ouvrages :

- ✓ Mètre ruban, décimètre, pied à coulisse.
- ✓ Appareil photo numérique avec flash.
- ✓ Jumelles, loupe, rétroviseur, lampe de poche.
- ✓ Fissuromètre.
- ✓ Marteau, burin, brosse métallique, grattoir.
- ✓ Jauge de profondeur (cordon d'angle) .

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur le contrôle et l'inspection des ouvrages

- ✓ Peinture en bombe, craie ou feutre indélébile.
- ✓ Fil à plomb, niveau de maçon, niveau à bulle.
- ✓ Sachet de prélèvement ou pilulier.
- ✓ Échelle d'enrouillement.
- ✓ Planchette de relevé, papier, crayon, gomme.
- ✓ Thermomètre / hygromètre.
- ✓ Éventuellement : matériel de mesure particulier (extensomètre).

Pour une liste complète des types d'inspections de contrôle qualité, vous pouvez consulter le manuel des normes applicables à l'immeuble type. Avec vos inspections QC, les plannings des inspections doivent être définis, ainsi que les inspections de pré-couverture et de préclôture. Ces inspections doivent toutes être accompagnées de la documentation appropriée incluant rapports écrits et photos et documents en pièces jointes.

II.5 Exhaustivité et qualité du rapport d'inspection :

- ✓ Pour les ouvrages en béton précontraint, si les données sont disponibles dans le dossier d'ouvrage et dans le cas de défauts liés à des anomalies de la précontrainte, il est pertinent de superposer les défauts relevés au tracé des câbles.
- ✓ Pour les parties d'ouvrage en béton précontraint, toutes les fissures d'ouverture supérieure à 1/10 mm doivent être répertoriées de manière individuelle.
- ✓ Pour les ouvrages en béton armé, seules les fissures supérieures à 3/10 mm le seront. Si l'ouvrage est très fissuré, avec de nombreuses fissures supérieures à ces échelles, on reportera en priorité les fissures les plus importantes.
- ✓ Pour les parties en béton, si les défauts observés sont un faïençage dû à une réaction de gonflement interne avérée, les dimensions des zones dégradées seront relevées sans détail de la fissuration, sauf sur trois zones témoins de dimensions 20 x 20 cm.
- ✓ Les épaufrures de béton avec aciers apparents de surface supérieure à 10 cm² devront être reportées sur les relevés graphiques.

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur le contrôle et l'inspection des ouvrages

- ✓ Si la surface des épaufrures est supérieure à environ 100 cm², des précisions sur leur étendue, leur profondeur et sur l'état des aciers apparents seront fournies.
- ✓ Pour les structures métalliques, toute fissure doit être relevée et caractérisée (localisation, longueur, ouverture).
- ✓ Chaque partie d'ouvrage devra faire l'objet d'une photo générale.
- ✓ Au cas où le maître d'ouvrage souhaite une cotation IQOA de son ouvrage, tout défaut côté 2E, 3 ou 3U fera l'objet d'une photo et d'un commentaire justifiant ce classement.
- ✓ A titre indicatif, le rapport contiendra un nombre minimal de 15 à 30 photographies selon les dimensions et l'état de l'ouvrage.
- ✓ Sous réserve que l'entreprise dispose d'un rapport d'inspection détaillée antérieur exploitable, les évolutions constatées sont clairement signalées sur les relevés de défauts, par exemple par un jeu de couleur spécifique.
- ✓ Toutes les photos et schémas sont référencés et localisés.
- ✓ Les rapports seront écrits en français et devront être exempts de fautes d'orthographe et de syntaxe.

Partie 03 : Maintenance des ouvrages

III.1 Maintenance des ouvrages :

La maintenance se répartit en deux champs d'action :

- **La surveillance** : c'est la procédure de contrôle et d'évaluation de l'état de l'ouvrage.
- **L'entretien** : ce sont les travaux effectués à titre préventif, ou pour supprimer les désordres constatés.

III.1.1 La surveillance :

La surveillance a pour but de déceler à temps les défauts ou les modifications dans l'ouvrage ou dans son environnement pouvant provoquer des dommages.

En général, la surveillance met en évidence les désordres suivants :

- ✓ Diminution des sections.
- ✓ Corrosion et rupture des armatures.
- ✓ Fissuration.
- ✓ Déformation de la structure.

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur le contrôle et l'inspection des ouvrages

- ✓ Déplacement des fondations.
- ✓ Mauvais fonctionnement des équipements.

III.1.2 Contrôle qualité et assurance qualité :

La qualité de votre projet de construction est assurée par votre programme de gestion de la qualité qui inclut un processus de contrôle qualité (QC) et d'assurance qualité (QA). Le contrôle qualité consiste à gérer et à assurer que les exigences de la qualité du projet sont respectées d'après les spécifications, tandis que l'assurance qualité consiste à définir le processus et les mesures nécessaires à prendre pour garantir que ces exigences en matière de qualité sont respectées. Avoir des processus d'inspection rigoureux dans votre programme de gestion QC/QA est essentiel pour une bonne réalisation de votre projet. D'autre part, votre système d'inspection QC/QA rigide fournit des directives pour gérer la qualité du travail de vos sous-traitants.

III.1.3 Organisation possible de la surveillance :

III.1.3.1 Découpage de la surveillance :

Il est souhaitable de créer des services techniques qui auraient à charge d'effectuer périodiquement un contrôle complet et détaillé non seulement des zones supposées altérées, mais de la totalité de l'ouvrage.

Ce contrôle s'exerce au moyen d'inspection.

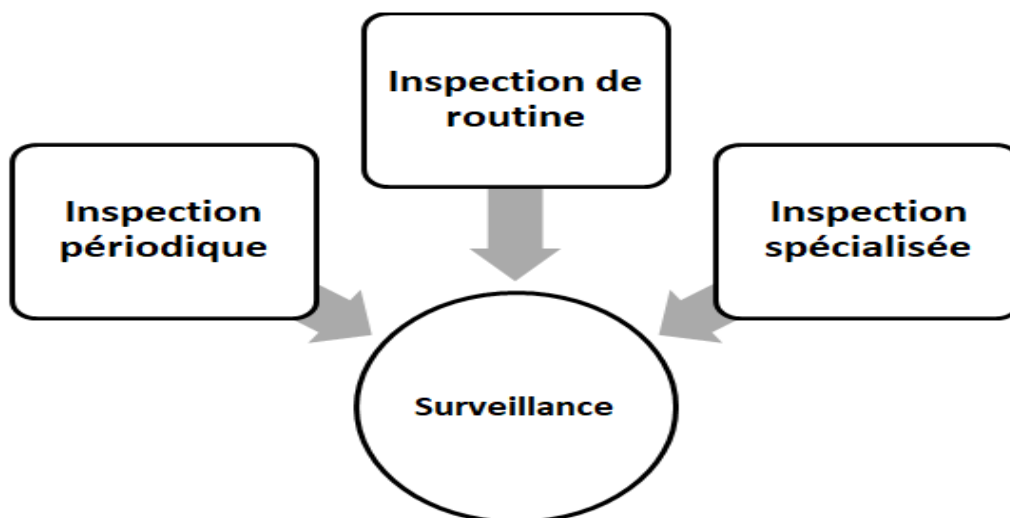


Figure I.2 : Découpage de la surveillance.

III.1.3.2 Réparation des inspections dans le temps :

L'intervalle de temps qui conditionne l'intervention pour les différentes inspections dépend d'un nombre considérable de facteurs, nous citerons :

✚ La situation de l'ouvrage :

- ✓ Type et importance.
- ✓ Conditions de changement.
- ✓ Gravité des conséquences en cas de ruine.
- ✓ Présence d'environnement agressif (accélération de la vitesse de dégradation de l'ouvrage).
- ✓ Classification historique de l'ouvrage.

✚ Classification de la structure :

La structure est divisée en trois classes :

Classe 1 : la ruine peut engendrer des conséquences catastrophiques et le fonctionnement de l'ouvrage est vital pour la communauté.

Classe 2 : la ruine de la structure peut engendrer des pertes humaines et l'utilité de l'ouvrage est importante.

Classe 3 : les conséquences de la ruine ne sont pas graves et la mise hors état de service de l'ouvrage est admise [4].

✚ Conditions d'environnement et de chargement :

Les conditions d'environnement et de chargement se définissent comme suit :

- ✓ Très sévères.
- ✓ Sévères.
- ✓ Normal.

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur le contrôle et l'inspection des ouvrages

→ **Conclusion :**

On montre que les méthodes de surveillance et de maintenance des ouvrages sont très nombreuses, et souvent complexes d'utilisation. Un effort important reste à fournir pour faciliter et uniformiser les tâches des différents intervenants (maître d'œuvre, entrepreneur, bureau de contrôle.....).

CHAPITRE II

Recherche bibliographique sur le scanner 3D et son utilisation dans le contrôle et l'inspection des structures

CHAPITRE II : Recherche bibliographique sur le scanner 3D et son utilisation dans le contrôle et l'inspection des structures

II.1 Introduction :

Le monde du bâtiment et des travaux publics connaît des évolutions majeures depuis quelques années. Notamment avec l'intégration d'outils numériques pour la conception et la réalisation des ouvrages. Dans le but d'améliorer la gestion des projets, Les techniques de mesures 3D sont mises en place à travers l'utilisation d'un scanner laser 3D. L'exhaustivité et la précision des données collectées permettent de constituer une base solide et complète pour procéder à la modélisation de bâtiments. L'acquisition des données 3D et l'assemblage des scans sont des éléments parfaitement maîtrisés. Le but de ces relevés est bien entendu la création de plans 2D ou 3D. Actuellement, le service réalise les plans avec le logiciel Auto CAD de la firme Autodesk à partir d'une coupe du bâtiment relevé. Le dessin ou la modélisation passe donc par la 2D. Il s'agit d'une étape longue et fastidieuse. De plus, les données issues du scanner laser sont peu utilisées. En effet, les informations d'intensité, les photos prises lors du relevé ou encore le nuage de points intervient seulement lorsque l'interprétation sur l'ortho photo est difficile. Dans le but de réduire au maximum cette étape fastidieuse que constitue la modélisation à partir d'un nuage de points, CBT cherche un moyen d'automatiser cette étape ou tout du moins, de la simplifier. Nous verrons donc dans cette partie quel sont les différents outils disponibles pour l'exploitation de données 3D, les logiciels de traitement de nuage de points ainsi que les logiciels de modélisation. Suite à cette étude, des choix logiciels seront effectués. D'automatisation disponible dans ces derniers. Le développement de la solution d'automatisation développée à travers son algorithme et son intégration dans un logiciel de modélisation.

II.2 Les principes de la méthode de relevé par scanner laser 3D:

Le laser, possédant des qualités remarquables dans de nombreux domaines (médecine, industrie, Topographie) constitue un atout majeur en matière d'acquisition de mesures topographiques. Il a permis, au début, de déterminer des distances grâce au calcul du temps aller-retour de l'onde à partir de la connaissance de la longueur d'onde. Cette technique fut ensuite associée au théodolite (appareil permettant la mesure d'angles horizontaux et

CHAPITRE II : Recherche bibliographique sur le scanner 3D et son utilisation dans le contrôle et l'inspection des structures

verticaux) pour aboutir au tachéomètre (mesures d'angles et de distances). De cette manière, à partir de calculs trigonométriques, il est possible de déterminer des écarts en trois dimensions par rapport au centre optique du tachéomètre. Après le calcul de la position et de l'orientation de l'appareil, il devient facile d'obtenir les coordonnées des points mesurés. Aujourd'hui, cette technique poursuit son évolution. Il devient alors aisé d'effectuer ces prises de mesures avec une certaine automatisation et cadence de mesures. Le scanner laser 3D remplit ce rôle à merveille, pouvant mesurer jusqu'à 1 million de points par seconde (pour les appareils fonctionnant par mesure de décalage de phase). Il permet d'effectuer un balayage de points en vertical, l'appareil tournant ensuite sur lui-même pour le balayage horizontal.

II.3 Définition scanné 3D :

Ils sont aussi appelés scanner tridimensionnel, ce sont des appareils de numérisation et d'acquisition 3D.

Un scanner tridimensionnel est un appareil qui analyse les objets ou leur environnement proche pour recueillir des informations précises sur la forme et éventuellement sur l'apparence (couleur, texture...) de ceux-ci. Les données ainsi collectées peuvent alors être utilisées pour construire des images de synthèse en trois dimensions à des fins diverses. Ces appareils sont beaucoup utilisés par les industries du divertissement pour des films ou des jeux vidéo et maintenant dans le secteur de la construction.

II.4 Historique :

Avec l'avènement des ordinateurs, il a été possible de construire un modèle très complexe, mais le problème est venu avec la création de ce modèle

Donc dans les années 80, l'industrie de fabrication d'outils a développé une sonde de contact. Au moins ceci a permis de créer un modèle précis, mais il était si lent. La pensée était, si seulement quelqu'un pourrait créer un système, qui a la possibilité de capturer la même quantité de détails, mais à plus rapidement, ainsi elle rendra l'application plus efficace.

Par conséquent, les experts ont commencé à développer la technologie optique. L'utilisation de la lumière était beaucoup plus rapide qu'une sonde

CHAPITRE II : Recherche bibliographique sur le scanner 3D et son utilisation dans le contrôle et l'inspection des structures

physique. Cela a également permis de scanner des objets mous, qui à l'époque, il y avait trois types de technologie optique qui étaient disponibles :

- Point, qui est similaire à une sonde physique en ce qu'il utilise un point unique. Il s'agissait de l'approche la plus lente, car elle impliquait beaucoup de mouvement physique par le capteur.
- La région, qui est techniquement difficile. Ceci est démontré par l'absence de systèmes de surface robustes en vente.
- Strippe, le troisième système - a été bientôt trouvé pour être plus rapide que point de sondage comme il utilisait une bande de nombreux points pour passer sur l'objet à la fois, qui était précis trop. Par conséquent, il a répondu à la double demande de vitesse et de précision.

Si rayure était clairement le chemin vers l'avant, mais il est vite devenu évident que le défi était un logiciel. Pour capturer un objet en trois dimensions, le capteur le défi était de se joindre à ceux qui étaient balayés ensemble, supprimer les données dupliquées et trier le surplus qui inévitablement recueille lorsque vous collectez plusieurs millions de points de données à la fois.

Une des premières applications a été de capturer des humains pour l'industrie de l'animation. Par contre au milieu des années 90, ils étaient devenus des scanners corporels.

En 1994, 3D Scanners a lancé REPLICA qui a permis, d'accélérer un très précis balayage d'objets très détaillés. Pendant ce temps, Cyber Ware développaient leurs propres scanners de détail, dont certains ont pu capturer la couleur de l'objet, mais malgré ce progrès, un véritable balayage tridimensionnel avec ces degrés de vitesse et la précision est restée insaisissable. Une société Digibotics a introduit une machine 4 axes, qui pourrait fournir un modèle entièrement 3D à partir d'un seul balayage, mais il était basé sur le point laser pas la bande laser et était donc lent.

Elle n'avait pas non plus les six degrés de liberté nécessaires pour couvrir toute la surface d'un objet, ni ne pouvait numériser la surface de couleur.

Alors que ces scanners optiques étaient coûteux, Immersion et Faro Technologies introduit des numériseurs manuels à faible coût.

Ceux-ci pouvaient effectivement produire des modèles complets, mais ils

CHAPITRE II : Recherche bibliographique sur le scanner 3D et son utilisation dans le contrôle et l'inspection des structures

étaient lents, en particulier quand le modèle était détaillé. A cette époque, les modélisateurs 3D étaient unis dans leur quête pour un scanner, qui était :

- Précis.
- Rapide.
- Véritablement tridimensionnel.
- Capable de capturer la surface de couleur.
- Prix réaliste.

En 1996, 3D Scanners a pris les technologies clés d'un bras à commande manuelle et une rayure scanner 3D et les combiner dans Model Maker. Ce incroyablement rapide et système flexible est le premier système de capture de réalité du monde. Il produit des modèles complexes et il texture ces modèles avec la couleur. Modèle 3D couleur peut maintenant être produit en quelques minutes.

II.5 Les principaux avantages du balayage laser :

Vitesse :

La vitesse rapide de capture de données, à partir d'un scanner laser 3D, permet des millions de données points à enregistrer en quelques secondes. Cela garantit que les environnements sont enquêtés dans un laps de temps court et rend l'arpentage 3D idéal pour travailler sur projets particulièrement urgents, lorsqu'un redressement rapide est vital.

La rapidité du processus de mesure 3D réduit considérablement les heures-personnes requis sur le site ainsi que toute fermeture des installations et perturbation globale.

Cette vitesse et cette flexibilité innées sont d'énormes avantages pour l'industrie de la mesure et c'est l'une des raisons pour lesquelles le balayage laser 3D est devenu de plus en plus utilisé.

Exactitude :

Le balayage laser 3D brille avec précision. A \neq 1mm, vous pouvez compter sur les données capturées pour faire la modélisation sans se rendre sur le terrain.

CHAPITRE II : Recherche bibliographique sur le scanner 3D et son utilisation dans le contrôle et l'inspection des structures

Plus de sécurité :

L'acquisition des données par scanner 3D est idéale pour les zones difficiles d'accès. Les scanners 3D permettent de ne pas nécessiter d'accéder physiquement à la zone.

Cela réduit la nécessité de prendre des mesures de sécurité coûteuses et laborieuses et assure la sécurité des experts 3D.

Documentation détaillée :

Les données 3D capturées par le processus de numérisation sont si complètes que presque tous les détails sont enregistrés. Le risque d'omission est considérablement réduit, avec un très faible risque d'erreur.

Ce vaste niveau de détail élimine habituellement entièrement l'exigence de revoir le site sur la base des mesures que nous avons manquées pendant le processus d'enquête.

Le processus de documentation détaillée permet également aux enquêteurs 3D (et en effet le client final) pour visiter des sites virtuellement par l'intermédiaire d'une visite du nuage de points ou d'une image interactive 360 téléspectateurs.

Encore une fois, cela aide à éliminer la nécessité de « visiter » le site lorsque les visites virtuelles sont si réalistes et facile à réaliser.

Moins d'hypothèses :

Dans les méthodes traditionnelles, nous devons inclure de nombreuses hypothèses pour coordonner points de contrôle ou concernant les caractéristiques sur le terrain. Avec l'arrivée du laser technologie, l'avantage est qu'il doit y avoir beaucoup moins d'hypothèses.

Meilleure coordination entre les différents processus :

Avec le modèle numérisé, l'architecte, l'ingénieur et les entreprises de construction peuvent améliorer la collaboration et la coordination. Une fois que les données numérisées sont ces professionnels dans l'exercice de leurs fonctions liées au site.

CHAPITRE II : Recherche bibliographique sur le scanner 3D et son utilisation dans le contrôle et l'inspection des structures

Meilleure visualisation :

Les modèles 3d peuvent être utilisés pour la visualisation et améliorer la sortie finale en faire des ajustements dans la mesure du possible. Autre visualisation proposée peut être évalué, visualisé et adopté.

II.6 Répondre aux besoins des professionnels du BTP avec la numérisation 3D :

Pour répondre aux besoins des professionnels, la numérisation 3D est la solution ! Le scanner 3D, vous connaissez ? C'est une méthode de cartographie de très haute qualité qui capture la réalité. La numérisation 3D sur un scanner capture les moindres détails d'un bâtiment en s'appuyant sur la précision. La prise d'une photo à 360 degrés offre un résultat type 3D pour un projet de construction.

Ses mérites ? La réalisation qualitative de nombreuses constructions et une modélisation de l'information (BIM). Le scanner est une réussite numérique. Ce produit améliorant la production de chantier, offre une demande considérable venant des acteurs du BTP. Les enseignes tels que Leica , Faro, GeoSlam n'ont pas hésité à créer un scanner digne des attentes du secteur de la construction. Il existe des scanners 3D, des scanners laser avec imagerie, des scanners laser mobile...Un choix divers !



Figure II.1 : Répondre aux besoins des professionnels du BTP avec la numérisation 3D

CHAPITRE II : Recherche bibliographique sur le scanner 3D et son utilisation dans le contrôle et l'inspection des structures

Appliqué à la construction, ce concept supprime les outils de traditions. Une personne qui doit se déplacer sur un chantier, ou encore établir des mesures...C'est terminé ! Ce nouveau concept de numérisation donne également naissance à de nouvelles recherches innovantes et donne un coup de pouce aux acteurs du BTP [5].

II.7 Scanners laser stationnaires Leica 3D :

Leica Geosystem (anciennement connu sous le nom de Wild HeerBrugg ou simplement Wild) basé à La Suisse orientale produit des produits et des systèmes d'arpentage et mesure (géomatique).

Parmi ce que cette société a produit est un ensemble de terrain tridimensionnel scanners, qui sont les suivants :

II.7.1 Leica BLK360 :

Le Leica BLK360 capture l'environnement avec des images panoramiques colorisées recouvertes par un nuage de points très précis. Simple d'utilisation avec une seule pression sur un bouton, le BLK360 est le plus petit et léger des scanners.

En utilisant le logiciel Leica Cyclone FIELD 360 ou l'application mobile Autodesk ReCapPro, le BLK360 transmet les données d'image et de nuages de points à un iPad ou les données finales du projet à Cyclone REGISTER 360 via Wi-Fi.



Figure II.2 : Le Leica BLK360.

CHAPITRE II : Recherche bibliographique sur le scanner 3D et son utilisation dans le contrôle et l'inspection des structures

○ Les Caractéristiques.

Portée	0.6m à 60m
Précision	4mm à 10m (portée)
Vitesse de numérisation	360 000 points/sec
Champ visuel	360° (horizontal) / 300° (vertical)
Imagerie	15.1 Mpixel HDR, LED flash sphérique, thermographique
Protection	IP54
Température d'utilisation	+5°C @ +40°C
Alimentation	Batterie Li-Ion
Dimension / poids	165mm (H) x 100mm (D) / 1kg

Tableau II.1 : Caractéristiques Leica BLK360 .

II.7.2 Laser RTC 360 :

Le laser RTC 360 est la nouvelle solution pour capturer et documenter votre environnement en 3D. Il est petit et compact, et peut être transporté dans un sac à dos. C'est le laser idéal pour les professionnels travaillant sur des projets complexes nécessitant des représentations 3D précises et fiables quelles que soient les conditions sur le site. Il détient un taux de mesure de 2 millions de points par seconde et crée des nuages de points 3D colorés en moins de 2 minutes. Le RTC 360 permet, avec la solution Leica Cyclone FIELD 360, d'intégrer vos modèles 3D dans votre travail. Le laser RTC 360 se distingue par son enregistrement automatique des positions en temps réel sur le terrain, et ce, sans cibles. Il aligne instinctivement les scans, ce qui

permet une grande rapidité lors de vos projets. Il est possible d'ajouter des marqueurs et des balises à vos projets pour une meilleure planification.



Figure II.3 : Le scanner 3D Laser RTC 360

CHAPITRE II : Recherche bibliographique sur le scanner 3D et son utilisation dans le contrôle et l'inspection des structures

○ Les Caractéristiques :

Portée	0.5m à 130m
Précision	1.0mm
Précision angulaire	18"
Vitesse de numérisation	2 000 000 points / sec
Imagerie	HDR
Protection	IP54
Température d'utilisation	-5°C à +40°C
Alimentation	2x Batterie Li-Ion rechargeable GEB361 (jusqu'à 4 heures)
Dimension / poids	120 mm x 240 mm x 230 mm/ 5.35 kg

Tableau II.2 : Caractéristiques Laser RTC 360.

II.7.3 Leica série P :

Les scanners laser 3D Leica Scan Station série P sont le partenaire idéal pour la capture de la géométrie 3D de l'infrastructure civile, créant ainsi une représentation un grand complexe industriel, reconstruire une scène de crime ou générer des données 3D pour intégration dans la modélisation de l'information sur les bâtiments (BIM).



Figure II.4 : Leica série P

○ Les Caractéristiques :

	P50	P40	P30	P20
Portée maximale	> 1 km	270m	120m	80m
Vitesse de numérisation	1,000,000 points/sec	1,000,000 points/sec	1,000,000 points/sec	1,000,000 points/sec
Maximum Résolution à 10 m	Définissables par l'utilisateur	Définissables par l'utilisateur	0.8 à 50 mm	1.6 à 50 mm
Vitesse d'imagerie	<1min	<1min	<1min	<1min

CHAPITRE II : Recherche bibliographique sur le scanner 3D et son utilisation dans le contrôle et l'inspection des structures

Imagerie	HDR	HDR	HDR	HDR
Dimension / poids	12kg / 24cm × 35cm × 40cm	12kg / 24cm × 35cm × 40cm	12kg / 24cm × 35cm × 40cm	12kg / 24cm × 35cm × 40cm
Température d'utilisation	-20 à +50C°	-20 à +50C°	-20 à +50C°	-20 à +50C°
Protection	IP54	IP54	IP54	IP54

• **Tableau II.3** : Caractéristiques Leica série P [6].

II.8 Procédure de la capture :

La mission de collecte des données sur site suit les mêmes étapes pour les deux projets, et ne diffère qu'en termes de temps nécessaire à couvrir la totalité des deux zones faisant l'objet d'étude. Les étapes à suivre pour mener un levé par scanner 3D sont les suivantes :

Etape 1 : Implantation des stations. Le nombre de stations à relever, ainsi que leurs emplacements, doivent être déterminés au préalable d'une façon à avoir une bonne répartition sur la zone à étudier, afin que l'assemblage des levés de chaque station résulte en un modèle couvrant la totalité de la surface du site. Ces points d'implantation du scanner sont éloignés l'un de l'autre d'une distance de 20 à 25 mètres à chaque station, le scanner est placé et sécurisé sur un trépied qui lui servira de support. Il est allumé par la suite en tenant le bouton unique du scanner appuyé pendant quelques secondes.

Etape 2 : Scan de la station. Le scanner capture un rayon de 60m autour de la station. Cette opération est déclenchée par un appui sur le bouton ou par l'application qui convient, et elle est exécutée en deux étapes : Premièrement, l'appareil effectue un tour de 360° autour d'un axe vertical pour prendre des photos panoramiques de l'environnement, qui sont à leurs tours très pratiques et nécessaires lors du traitement des données capturées, cette étape ne dure que quelques secondes (moins qu'une minute) Un deuxième tour commence après l'achèvement du premier, avec un mouvement rotationnel plus lent s'effectuant en même temps que celui du prisme, qui assure un tour de 300° autour d'un axe horizontale perpendiculaire au premier. Durant cette étape, le scanner vise un point de la surface qu'il rencontre, enregistre ses trois

CHAPITRE II : Recherche bibliographique sur le scanner 3D et son utilisation dans le contrôle et l'inspection des structures

coordonnées X, Y et Z, et passe au prochain, cette opération est répétée au moins 300 000 fois par seconde. Un seul tour du prisme assure le levé des points contenus entre deux plans verticaux, et dès qu'il est achevé, le scanner se tourne légèrement pour fixer deux autres plans. Cette étape prend de 2 à 4 minutes.

Etape 3 : Fin de l'opération. Lorsque la couleur du led entourant la base du scanner, change d'un jaune clignotant à un vert, cela veut dire que le scanner a terminé le levé sur cette station, et il est donc temps de passer à la prochaine. Il est préférable d'opter pour une distance entre station proche pour assurer un bon recouvrement (le recouvrement est réalisé lorsqu'un même point est relevé par les deux stations consécutives) et augmenter la précision des résultats et réduire les erreurs de l'assemblage des stations sur le logiciel. C'est la raison pour laquelle nous avons choisi une distance d'environ 20 m, même si la portée de l'appareil peut aller jusqu'à 60m.

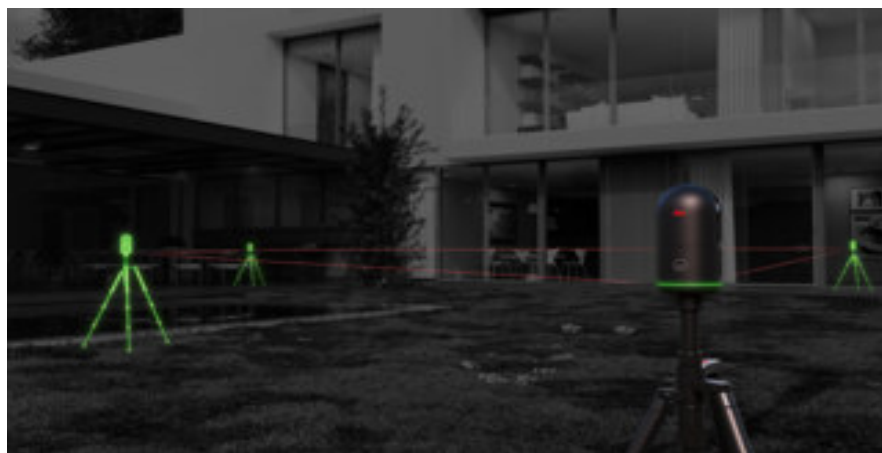


Figure II.5 : Système d'alignement des scans .

II.9 Les avantages du scanner BLK360 pour les acteurs du BTP :

- Numérisation rapide en haute résolution.
- Maniable grâce à sa légèreté.
- Facilement transportable grâce à sa taille.
- Seulement 3 minutes pour un scan complet d'un chantier.

CHAPITRE II : Recherche bibliographique sur le scanner 3D et son utilisation dans le contrôle et l'inspection des structures

- Utilisation simple et efficace en appuyant sur un seul bouton.
- Image en 360 degrés pour une visibilité totale.
- Compatible avec le logiciel Leica et les solutions Autodesk.
- Possibilité d'enregistrer les données dans l'application Cyclone Field avec Android ou Apple Store sur différents appareils mobiles.
- Trois appareils photo HDR panoramiques sphérique.
- Caméra thermique.

→ Conclusion :

Le balayage laser 3D présente de grands avantages par rapport à d'autres anciennes méthodes car elles permettent de capturer rapidement une grande surface avec une grande résolution sans éclairage.

Les données acquises sont constituées de différents renseignements, y compris des données techniques, spatiales et Information visuelle et physique.

Ces données peuvent être exportées et réutilisées, ce qui rend le scanner 3D l'outil idéal pour surveiller les sites de construction les plus complexes.

CHAPITRE III

Les avantages et les inconvénients de l'utilisation de cette technologie dans le domaine du contrôle et inspection

III.1 Introduction :

La numérisation laser 3D est devenue une méthode rapide, efficace et précise pour capturer les détails d'une construction et de son environnement ou de la morphologie du terrain et Les avantages de la numérisation laser 3D dans la construction sont liés à la capacité de collecter rapidement des données avec précision sur la situation existante.

Grâce à la technologie laser, les scanners acquièrent des millions de points à partir desquels il est possible de créer une cartographie de la construction, en définissant ainsi la géométrie et éventuellement la couleur : c'est ainsi que naît le « nuage de points », un groupe dense de points 3D qui recrée un objet physique dans l'espace numérique.

III.2 Les 10 principaux avantages de la numérisation laser 3D dans la construction :

L'utilisation du balayage laser dans la construction présente un certain nombre d'avantages. Voyons les 10 principaux :

- 1. Plus grande précision et une meilleure qualité** : le niveau élevé de précision des scanners laser permet de détecter la position exacte des points qui constituent un site et d'obtenir ainsi des résultats de grande qualité : l'équipe de travail peut s'appuyer sur des informations précises qui permettent d'obtenir une image complète de l'ouvrage et de gérer et de planifier au mieux la conception future.
- 2. Temps réduit** : le scan laser permet d'enregistrer une grande quantité de données (position exacte des points) par seconde, en recueillant des informations sur les structures dans des temps beaucoup plus courts que les méthodes traditionnelles et sans dépense de ressources supplémentaires (imaginons les méthodes de relevé traditionnelles et le personnel technique et toutes les opérations nécessaires pour lever le bâti).
- 3. Informations rapides** : les informations obtenues à la suite d'un scan sont immédiatement accessibles, ce qui permet d'optimiser les méthodes de travail et la productivité.

- 4. Intégration logicielle** : après le traitement et la transformation des nuages de points, en les nettoyant d'éventuels bruits numériques, ils peuvent être transformés avec des logiciels appropriés. Ce processus est très utile pour travailler sur des bâtiments classés, pour des interventions de récupération ou de rénovation, mais aussi pour le relevé de l'environnement nécessaire en cas de nouvelle construction.
- 5. Collaboration efficace** : le modèle 3D généré par la conversion du nuage de points peut être utilisé par les différents professionnels impliqués dans un projet, qui peuvent également travailler à distance tout au long des différentes phases de conception, réduisant ainsi le nombre de visites coûteuses sur place.
- 6. Meilleure coordination** : la génération d'un modèle tridimensionnel de l'ouvrage numérisé améliore les activités de planification du projet en permettant de détecter au préalable d'éventuelles erreurs de coordination qui, découvertes au cours de la phase exécutive, entraîneraient des retards et une augmentation des coûts.
- 7. Amélioration de la sécurité des travailleurs** : l'acquisition de données au moyen de relevés traditionnels à l'aide d'une roue métrique et d'un télémètre laser est souvent peu sûre, en particulier lorsqu'il s'agit de sites difficiles à atteindre, raides ou escarpés. L'utilisation du scanner laser permet aux professionnels de travailler pour protéger leur santé et leur sécurité et l'exposition dans les zones à risque est réduite au minimum car la collecte des données est très rapide et précise.
- 8. Réduction des coûts** : la réduction des temps de relevé permet donc une réduction des coûts, mais pas seulement ! Si la technique permet d'obtenir une meilleure précision dans la mesure, les coûts supplémentaires liés à la location ultérieure de l'équipement, au transport et aux heures de travail sont réduits.
- 9. Scan sans contact** : le scan 3D par scanner laser est l'une des techniques les moins invasives, le faisceau laser émis détecte les informations même des endroits délicats sans le moindre contact.

- 10. Réduction de la main-d'œuvre humaine :** les opérations de laser scanning réduisent considérablement l'utilisation des ressources humaines : un seul opérateur pourra gérer de manière autonome l'ensemble de l'opération d'importance.

III.3 Les inconvénients :

On en retrouve quelques-uns mais qui peuvent aisément être résolus :

- Présence d'artefacts.
- Temps de traitement des nuages de points parfois long.
- Coût appareil + logiciels + PC adapté à d'imposants traitements.
- Coût de la formation.

III.4 Les limites de la numérisation laser 3D dans la construction :

Si personne n'est parfait, même le scanner laser 3D, dans certaines situations, présente des limites. La déviation de l'exactitude d'un scan peut être :

- L'humidité ou la lumière excessive d'un environnement.
- Le relevé des espaces exposés au mouvement des choses ou des personnes.
- Le relevé d'objets particulièrement complexes et riches en géométries cachées.
- Le relevé de structures hautement réfléchissantes.

Cependant, tous ces problèmes peuvent être atténués de manière assez simple :

- En utilisant le scanner laser à des moments de la journée peu humides ou peu lumineux et des moments de circulation réduite.
- En nettoyant les points lors de l'acquisition.
- En développant des scans sous différents angles de l'objet pour obtenir un modèle complet [7].

→ Conclusion :

Bien que le dispositif 3D présente de nombreux avantages, il n'empêche pas les petits défauts, mais il est facile de comprendre que le balayage laser est en constante amélioration et a un potentiel d'application élevé et peut être utilisé de différentes façons.

CHAPITRE IV

Etude de cas

(Tunnel – Bâtiment – Ouvrage d'art)

Partie I : Ouvrage d'art (Pont de Oued el Harrach)

I.1 Introduction :

Les dernières décennies ont vu la réalisation d'ouvrages d'Art de plus en plus grands et de plus en plus hauts établissant de nouveaux records mondiaux à chaque inauguration grâce à l'utilisation de nouvelles techniques et à de nouveaux concepts.

Il faut maintenant s'intéresser à l'entretien de ce patrimoine considérable.

Les gestionnaires d'ouvrages d'art doivent, pour déterminer avec précision et efficacité les opérations d'entretien à entreprendre, disposer d'outils performants capables de leur donner des informations pertinentes permettant d'établir le diagnostic précis de l'ouvrage et de connaître sa pathologie éventuelle.

I.2 Généralités sur des Ouvrage d'art:

I.2.1 Définition des Ouvrage d'art:

Un **ouvrage d'art** est une construction de grande importance et de grande taille appartenant à l'une au moins de ces catégories :

- Ouvrage permettant de franchir un obstacle sur une voie de communication routière, ferroviaire ou fluviale (ponts, tunnels) ;
- Dispositif de protection contre l'action de la terre ou de l'eau (murs, tranchée couverte, digue) ;
- Dispositif de transition entre plusieurs modes de transports (quais et autres ouvrages portuaires).

De tels ouvrages sont qualifiés « d'art » parce que leur conception et leur réalisation font intervenir des connaissances où l'expérience joue un rôle aussi important que la théorie. Cet ensemble de connaissances constitue d'ailleurs ce que l'on appelle l'art de l'ingénieur [8].

I.2.2 Surveillance et entretien des ouvrages d'art :

I.2.2.1 Ouvrages concernés :

L'inspection des ouvrages d'art est une opération nécessaire afin de maintenir le niveau de service de l'ouvrage et de garantir la sécurité des usagers. Qu'il soit géré par L'État, les départements, les villes ou les sociétés d'autoroute ce patrimoine considérable représente des enjeux économiques

importants. Aussi pour maintenir le niveau de service d'un ouvrage d'art, garantir la sécurité des utilisateurs et optimiser les travaux de maintenance le gestionnaire doit réaliser avec précision le diagnostic et connaître la pathologie réelle de la structure.

Les ouvrages d'art de l'État font l'objet d'actions de surveillance systématiques et sont main- tenus.

Cette instruction précise notamment les objectifs de la surveillance ainsi que ses modalités d'organisation et formalise également le contenu et l'organisation des opérations d'entretien. Elle définit ainsi trois niveaux de surveillance, que nous détaillons dans les paragraphes suivants.

I.2.2.2 Visites de routine :

Les visites dites de routine sont des opérations d'inspection menées en continu par les personnels du gestionnaire lorsqu'ils circulent sur les routes. Leurs observations permettent de relever tous les défauts majeurs ou mineurs tels que barrières de sécurité endommagées, drainages obstrués...

I.2.2.3 Visites annuelles :

Les visites annuelles sont réalisées par des techniciens qui ont pour objectif la détection des désor- dres visibles, à partir du sol, de toutes les parties accessibles d'un pont. Tous les trois ans, cette visite annuelle est une visite d'évaluation dénommée visite IQOA ; elle permet de repérer l'apparition de nouveaux désordres parmi plusieurs dizaines de défauts référencés et éventuellement de suivre l'évolution des désordres repérés lors d'une des précédentes visites. Ces visites d'évaluation donnent lieu à une classification de l'ouvrage selon la méthode IQOA.

I.2.2.4 Inspection détaillée :

Ces inspections sont réalisées selon l'état de la structure : tous les ans pour les ouvrages dont l'état est alarmant, tous les trois ans pour les ouvrages sensibles, tous les six ans pour les ouvrages normaux et enfin tous les neuf ans pour les ouvrages robustes.

L'objectif de ces inspections est de rechercher la totalité des désordres sur l'ensemble de la structure, jusqu'aux fissures de 0,1 mm pour les ponts métalliques ou en béton précontraint, de 0,4 à 0,5 mm pour les ponts en maçonnerie et de 0,1 à 0,3 mm pour les ponts en béton armé. Ce sont ces

inspections qui nécessitent, pour inspecter les zones inaccessibles, des matériels importants, chers et difficiles d'emploi, tels que nacelles et passerelles automotrices.



Figure IV.1: Oued el Harrach.

Etude de cas Pont de Oued el Harrach

- Le deuxième cas d'étude se porte sur un nouveau pont dans la commune de El Harrach à Alger.
- C'est un pont à poutre, d'une longueur importante
- Le scan de cette infrastructure était réalisé en cours de construction, après la réalisation du tablier, mais avant la fin des travaux.
- Le nuage de point est complet, (les piles ont aussi été scannés ainsi que le terrain naturel traversé).
- Les données qu'on peut tirer de ce nuage de point sont :
 - Une maquette 3D de l'ouvrage, représentant son état réel.
 - La topographie du site où se trouve l'ouvrage.
 - Une analyse comparative entre les plans et la réalité.
 - Des mesures de distance ou de surface sur les différents éléments de l'infrastructure et la superstructure du pont.

CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)

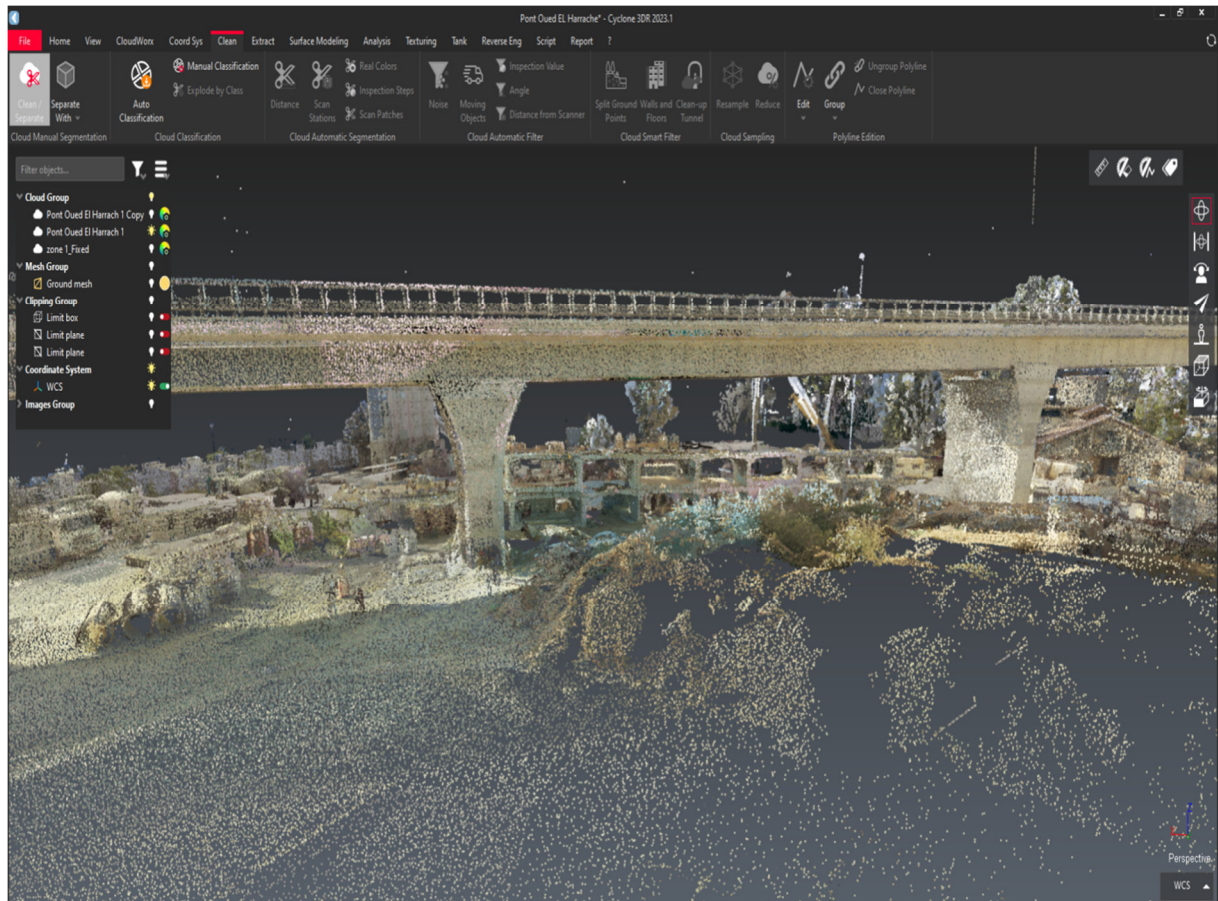


Figure IV.2: Nuage de points de l'Oued el Harrach.

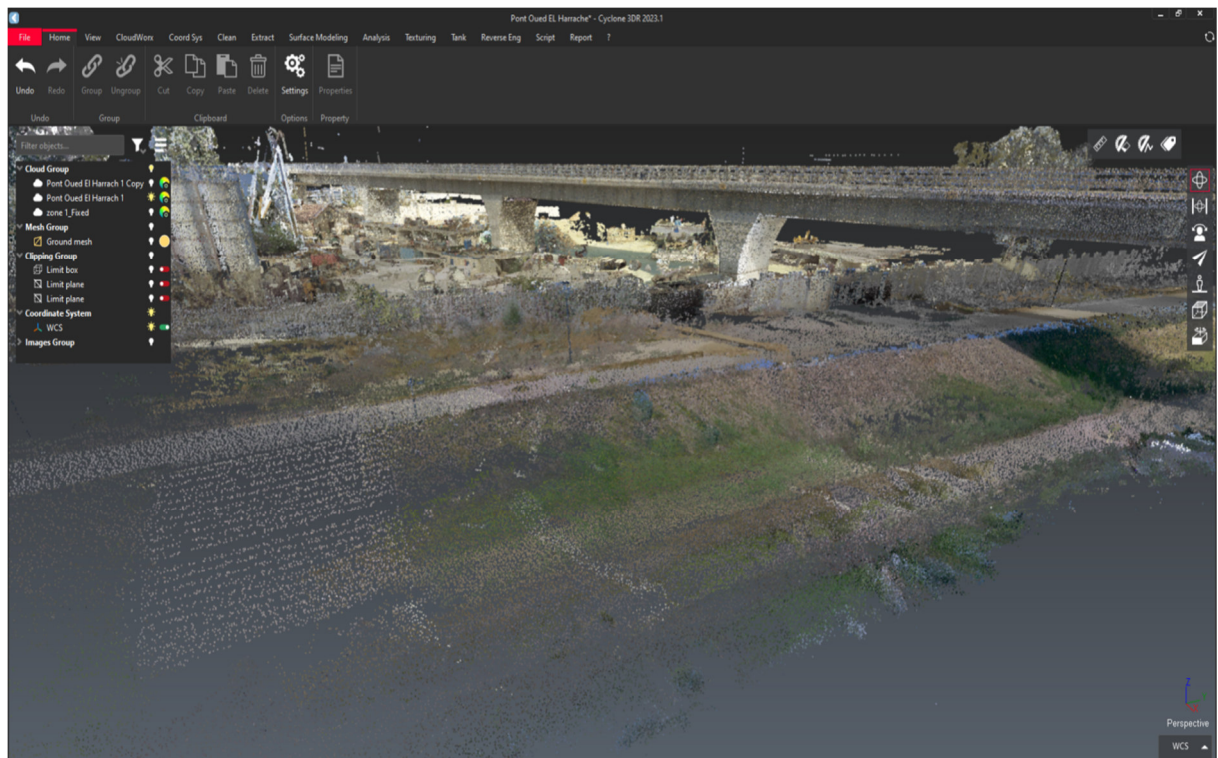


Figure IV.3: Nuage de points de l'Oued el Harrach 2.

CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)

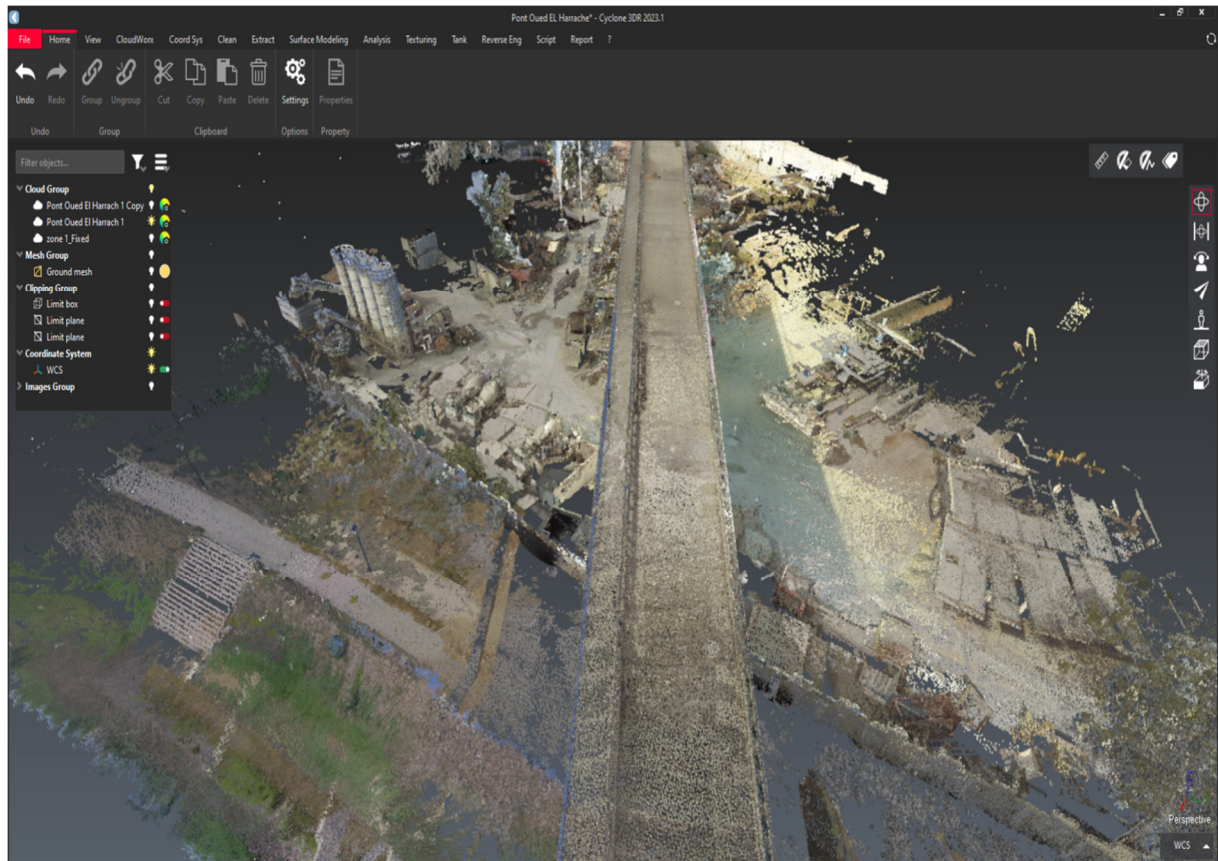


Figure IV.4: Nuage de points de l'Oued el Harrach d'en haut.

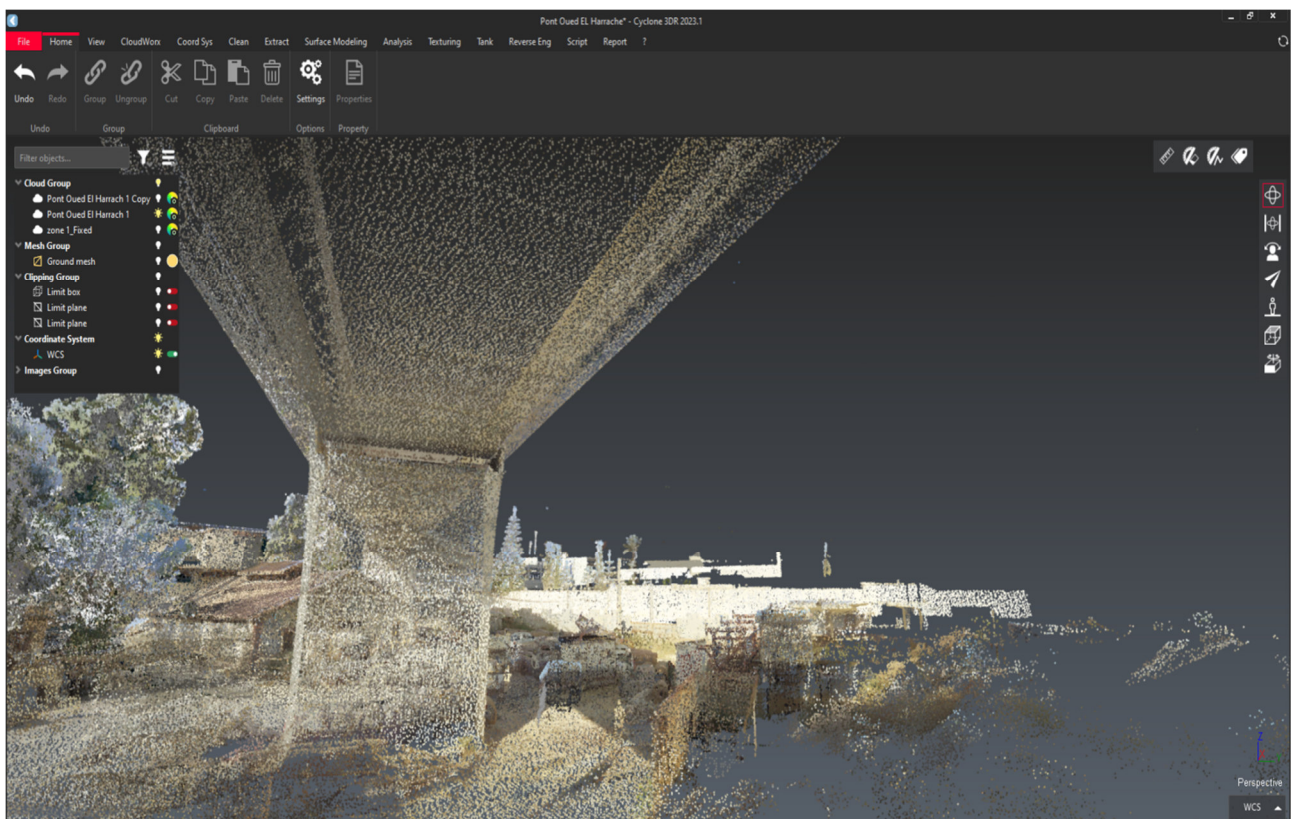


Figure IV.5: Nuage de points de l'Oued el Harrach d'en bas.

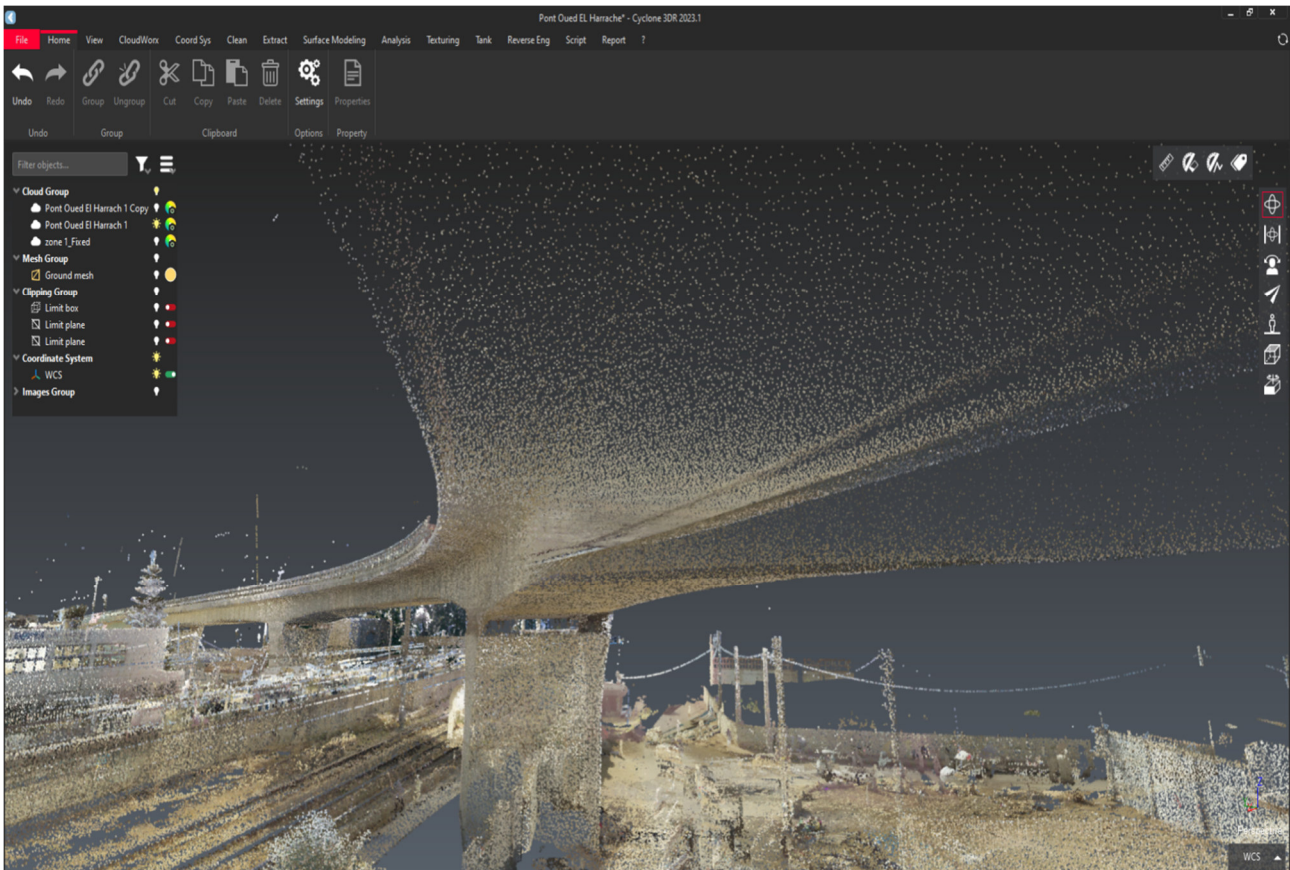


Figure IV.6: Nuage de points de l'Oued el Harrach d'en bas 2.

Partie II : Bâtiment (Stade Omar Hamadi)

II.1 Introduction :

Le stade Omar-Hamadi est un stade de football situé à Bologhine, au nord d'Alger. Construit en 1935.

Le stade est bordé par la mer Méditerranée au nord, la basilique Notre-Dame d'Afrique au sud, et par les communes de Bab El Oued et de Raïs Hamidou, respectivement à l'est et à l'ouest.

Le stade Omar-Hamadi a connu plusieurs expansions au fil du temps, mais aussi la démolition d'une tribune en 2003.



Figure IV.7 : Stade Omar Hamadi.

II.2 Principales causes de défaillance et d'effondrement des bâtiments de construction :

- Négligence et non-maintenance.
- Surcharge au-delà de la limite autorisée.
- Mauvaise mise en œuvre et mauvaises normes.
- Défauts de conception structurale.
- Fondations faibles sous le bâtiment.
- Fuite d'eau sur les fondations du bâtiment.
- Faiblesse du béton des poteaux et du roulement des murs.
- Modifications aléatoires des bâtiments après la mise en œuvre.
- Catastrophes naturelles telles que tremblements de terre et glissements de terrain.

II.3 Facteurs climatiques entraînant des déformations des bâtiments :

II.3.1 Mouvement d'humidité :

- Le mouvement induit par l'humidité est un phénomène naturel et commun qui affecte les composants de construction, et est l'une des sources majeures les plus défectueuses de composants de construction.
- Le mouvement induit par l'humidité peut se produire séparément ou en association avec d'autres causes qui produisent le mouvement, comme le mouvement de chaleur, produisant une gamme de symptômes.
- Généralement, ce mouvement est un phénomène qui affecte les substances en général et pas seulement les substances traditionnelles et les substances qui souffrent d'autres problèmes liés à l'humidité associés à la fuite ou la pénétration de l'eau dans les connexions.
- Le principal mécanisme de mouvement de l'humidité dans les matériaux et les composants est l'expansion ou la contraction des matériaux.

II.3.2 Mouvement thermique :

- Le mouvement de chaleur se produit lorsque le changement de chaleur se produit soit une extension ou une contraction des composants de construction, les principaux problèmes surgissent pendant le mouvement différentiel entre les matériaux adjacents et différents.
- Tous les matériaux structurels sont soumis à un mouvement thermique ; En tout cas, le facteur d'expansion varie entre les matériaux et le mouvement réel, ce qui est important pour les bâtiments, varie également.
- Un certain nombre de facteurs influent sur le mouvement de chaleur qui se produit dans le composant ou l'élément. Elle entraîne un manque de stabilité ou de différenciation de la température lorsqu'elle est exposée à la lumière du soleil et aux périodes d'ombre.
- Le mécanisme de défaillance dû au mouvement thermique des matériaux dépend du rapport de changement et de mouvement différentiel entre les composants des surfaces colorées et foncées. Les surfaces foncées absorbent plus de chaleur que les surfaces colorées.
- Les facteurs qui influent sur l'impact du mouvement de chaleur comprennent la plage de température, les températures différentielles, la couleur et la composition du fond, l'inertie thermique générale, la résistance et la rigidité du composant et de l'environnement.

II.3.3 Enrouler autour des bâtiments :

- La nature changeante du vent peut causer du bruit, et à l'aide de coups de pluie polluent le bâtiment et créent des pressions différentielles sur la face extérieure du bâtiment, mais les caractéristiques locales rendent difficile de généraliser autour de la charge de vent.
- Le vent peut peser sur les plafonds de niveau.

II.3.4 L'impact des arbres plantés autour du bâtiment :

- La proximité des arbres (ou d'autres grandes plantes) avec les bâtiments peut entraîner un rétrécissement du sol et cet effet est généralement saisonnier, et très excitant dans les sols argileux.
- Les demi-diamètres des racines des arbres sont particulièrement importants pour les peupliers, les saules et les chênes, généralement le rayon est similaire à la hauteur de l'arbre (ou plus bas), cela peut augmenter à 1,5 fois la hauteur du rayon d'un groupe donné d'arbres, mais cet effet est réduit lors de la plantation dans la boue lourde.

Stade Omar Hamadi (à Bologhine).

- Le stade de Omar hamadi à Alger, Il a connu en 2022 des dégradations au niveau des tribunes. Ces dernières ont été jugées comme dangereuses, et suspectées de poser un risque sur la stabilité de la structure.
- De ce fait, le stade a été fermé temporairement pour réaliser des travaux de réhabilitation.
- Il était scanner afin d'avoir un jumeau numérique de la structure pour que les experts du domaine puissent analyser les dégradations.
- Les données qu'on peut tirer de ce nuage de point sont :

- Les dimensions des différents éléments de structure et des ouvertures. Vu la date de construction du stade, ces données qui se trouvent habituellement dans les archives des plans, sont plus difficiles à obtenir, voire impossibles dans certains cas.
- Le détail des dégradations (la nature du problème, son emplacement etc....)

CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)



Figure IV.8 : Amphithéâtre du stade Omar Hamadi.

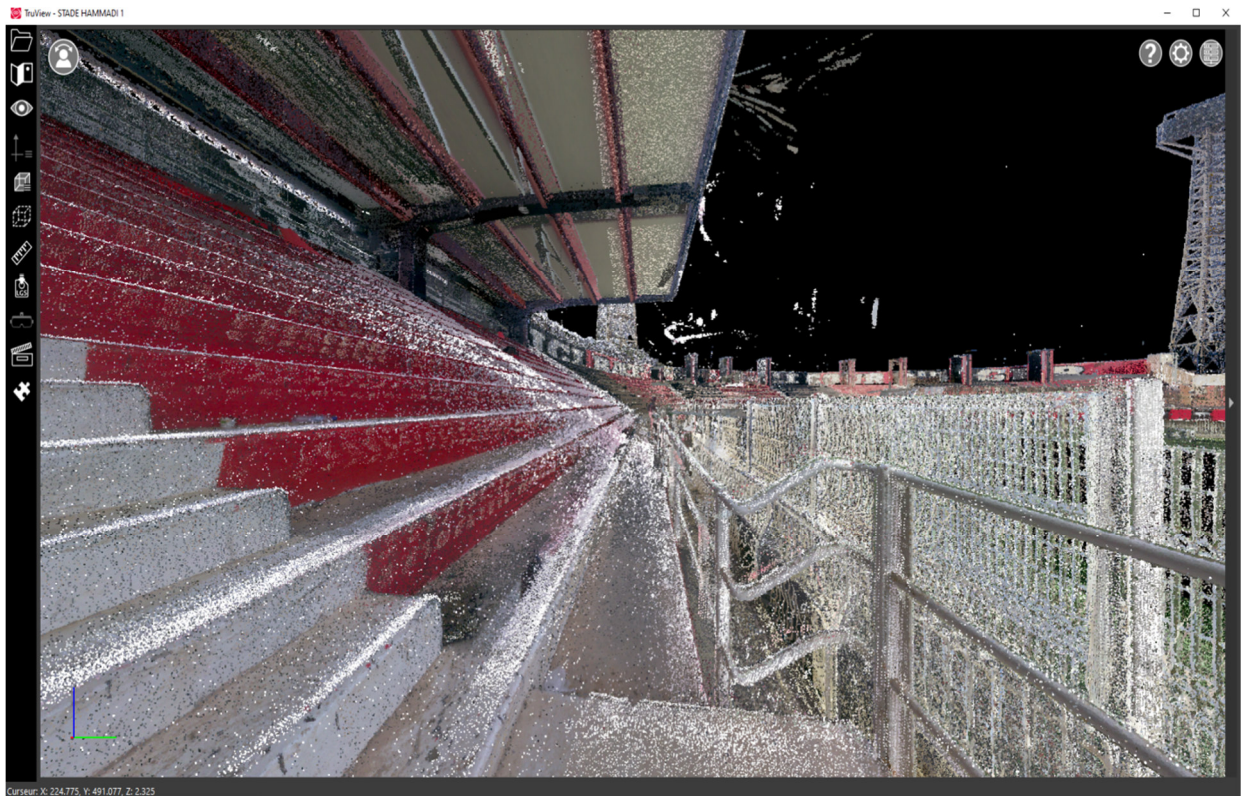


Figure IV.9 : Nuage de points de l'Amphithéâtre du stade Omar Hamadi.

CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)

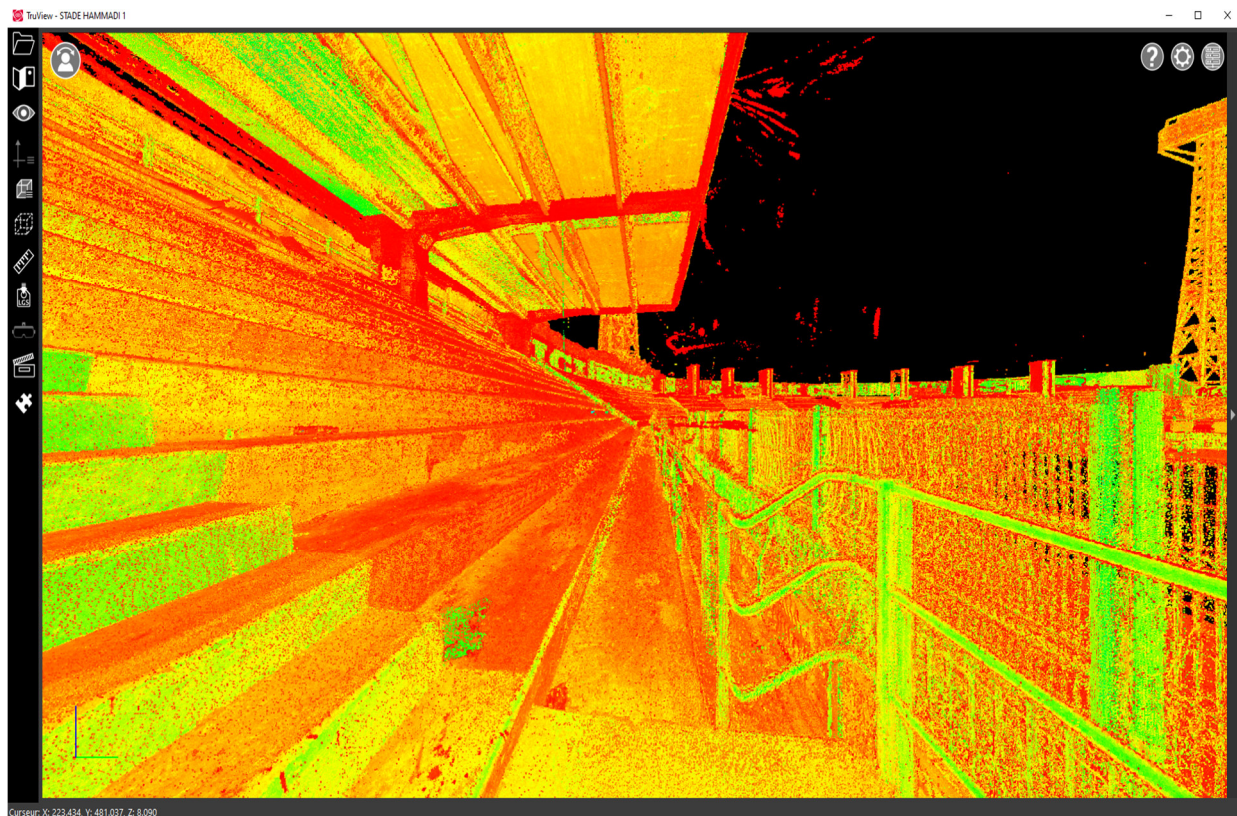


Figure IV.10 : Couleur selon l'axe Z à l'amphithéâtre du stade Omar Hamadi.



Figure IV.11 : plafond chambre de tangage Omar Hamadi.

CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)



Figure IV.12 : Nuage de points de plafond chambre de tangage.

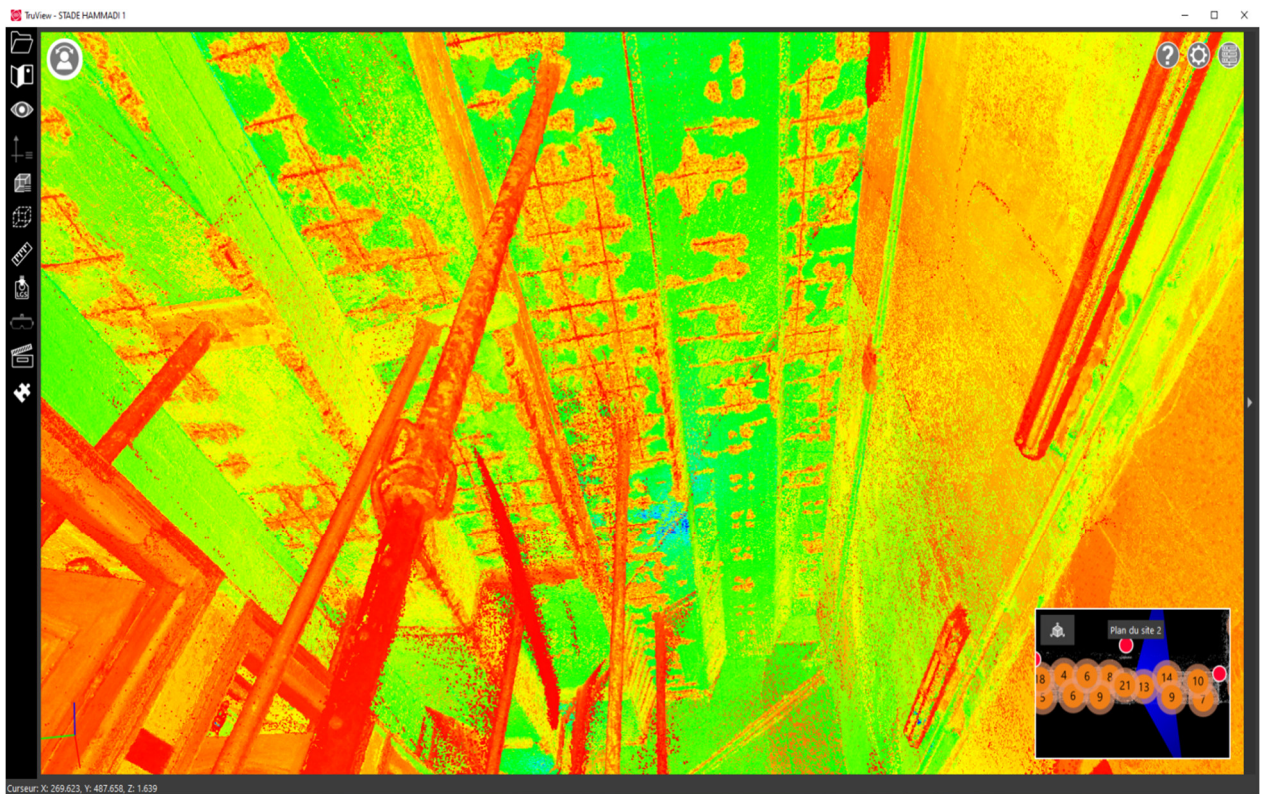


Figure IV.13 : Couleur selon l'axe Z d'une salle du toit du stade.

CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)

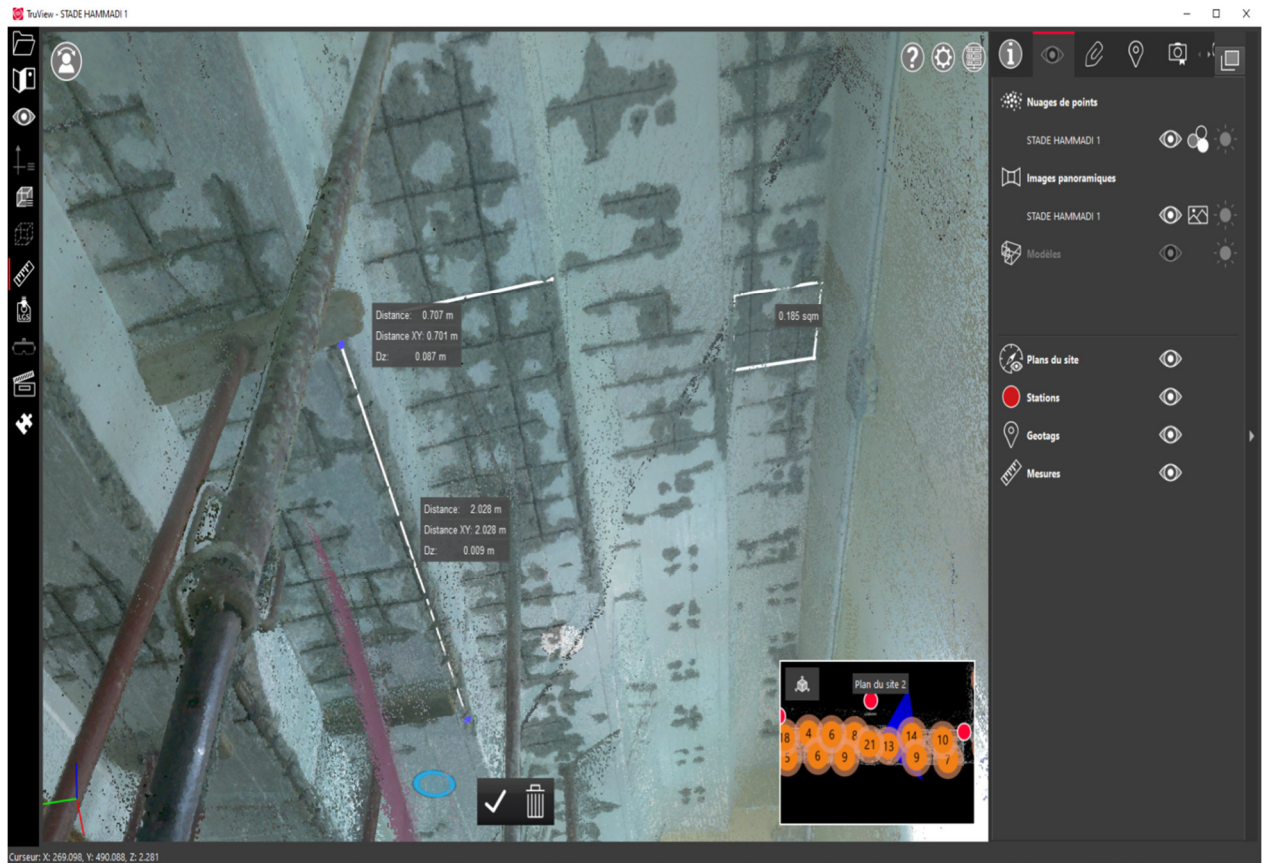


Figure IV.14 : Dimensions du plafond de la salle stade Omar Hamadi.

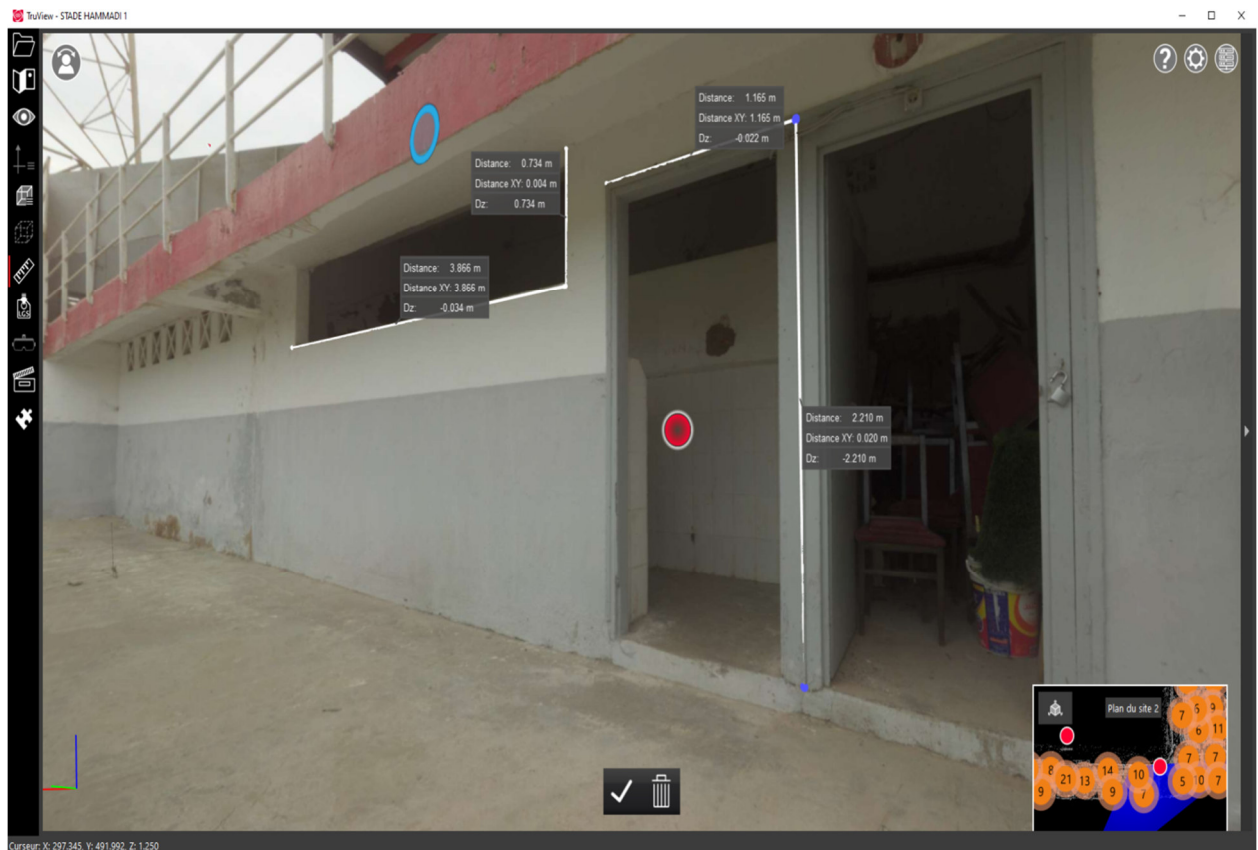


Figure IV.15 : Dimension du stade Omar Hamadi.

CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)



Figure IV.16 : Nuage de points du stade Omar Hamadi.

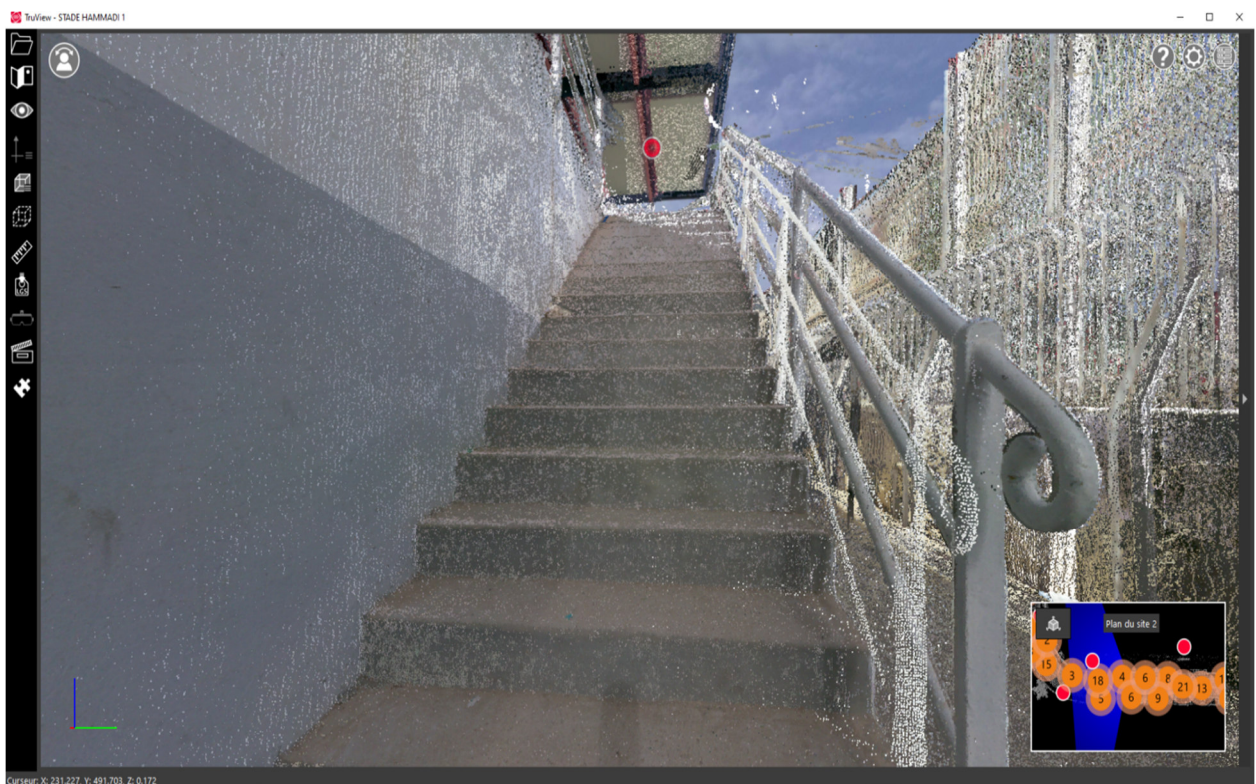


Figure IV.17 : Nuage de points de l'escalier du stade Omar Hamadi.

Partie III : Tunnel (Tunnel Chevalley et Sidi aich)

III.1 Introduction :

Depuis l'antiquité, l'homme construit des espaces couverts dans le sol que ce soit pour s'abriter, pour stocker ou pour transporter de l'eau.

La construction de galeries particulièrement fût célèbre pour le drainage et le recueil des eaux.

La plupart des ouvrages souterrains étaient à l'époque en maçonnerie et leur construction depuis l'ère des romains n'a cessé d'évoluer.

Le premier tunnel routier revient à 37 A-C.

De l'alimentation en eau au transport humain, les ouvrages souterrains ont connu d'énormes progrès et plusieurs méthodes de conception sont mises au point en se basant depuis le début sur l'expérience.

Traverser un sol inconnu reste le plus grand défi accompli par l'homme et chaque pas en avant dans ce domaine devrait être marqué pour noir sur blanc pour les générations à venir.

De nos jours, les tunnels sont de plus en plus communs dans le génie civil surtout que les espaces urbains se limitent et les réseaux routiers arrivent à saturation avec la congestion des villes.

Le passage en souterrain a apporté des solutions efficaces dans la gestion des flux et a permis le franchissement des obstacles naturels avec une optimisation élevée des coûts : un tunnel peut dans certains cas être moins coûteux qu'un viaduc ou qu'une route qui faisant un long contournement.

III.2 Généralités sur les tunnels :

III.2.1 Définition et description :

Les tunnels sont des ouvrages creusés en souterrain dans le but de : Franchir un obstacle naturel. Créer ou réaliser une extension de réseaux souterrains.

Transporter des conduites de fluides ou de câblage. Un tunnel peut être classé selon : Son usage : tunnel autoroutier ou ferroviaire. En fonction sa position, son tracé ou sa destination. La nature du sol l'entourant : la roche, des terrains meubles... Les méthodes de creusement et de soutènement adoptées :

creusement par abattage à l'explosif, par pelle mécanique ou avec tunnelier...

Selon la forme de sa section : un tunnel à section circulaire, elliptique ou à

section fer à cheval... Selon le milieu de construction : environnement aquifère, montagneux, urbain etc.

III.2.2 Spécificités des tunnels routiers :

Un tunnel se compose d'un ou de plusieurs tubes contenant chacun une ou plusieurs voies de circulation. Chaque tube comporte deux extrémités appelées têtes. Le tunnel peut aussi comporter des galeries inter-tubes.

Les tunnels routiers contiennent des aménagements destinés à assurer une exploitation sûre, la protection et l'évacuation des usagers en cas d'accident ou d'incendie, ainsi que l'intervention des services de secours.

Pour les tunnels plus longs, des abris, des galeries d'évacuation ou des galeries de service sont réalisés.

Suivant le type de ventilation adopté, certains tunnels sont pourvus de gaines d'air frais et de gaines de désenfumage. Ces gaines peuvent être situées au-dessus des voies et séparées de la partie circulée par une dalle (ou plafond), ou sous la chaussée.

Toutes ces structures entrent dans le champ de l'inspection détaillée.

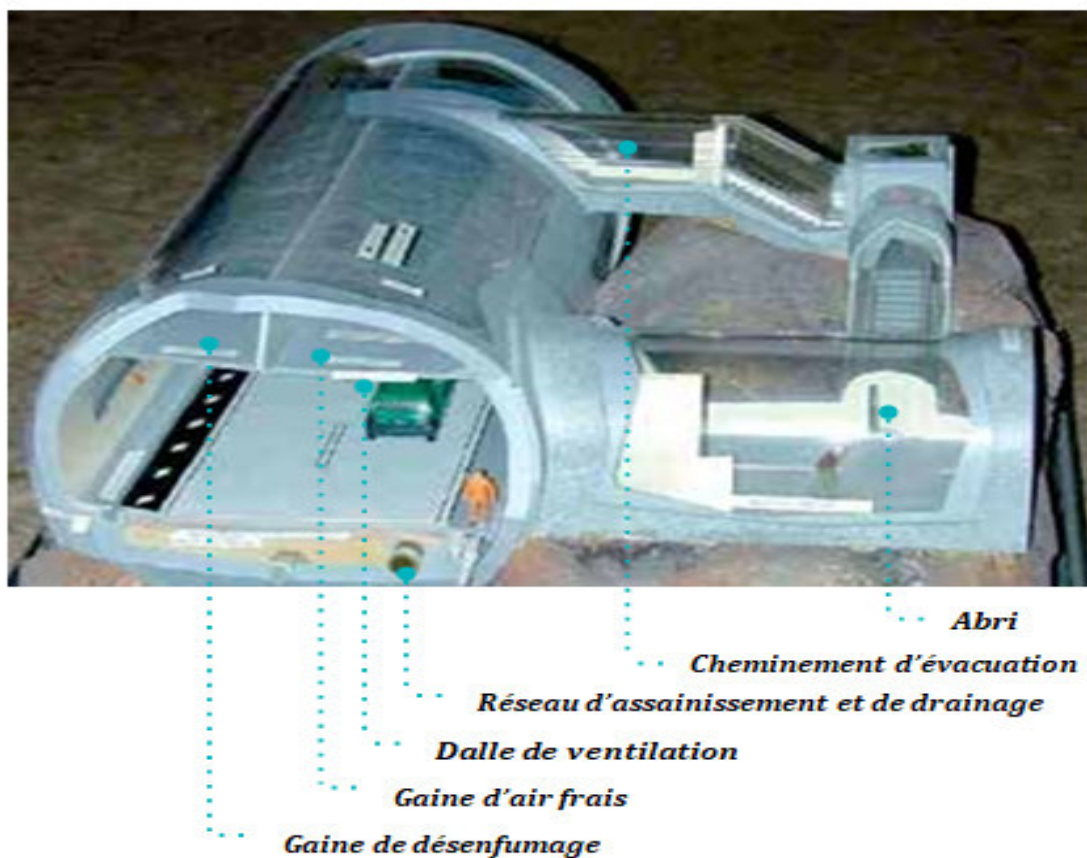


Figure IV.18 : vue éclatée de la composition d'un ouvrage [9].

III.2.3 Les différents éléments constitutifs d'un tube :

III.2.3.1 Les têtes :

Ce terme a deux significations :

- **spatiale** : il désigne les points d'en trémens ou terrain ou de sortie.
- **structurale** : il désigne aussi les ouvrages spécifiques qui peuvent être construits aux extrémités du tube creusé.

Tête « naturelle ».

Dans de nombreux tunnels anciens, l'entrée en souterrain se fait directement dans le front rocheux. Bien que celui-ci ait été plus ou moins remanié lors du percement, il n'y a aucun aménagement construit au droit de l'entrée. Ces zones, souvent mal définies géométriquement, peuvent générer des dangers pour les usagers.

« Fausse » tête.

Pour supprimer les dangers que peuvent présenter les têtes naturelles, des constructions particulières sont parfois édifiées aux entrées, afin de consolider le front rocheux et protéger les usagers contre les risques de chutes de pierres. Leur longueur à l'air libre est très variable, depuis le simple mur tympan plaqué au rocher jusqu'à la fausse tête de plusieurs mètres prolongée par des murs en ailes.

Les talus des tranchées d'accès aux tunnels ou aux tubes peuvent être revêtus (maçonnerie, béton) ou laissés bruts. Il en est de même de certains fronts rocheux dominant les entrées. Ils doivent être examinés dans les limites des moyens d'observation dont dispose l'inspecteur.

Au-delà, l'intervention d'une entreprise spécialisée peut être décidée par le service gestionnaire.



Figure IV.19 : Tête « naturelle »

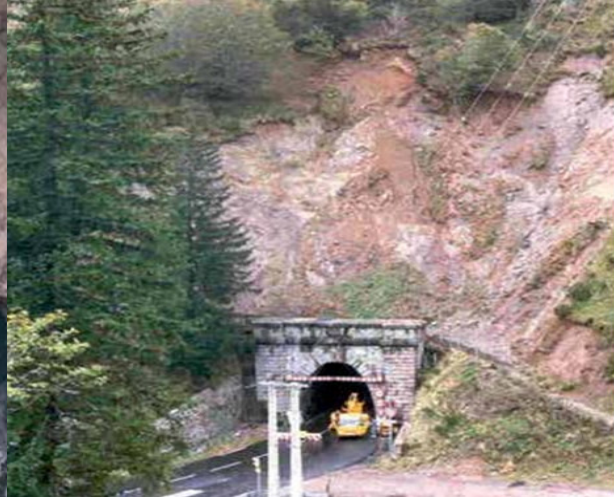


Figure IV.20 : « Fausse » tête

III.2.3.2 Ouvrages connexes :

On désigne par ouvrages connexes les stations de ventilation, les passages supérieurs ou autres types d'ouvrages qui prolongent souvent les tunnels de grande longueur et font office de « tête ». Il peut aussi s'agir de puits de ventilation, de galeries parallèles (techniques, d'évacuation, ...), de certaines stations de ventilation intermédiaires construites à partir de la surface jusqu'au niveau du tunnel.

Ces structures, très diverses, entrent dans le champ des inspections détaillées mais doivent être inspectées par des prestataires spécialisés (experts en bâtiments, spécialistes en travaux acrobatiques), différents des organismes ou bureaux d'études compétents en inspections de tunnels.

✓ SYSTÈMES DE VENTILATION

Les systèmes de ventilation peuvent être configurés en fonction de différents éléments clé, notamment le type de tunnel, la longueur, la pente ou l'intensité du trafic :

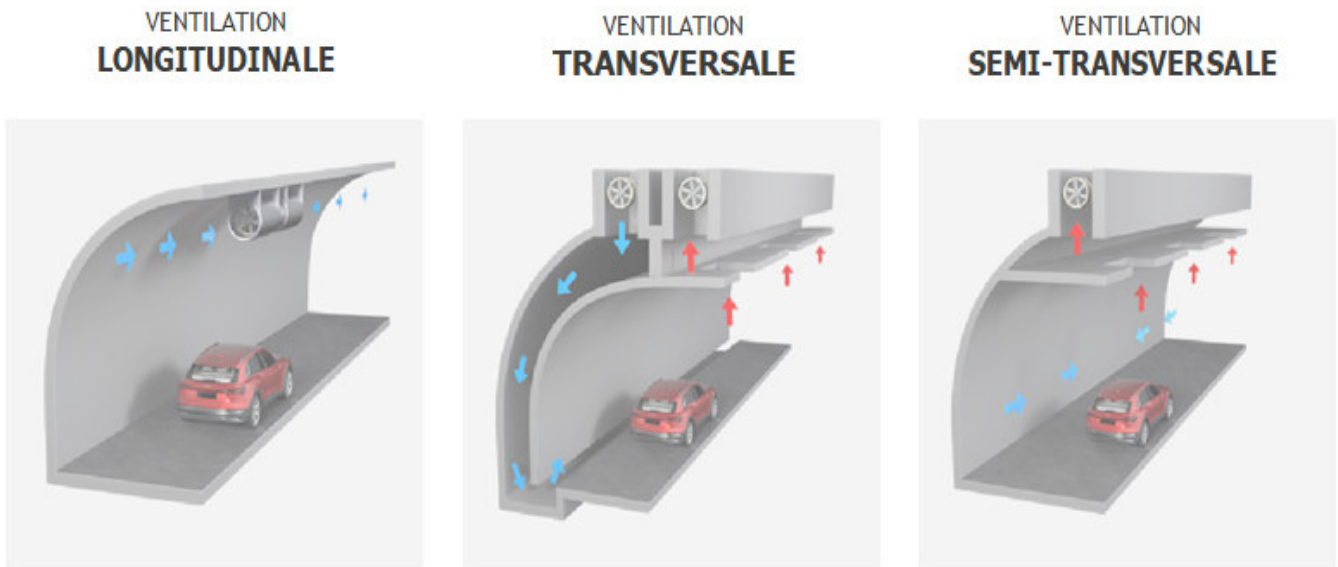


Figure IV.21 : SYSTÈMES DE VENTILATION [10].

III.2.3.3 La section courante :

Par opposition à la «tête», il s'agit de l'intérieur du tunnel au sens strict. Le terme fait référence au profil en travers prépondérant dans l'ouvrage. Des sections «non courantes» existent au droit d'aménagements particuliers, comme les galeries de retournement, les garages, les niches, les abris, ... Si les positions des fronts d'attaque de l'excavation sont précisément notées dans les documents relatifs au creusement, elles font référence à des points métriques (PM) de chantier dont la matérialisation a souvent disparu une fois l'ouvrage fini.

Cette perte d'information peut poser problème quand il s'agit de recalculer précisément la coupe géologique de l'excavation (ou les limites d'un soutènement, ...) sur le relevé d'intrados dans le but de chercher des corrélations avec des désordres constatés.

En l'absence de données plus précises, on considère que les extrémités des derniers anneaux entièrement coulés en souterrain constituent les limites de la section courante du tube.

Les limites entre la section courante et les diverses structures qui peuvent la prolonger (casquettes, fausses têtes, murs anti-recyclage des fumées, locaux techniques, ...) sont toujours marquées par des joints souvent identifiables.



Figure IV.22 : tunnel non revêtu.

III.2.4 Concepts de base dans la conception de tunnel :

La construction de tunnel suit un processus à la fois complexe et délicat qui fait face à de nombreux problèmes initialement inconnus. Il s'agit de mettre en place un ouvrage avec une structure n'étant pas clairement arrêtée au préalable dans un milieu méconnu où ni les charges peuvent être mesurées ni la réponse du tunnel en terme de contrainte et de déformation. En effet, Contrairement aux autres ouvrages, les tunnels sont conçus en reposant essentiellement sur les observations faites après entame de l'excavation car c'est là où l'on élimine peu à peu les incertitudes contournant le problème dans la phase de conception ou d'avant-projet.

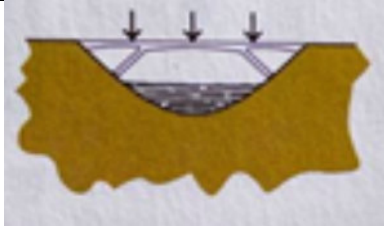
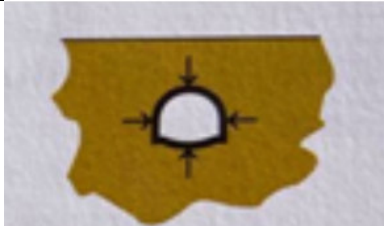
Type de travaux	Travaux de surface	Travaux en souterrain
		
Milieu	●	○
Action	●	○
Réaction	●	○
	● Déterminé a priori	○ Indéterminé

Tableau IV.1 : Différence entre la conception d'ouvrage en souterrain et en surface.

CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)

Mis à part que le terrain ait un nature inexploré à cause de la ponctualité des essais de reconnaissance, celui-ci peut s'approprier un comportement inédit face au creusement d'un tunnel.

Lorsque le sol est amputé de la matière, les contraintes autour de l'excavation seront déviées par la cavité créée et seront canalisés autour d'elle : c'est le principe de l'effet de voûte. Si les contraintes sont dans la bonne canalisation, on assure une pérennité de l'ouvrage.

Cette déviation se produit en fonction des charges à encaisser et les propriétés de contraintes déformation du sol en étant soit proche du profil de la section soit éloignée ou bien ne se produisant même pas. Le premier cas à lieu si le sol supporte le flux de contraintes déviées ayant une réaction élastique sans causer de déformation permanente, la dissipation de contraintes se fait naturellement sans intervention de stabilisation. Le deuxième cas se déroule quand le sol n'est pas capable de reprendre toutes les contraintes engendrées et donc réagit en se plastifiant. Le passage au domaine plastique engendrera bien évidemment une déformation définitive. Dans ce cas-là, le volume de sol affecté est plus important avec une propagation de l'effet allant plus loin que les parois du creusement cherchent la compatibilité entre les propriétés du sol et l'état de contrainte généré. Dans ces conditions-là, une aide est requise pour assurer la stabilité de l'excavation. Lorsque le sol n'est capable de reprendre aucune proportion de ces contraintes, on est alors dans le 3ème cas. Celui-ci étant le plus défavorable, le terrain réagit avec une rupture ou un effondrement de la partie excavée. Une intervention de stabilisation entière est nécessaire pour empêcher ces dégradations vues que le terrain ne participe guère à la reprise d'effort.

La réaction du sol face à l'excavation dépend grandement de sa nature et de sa consistance. On peut distinguer trois cas de stabilité : celle d'une roche, celle d'une argile ou celle d'un sable.

La consistance joue un rôle dans la définition de l'état de déformation de la cavité créée. On peut illustrer ces cas dans la figure qui suit :

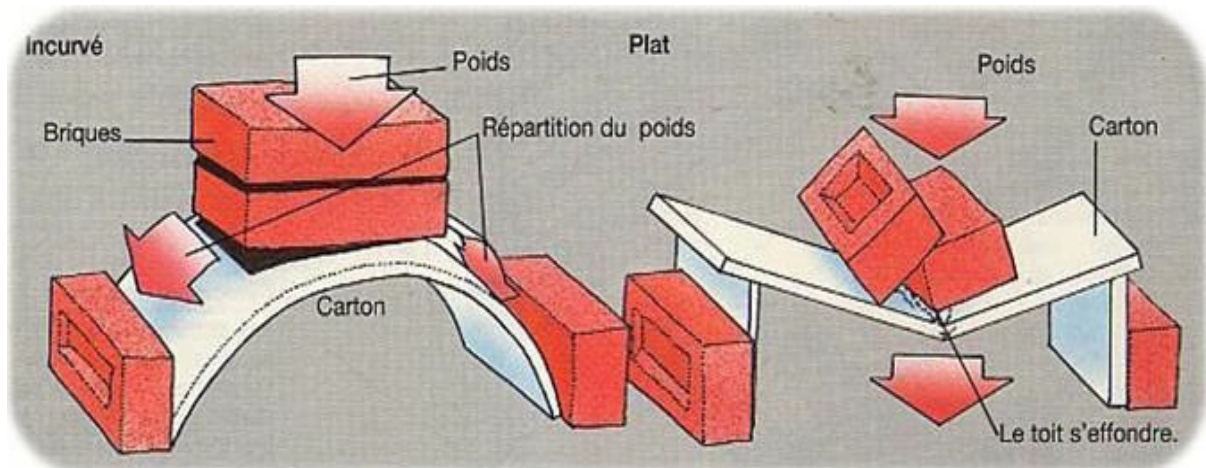


Figure IV.23: L'effet de voûte [11].

Etude de cas Tunnel Chevalley

- Le tunnel du Chevalley est un tunnel bidirectionnel
- Le but de la modélisation de cet ouvrage était d'analyser l'état du tunnel, afin de déterminer la nécessité d'une intervention.

Depuis le nuage des points collecter, et en utilisant le logiciel cyclone 3dr, nous pouvons analyser les points suivant :

- Vérifier la section du tunnel, en générant des profils en travers le long de l'axe de ce dernier.
- Vérifier l'état du béton (la présence ou pas des fissures etc ...).

CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)

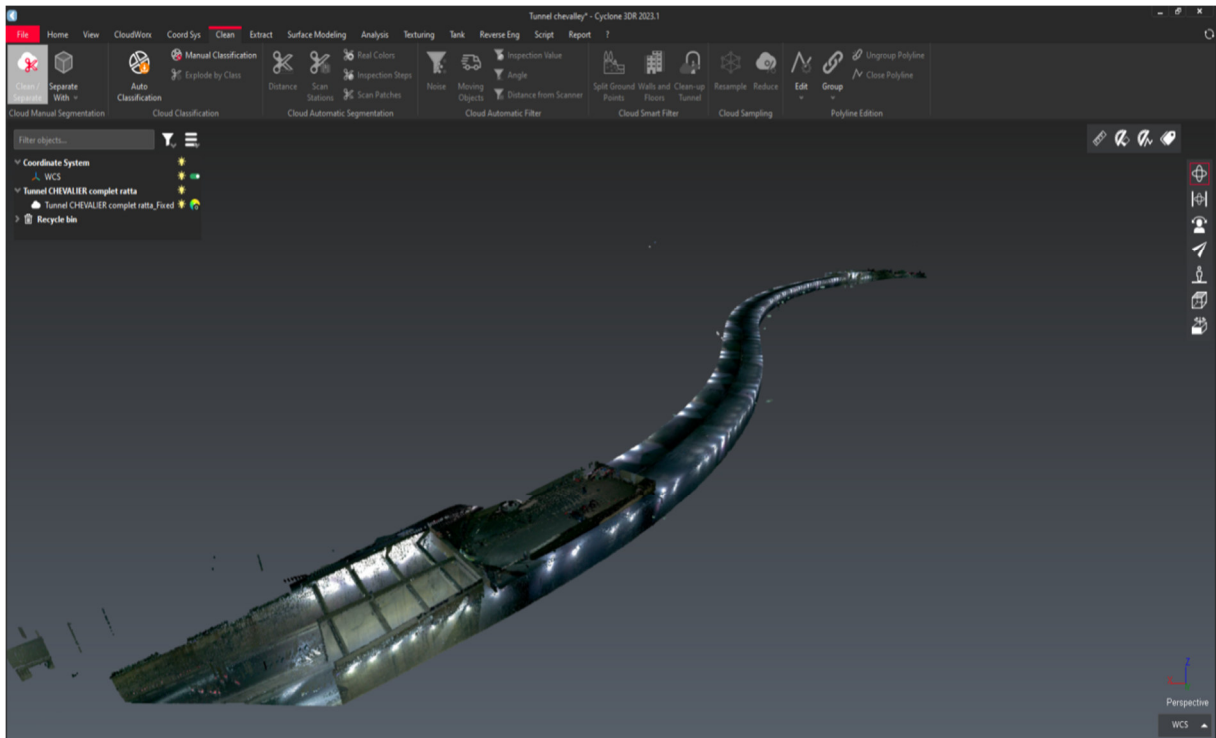


Figure IV.24: Tunnel Chevalley.

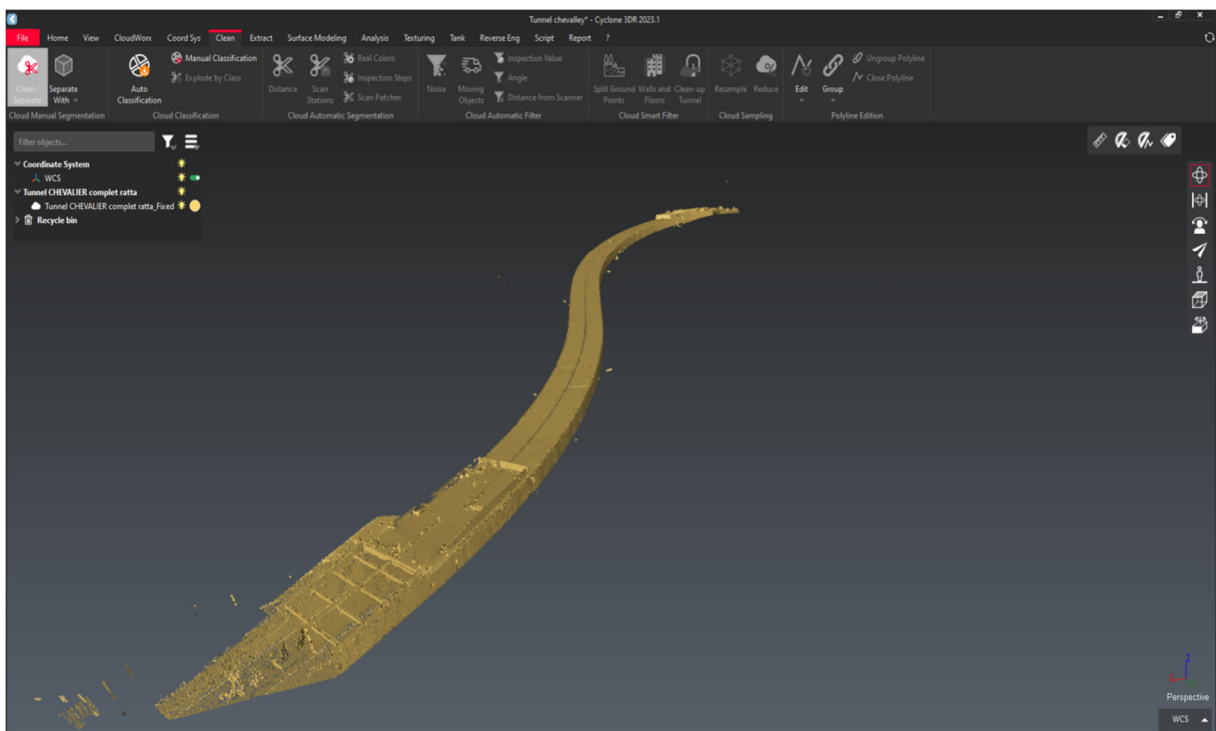


Figure IV.25 : Création d'un maillage 3D final du tunnel Chevalley.

CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)

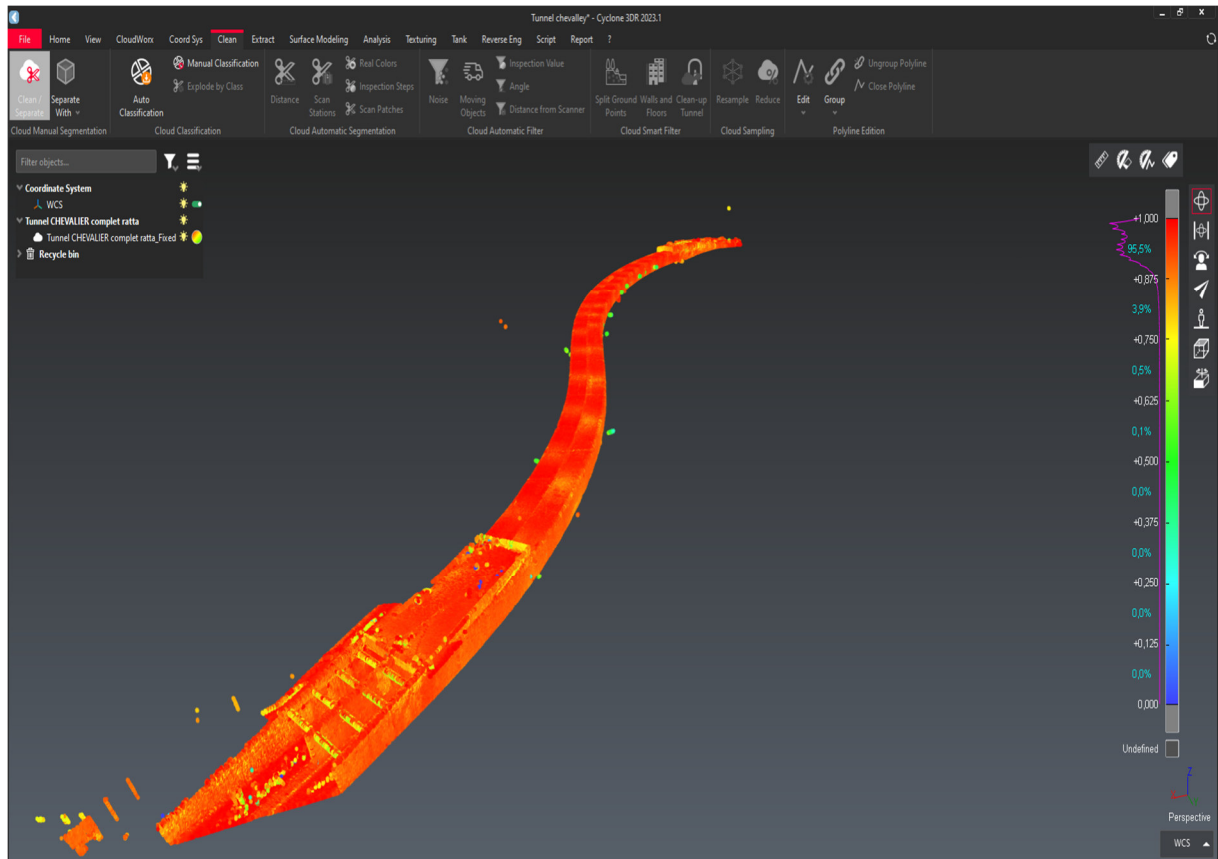


Figure IV.26 : Couleur selon l'axe Z Tunnel Chevalley.

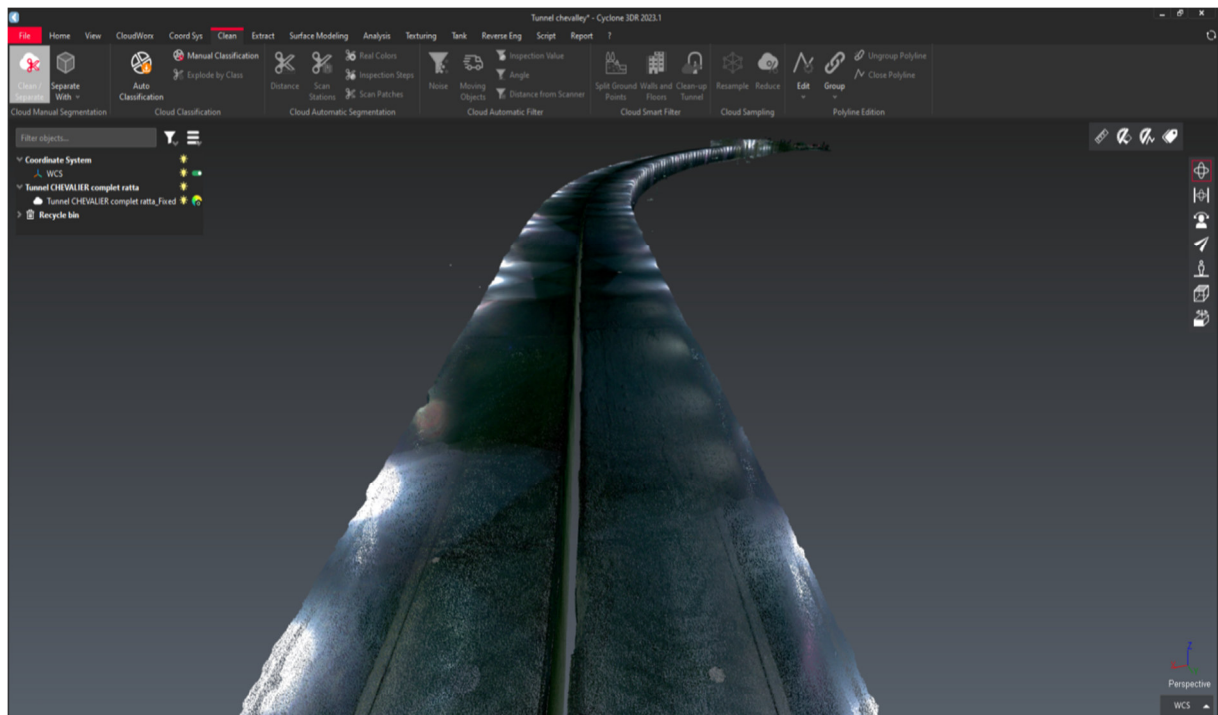


Figure IV.27 : Point nuageux avec plafond tunnel.

CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)

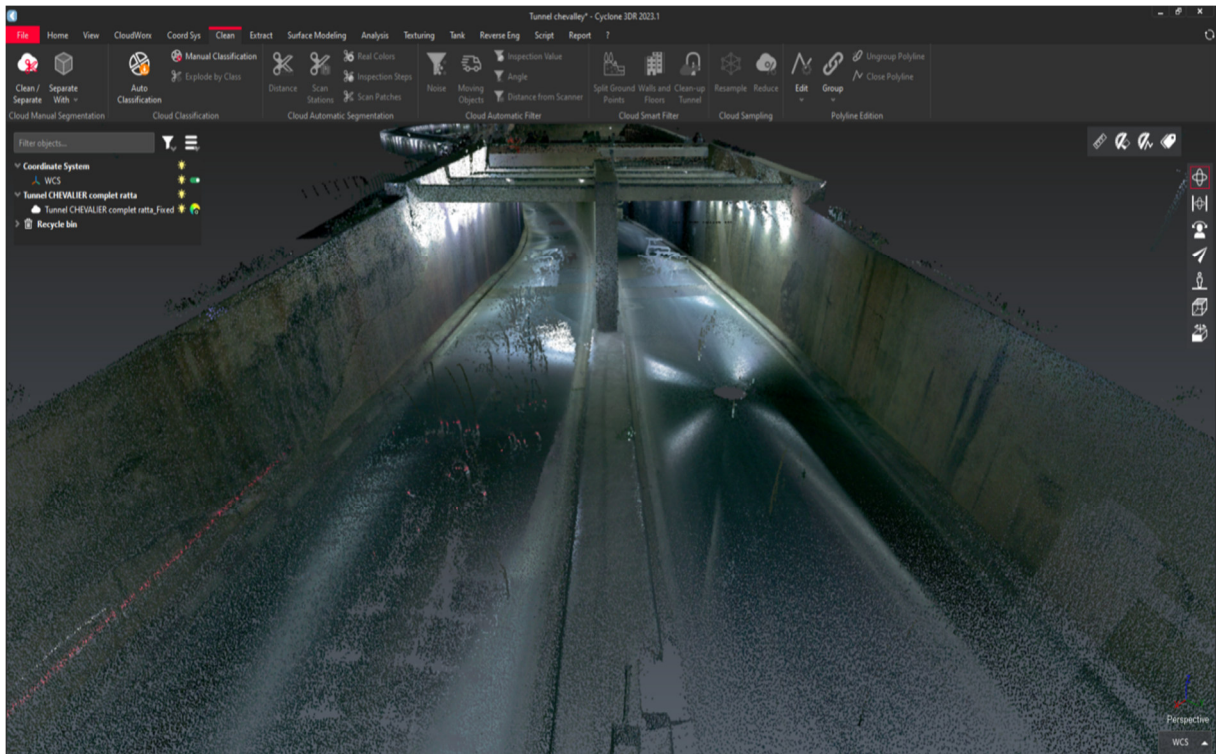


Figure IV.28 : Un nuage de points pour le toit des deux façades de tunnel de l'intérieur.

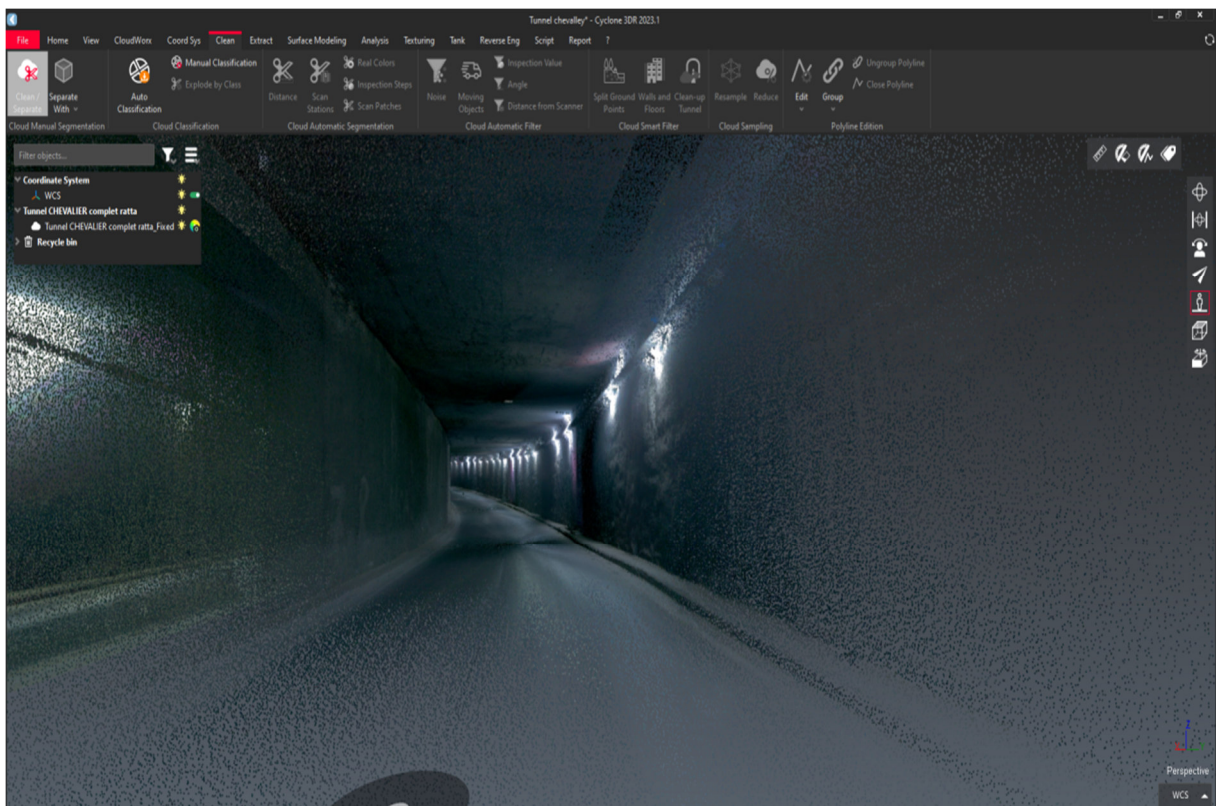


Figure IV.29 : Nuage de points à l'intérieur du tunnel.

CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)

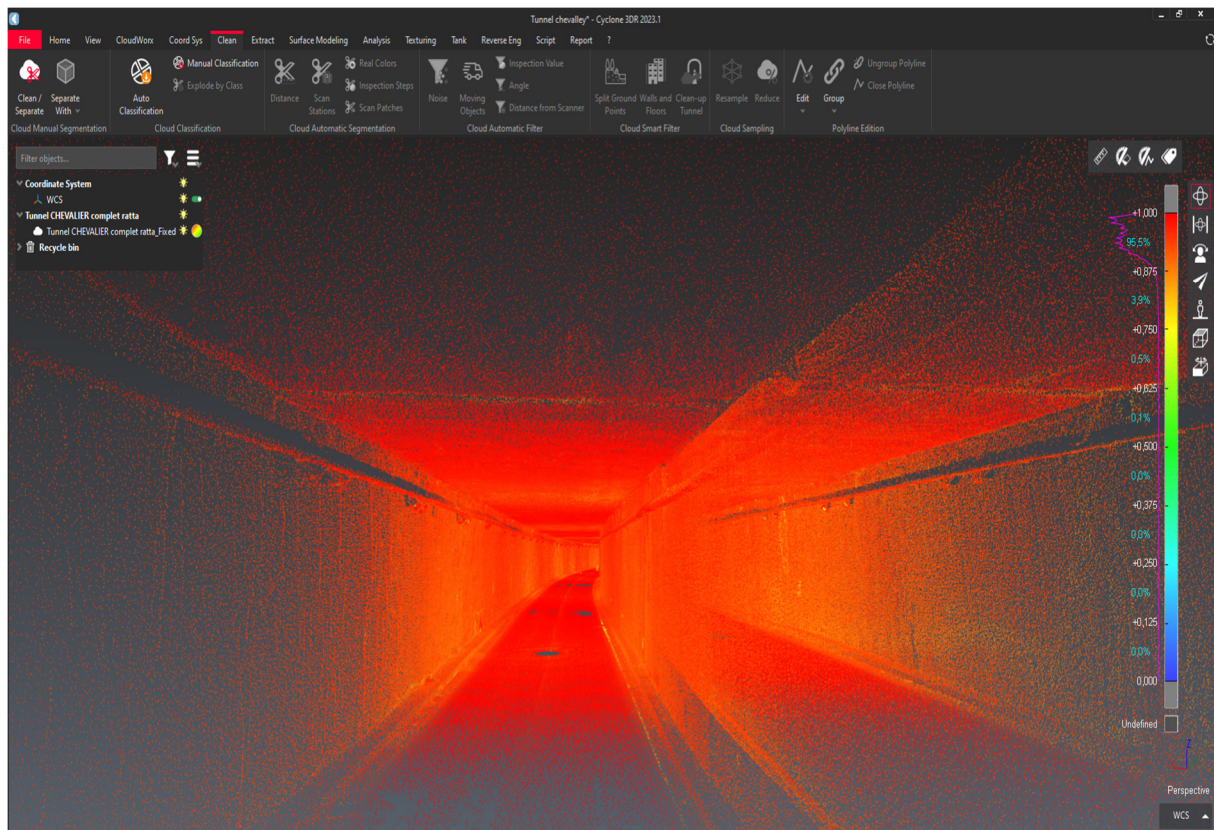


Figure IV.30 : Couleur selon l'axe Z à l'intérieur du tunnel .

Etude de cas Tunnel de Sidi Aich

IV.1 Présentation générale :

Dans le cadre de la réalisation d'une liaison autoroutière reliant le port de Bejaïa à l'autoroute Est-Ouest, et dans le but d'améliorer le réseau routier national, le ministère des travaux publics et des transports a lancé le projet de réalisation de la pénétrante de Bejaïa qui s'étale sur 100km afin de faciliter les échanges et le transport de marchandise depuis le port et offrir plus de confort aux usagers de la route vers Béjaïa. Cette pénétrante stratégique, une fois livrée entièrement, éliminera un taux considérable de la congestion au niveau de l'ancienne route : la route nationale RN 26 et qui devient de plus en plus infernale surtout au sein des petits villages. Le projet a débuté en 2013 et une grande partie est déjà achevée. L'une des raisons pour lesquelles les délais n'ont pas été respectés était la complexité de la réalisation du tunnel de Sidi Aich ; en outre des problèmes d'expropriation des terrains agricoles et des villageois.



Figure IV.31: Pénétrante autoroutière P16 de l'autoroute A1 entre Bejaia et Ahnif.

IV.2 Fiche technique du projet :

Intitulé du projet : Liaison Autoroutière reliant le port de Béjaïa à l'Autoroute Est-Ouest au niveau d'Ahnif sur 100km.

Descriptif du projet : Il s'agit d'une pénétrante autoroutière qui relie la ville de Béjaïa à l'autoroute A1 Est Ouest.

Maitre d'ouvrage : L'Algérienne des Autoroute (ADA).

Maitre d'œuvre : KyungDong Civil Engineering & Construction Company (bureau d'étude sud-coréen).

Bureau de contrôle et de suivi BCS : Dar-El-Handassa.

Entreprise de réalisation : Groupement Sino-Algérien : CRCC et SAPTA.

Point d'origine de la pénétrante : RN12 et RN9.

Point d'arrivé de la pénétrante : L'échangeur El Adjiba de l'autoroute Est-Ouest.

Nombre de voies : Un profil de 2x3 avec une largeur totale de B=33m.

Date début du projet : 2013 Taux d'avancement : 50% à ce jour.

Compte tenu du linéaire important de la pénétrante, l'ensemble des travaux de reconnaissance, de collecte des données, de conception et réalisation de cette liaison ont été divisés en trois sections selon le tableau suivant :

Section 1	Section 2	Section 3
Du PK0 au PK 22	Du PK 22 au PK 48	Du PK 48 au PK 100

- **Tableau IV.2** : Division des sections.

CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)

L'objet du présent mémoire se portera sur le tunnel se trouvant dans la section 2 du projet de la réalisation de cette pénétrante autoroutière [12].

→ **Conclusion.**

La surveillance et le suivi de la performance des ouvrages, en particulier des ouvrages d'art, sont compliqués par les nombreux risques auxquels un site Web peut être confronté. Par conséquent, des méthodes réglementaires, de surveillance et de contrôle appropriées sont nécessaires pour maîtriser les risques techniques, les coûts et les périodes de validité.

Remarque

Les études de terrain étaient sous la supervision du professeur KERMICHE Abdellatif Fawzi

.

— Conclusion générale.

Dans ce mémoire, nous comparons les méthodes toujours utilisé en Algérie pour surveiller les travaux de construction et les travaux, ainsi que les méthodes de surveillance modernes qui s'appuient sur la technologie de balayage laser 3D.

La numérisation laser 3D est un développement impressionnant et constitue désormais une alternative fiable dans le domaine de la réalisation de relevés topographiques détaillés et de la supervision de la construction. Il a été décrit comme une solution intéressante, une approche qui produit un plan précis et détaillé, mais aussi des coupes verticales et des visites virtuelles des lieux. Le temps nécessaire pour prendre des mesures et établir différents plans est attrayant en termes de précision, de fiabilité, de polyvalence, de rapidité et de portabilité.

Les scanners laser 3D sont des outils faciles à utiliser et Ils permettent de révolutionner les techniques de mesures dans la construction. C'est aussi Cette solution séduit par son efficacité et sa capacité à ouvrir de nouvelles perspectives. De notre point de vue personnel, ce fut une expérience très enrichissante. On a pu apprendre de nouvelles méthodes de travail et découvrir de nouvelles perspectives dans le métier de géomètre. Nous pensons sincèrement qu'ils sont l'avenir du métier. Ce fut très intéressant de les traiter. De plus, l'aspect recherche bibliographique et test de divers programmes disponibles nous a permis d'acquérir des connaissances de base sur le traitement et le modèle de données 3D. Nous également pris conscience de l'importance des études de recherche et de développement d'outils pour permettre l'automatisation de tâches. La communauté de développeurs grandit sans cesse et il est primordial de la suivre pour avoir les meilleurs outils et méthodes.

Références bibliographiques

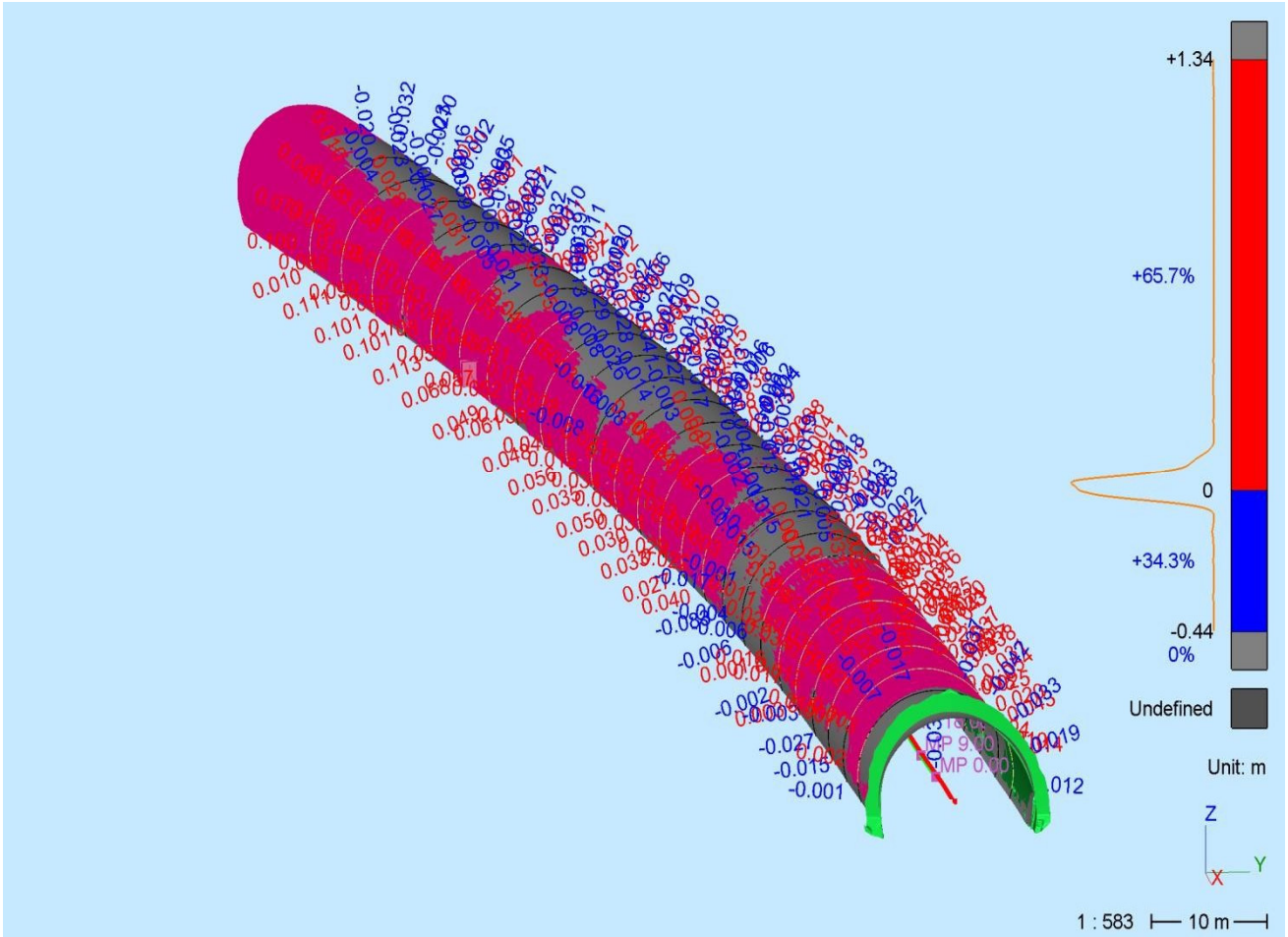
- [1] [theme-suivi-et-contrôle-dun-chantier \(slideshare.net\)](https://www.slideshare.net/theme-suivi-et-contrôle-dun-chantier) AMROUNE SOUNDOUS & AMROUNE SOUAAD Intitulé (L'exploitation du scanner 3D dans le suivi et le contrôle des ouvrages) Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique , UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA , Promotion 2019 /2020.
- [2] <https://www.letsbuild.com/fr/blog/inspection-de-la-construction-le-pilier-de-votre-gestion-de-la-qualite-en-construction>
- [3] IDRRIM GUIDE https://www.idrrim.com/ressources/documents/10/5959-IDRRIM_Guide_Commande-d-inspection-.pdf Page 13.
- [4] Contrôle et maintenance des ouvrages en béton armé à Google .
- [5] <https://andersontech.fr/blog/le-scanner-dans-la-numerisation-3d/>
- [6] Medjahed Manal et Korichi Imane , Entitled: Technical control and monitoring of hydraulic sites using the 3D scanner laser ,Dissertation Submitted to the Department of civil engineering Partial fulfillment of The Requirements for the Degree of Master, UNIVERSITY OF MOHAMED BOUDIAF – M'sila , 2019/2020.
- [7] Biblus <https://biblus.accasoftware.com/fr/les-10-principaux-avantages-de-la-numerisation-laser-3d-dans-le-domaine-de-la-construction/>
- [8] Wikipedia https://fr.wikipedia.org/wiki/Ouvrage_d%27art
- [9] **GUIDE DE L'INSPECTION DU GÉNIE CIVIL DES TUNNELS ROUTIERS**
LIVRE 1 : DU DÉSORDRE À L'ANALYSE, DE L'ANALYSE À LA COTATION .
- [10] SYSTÈMES DE VENTILATION POUR TUNNELS ET OUVRAGES SOUTERRAINS.
- [11] <https://slideplayer.fr/slide/1680246/> **Slide player 16/24**
- [12] OUGUENOUNE Massila et HADDAD Imene , Thème : Etude des mouvements engendrés par le creusement d'un tunnel Approche numérique tridimensionnel Cas du tunnel autoroutiers de Sidi-Aïch, Pénétrante de Bejaïa , Mémoire Pour l'obtention des diplômes d'Ingénieur d'État et de Master École Nationale Supérieure des Travaux Publics , Promotion 2020/2021.

Annexes

Inspect Mesh vs Mesh

Theoretical : Section prévue

Measure : Section réelle

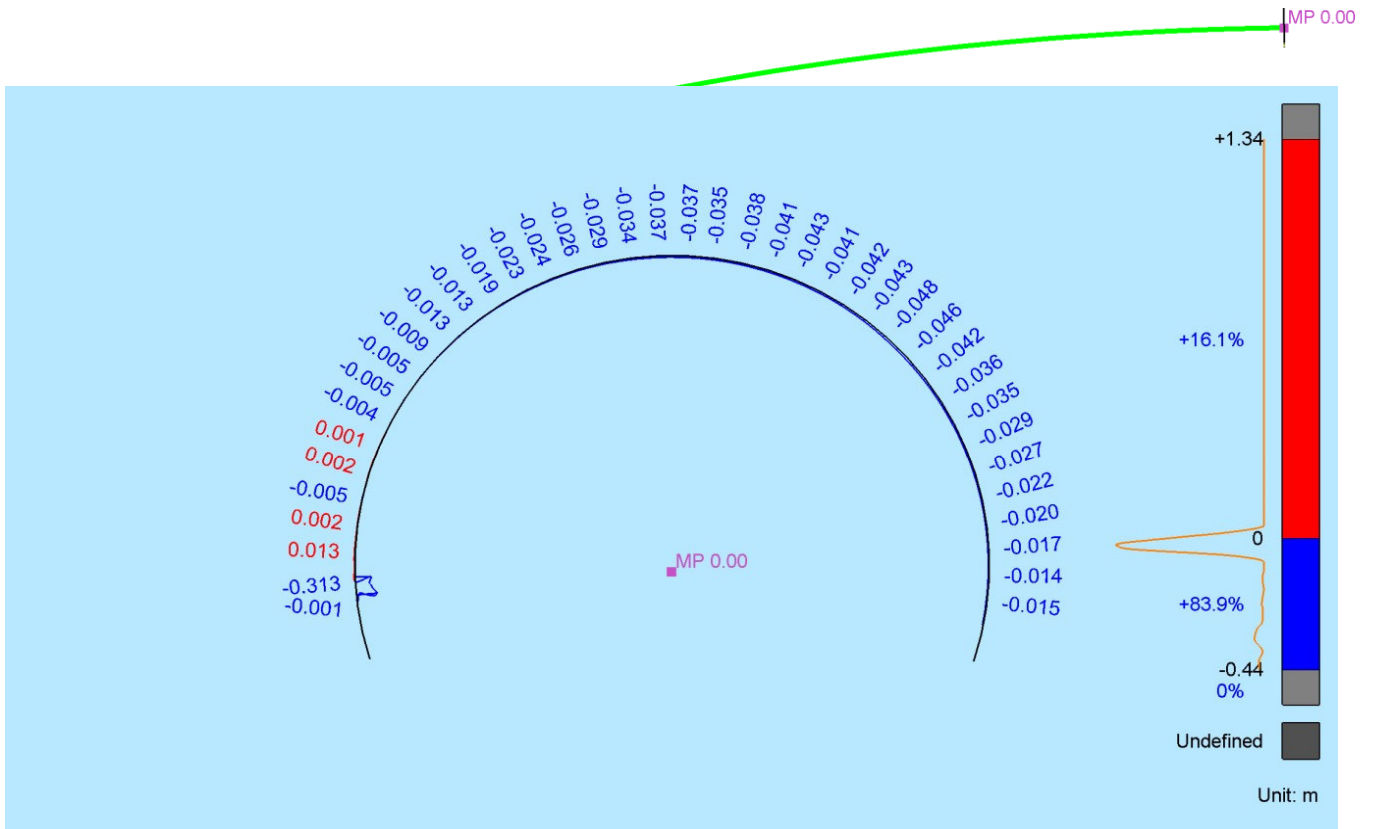


CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)

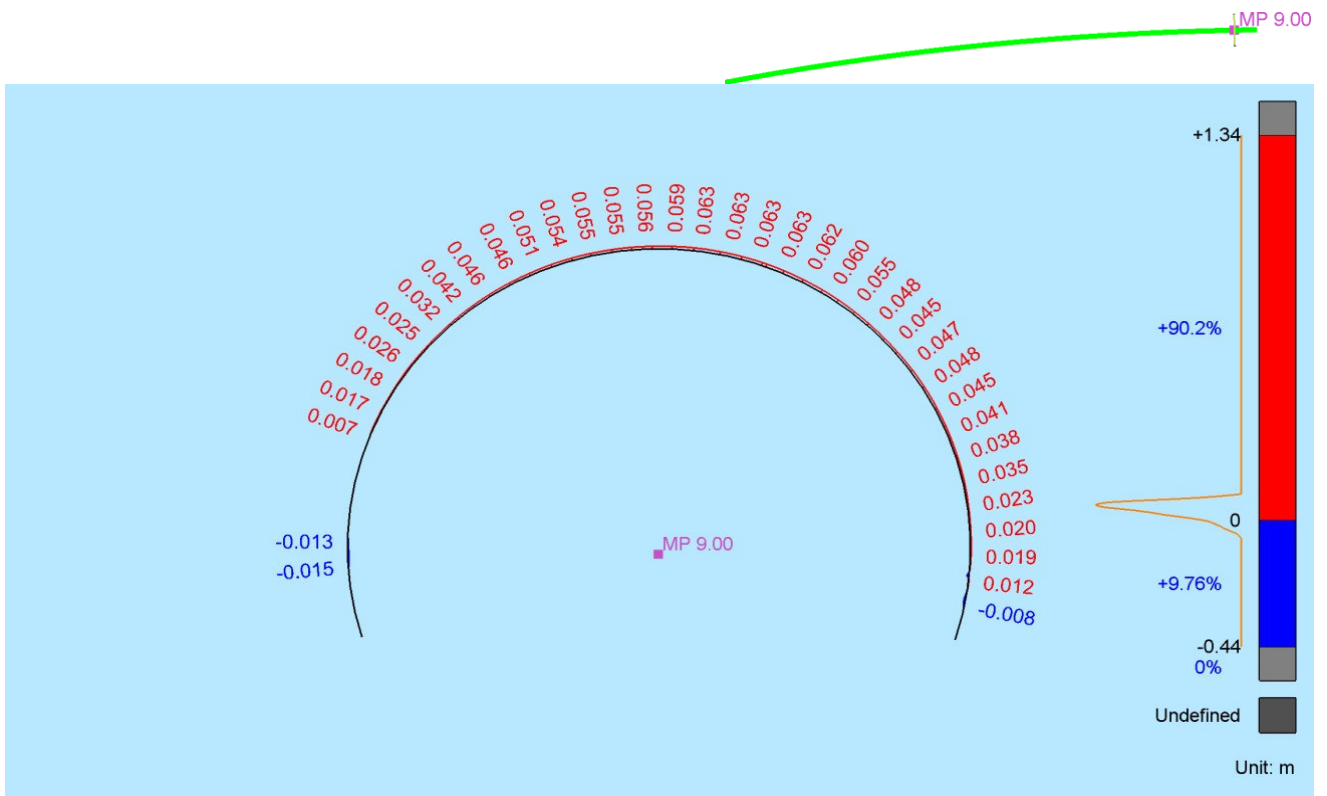
Section	Average Dev.(m)	Min. Dev.(m)	Max. Dev.(m)
MP 0.00	-0.05722	-0.4398	0.02895
MP 9.00	0.03786	-0.03785	0.07096
MP 18.00	0.01537	-0.15449	0.0451
MP 27.00	0.03077	-0.01056	0.05035
MP 36.00	0.02761	0.00228	0.04016
MP 45.00	0.01977	-0.01535	0.04211
MP 54.00	-0.00749	-0.23294	0.03039
MP 63.00	-0.01299	-0.07773	0.03476
MP 72.00	-0.00394	-0.08309	0.03759
MP 81.00	0.00294	-0.1721	0.05201
MP 90.00	0.02026	-0.0096	0.07328
MP 99.00	0.01398	-0.01483	0.03968
MP 108.00	0.01047	-0.0219	0.04228
MP 117.00	0.00461	-0.03414	0.05027
MP 126.00	-0.00839	-0.04892	0.03515
MP 135.00	0.01279	-0.03791	0.05908
MP 144.00	0.01356	-0.03573	0.06115
MP 153.00	0.32016	-0.03966	1.34175
MP 162.00	0.01589	-0.04742	0.08706
MP 171.00	0.02061	-0.03463	0.08756
MP 180.00	0.04528	-0.02705	0.1243
MP 189.00	0.01439	-0.13479	0.12575
MP 198.00	0.04809	-0.02172	0.12935
MP 207.00	0.04063	-0.03637	0.13203
MP 216.00	0.04732	-0.03306	0.14245

CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)

MP 0.00

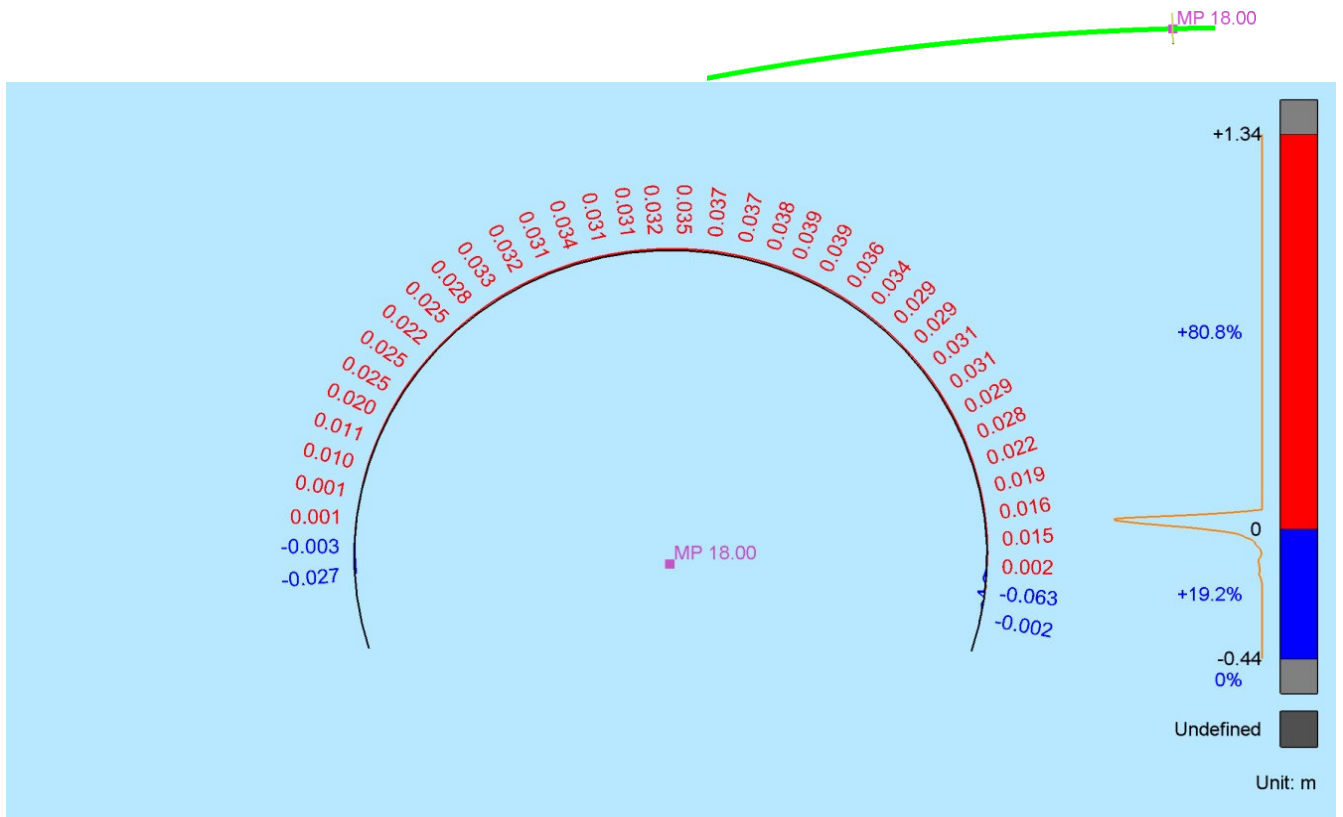


MP 9.00

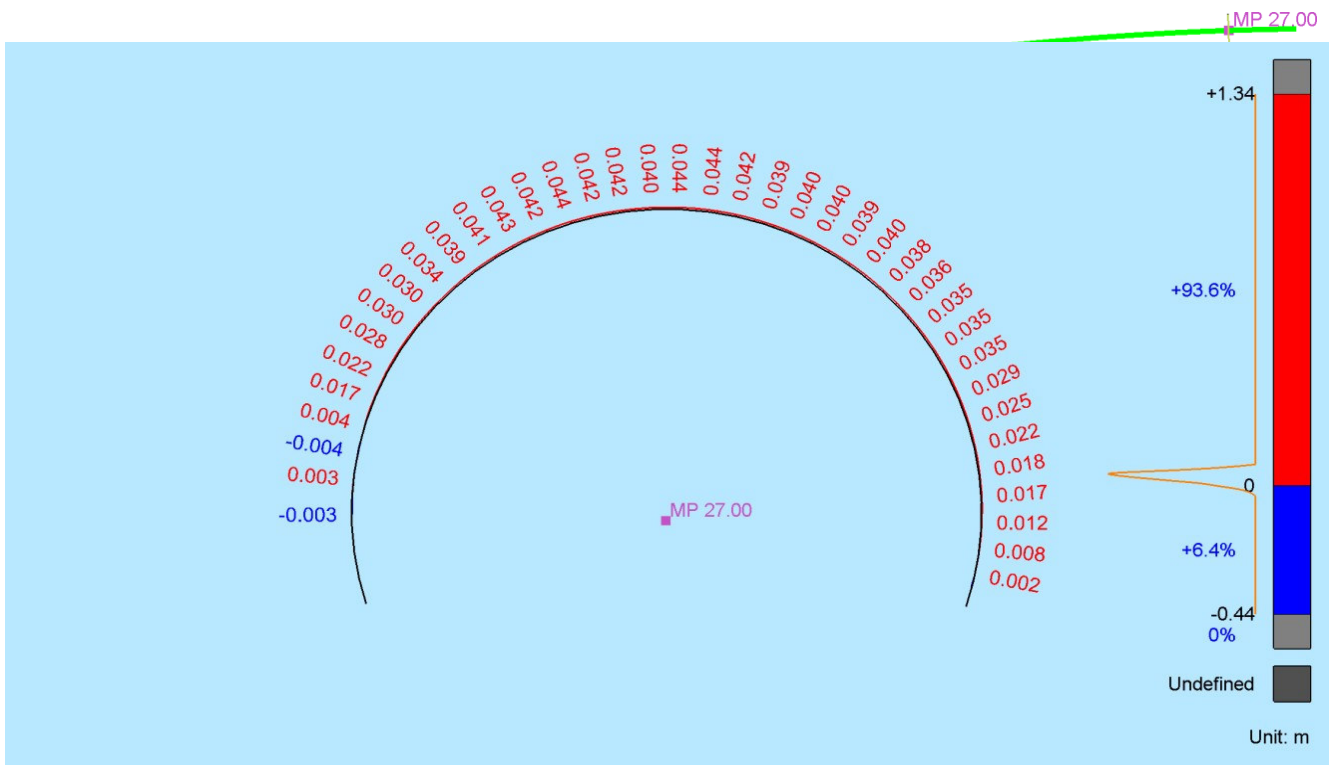


CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)

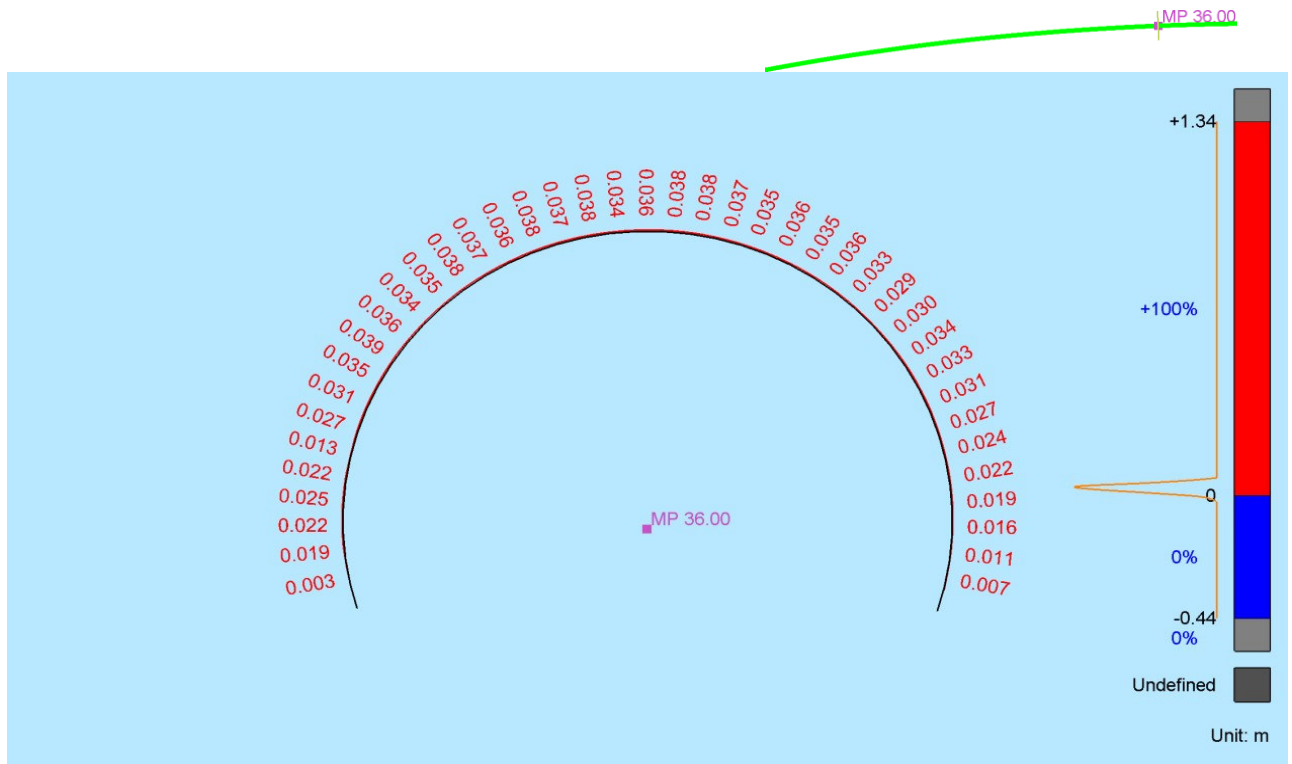
MP 18.00



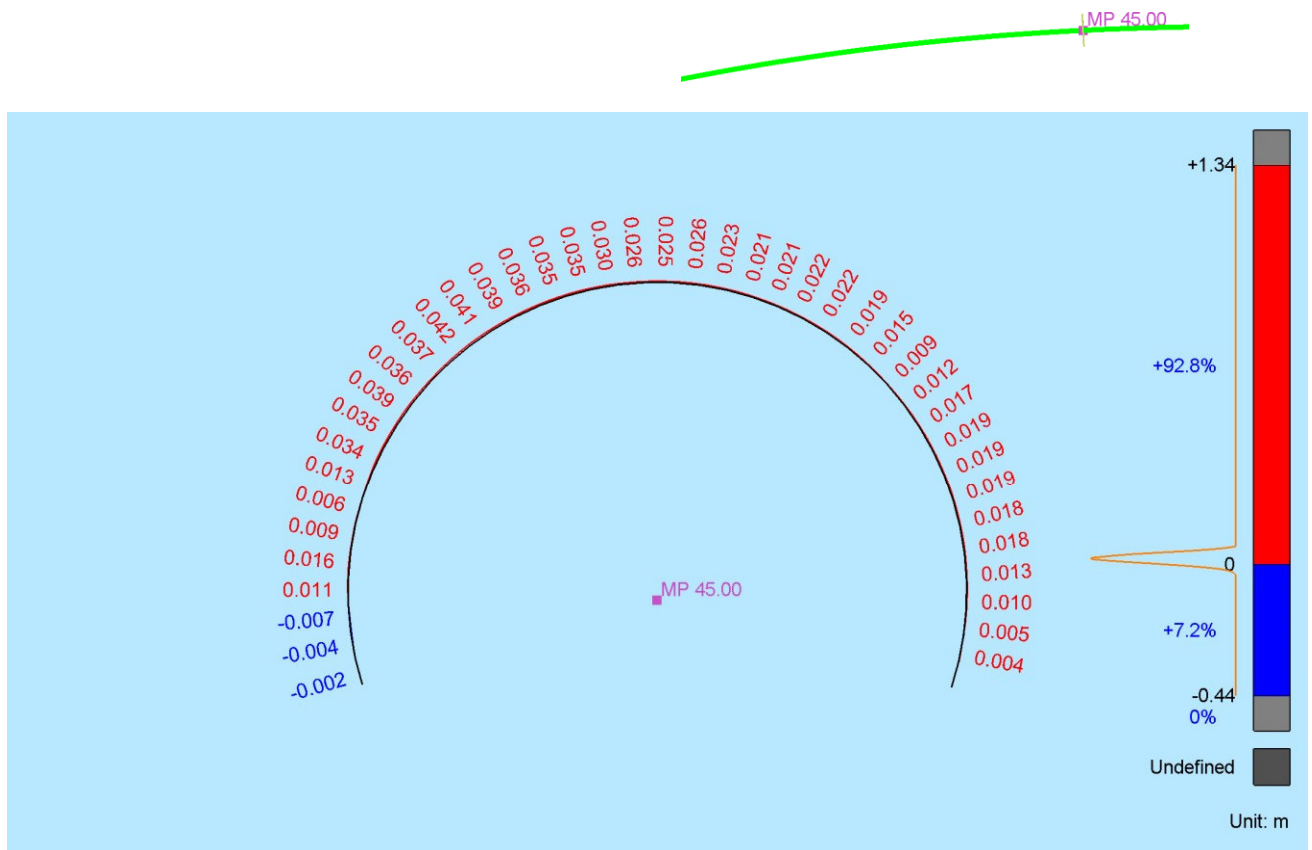
MP 27.00



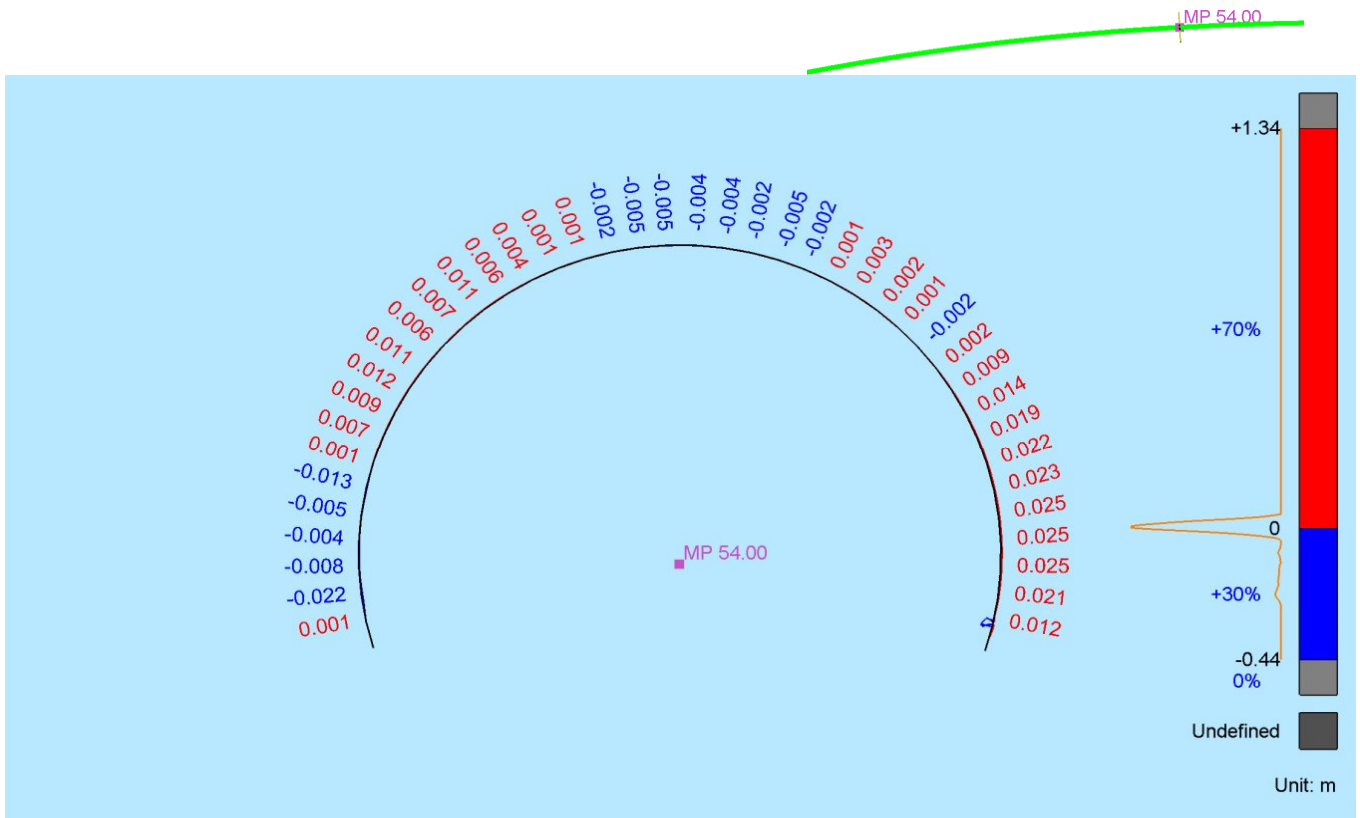
MP 36.00



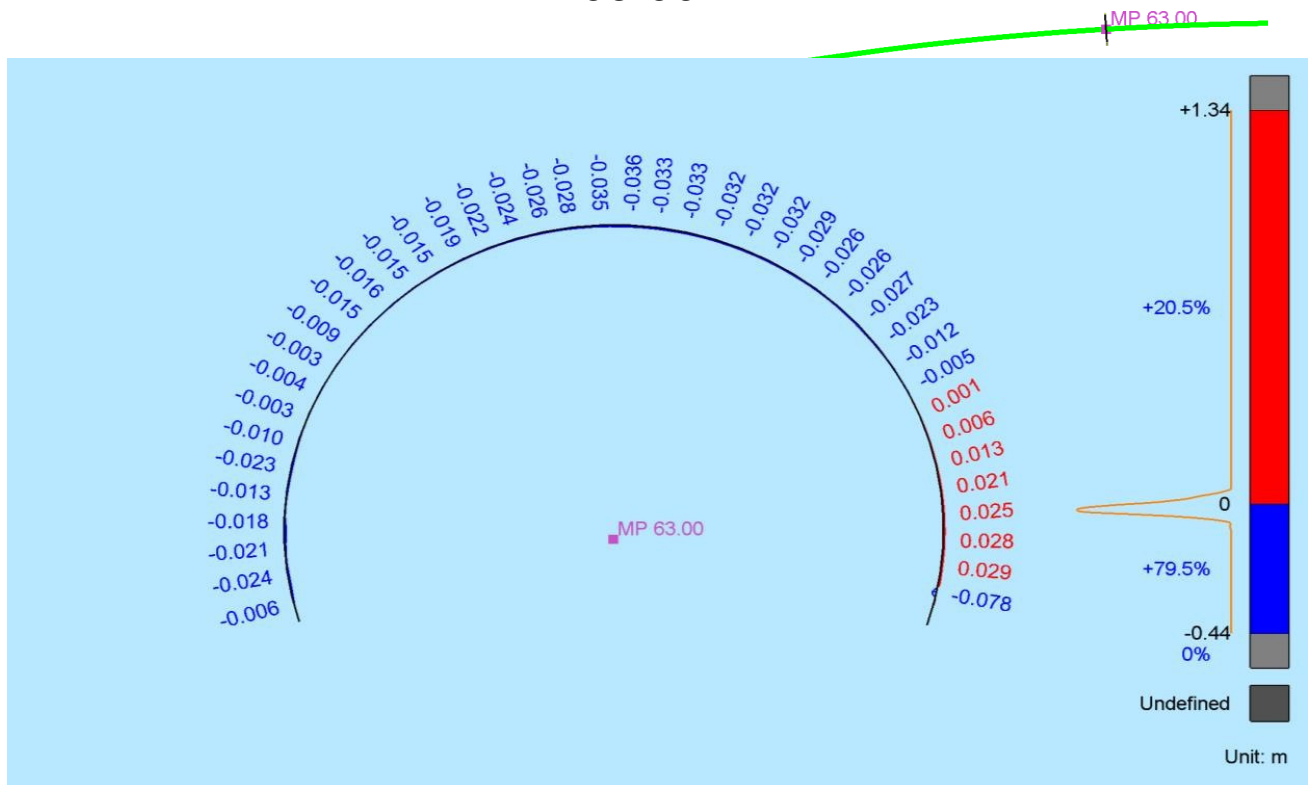
MP 45.00



MP 54.00

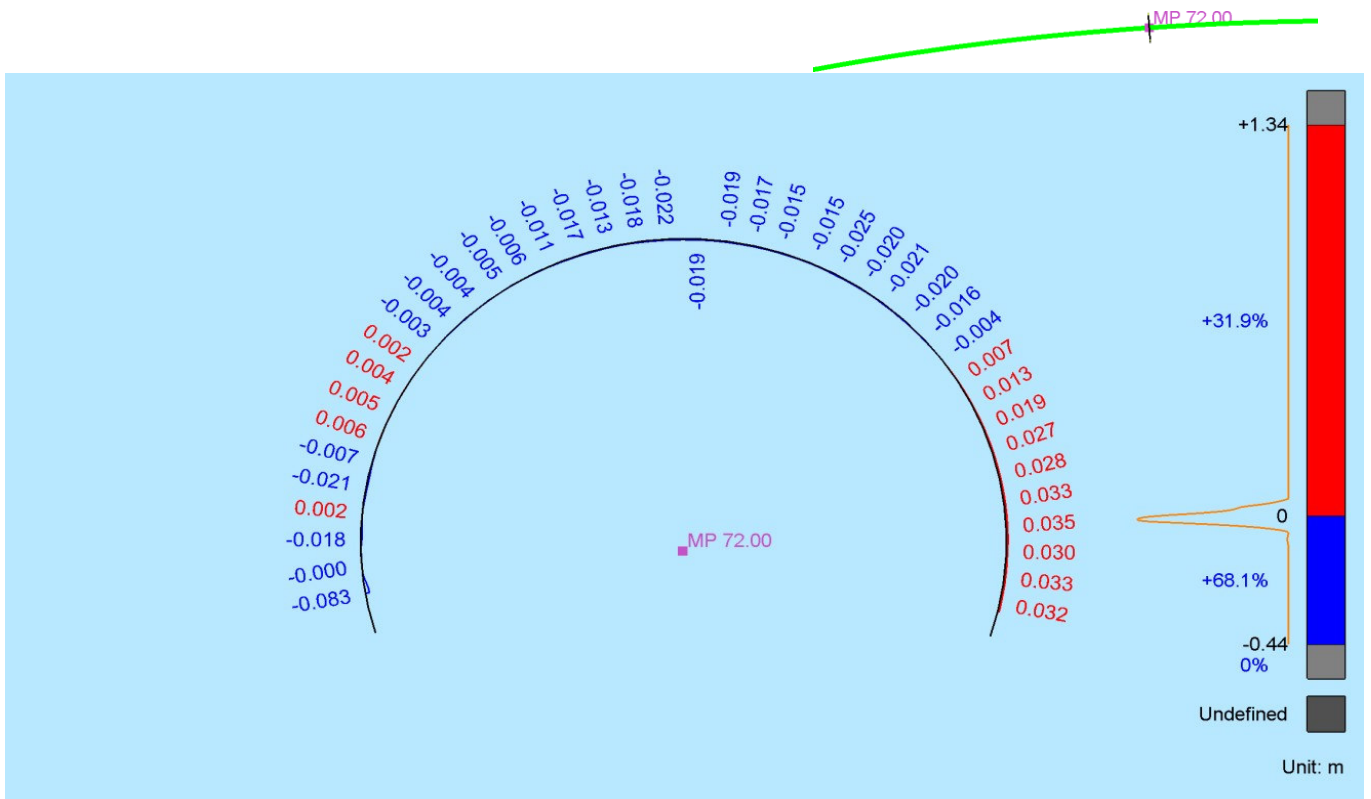


MP 63.00

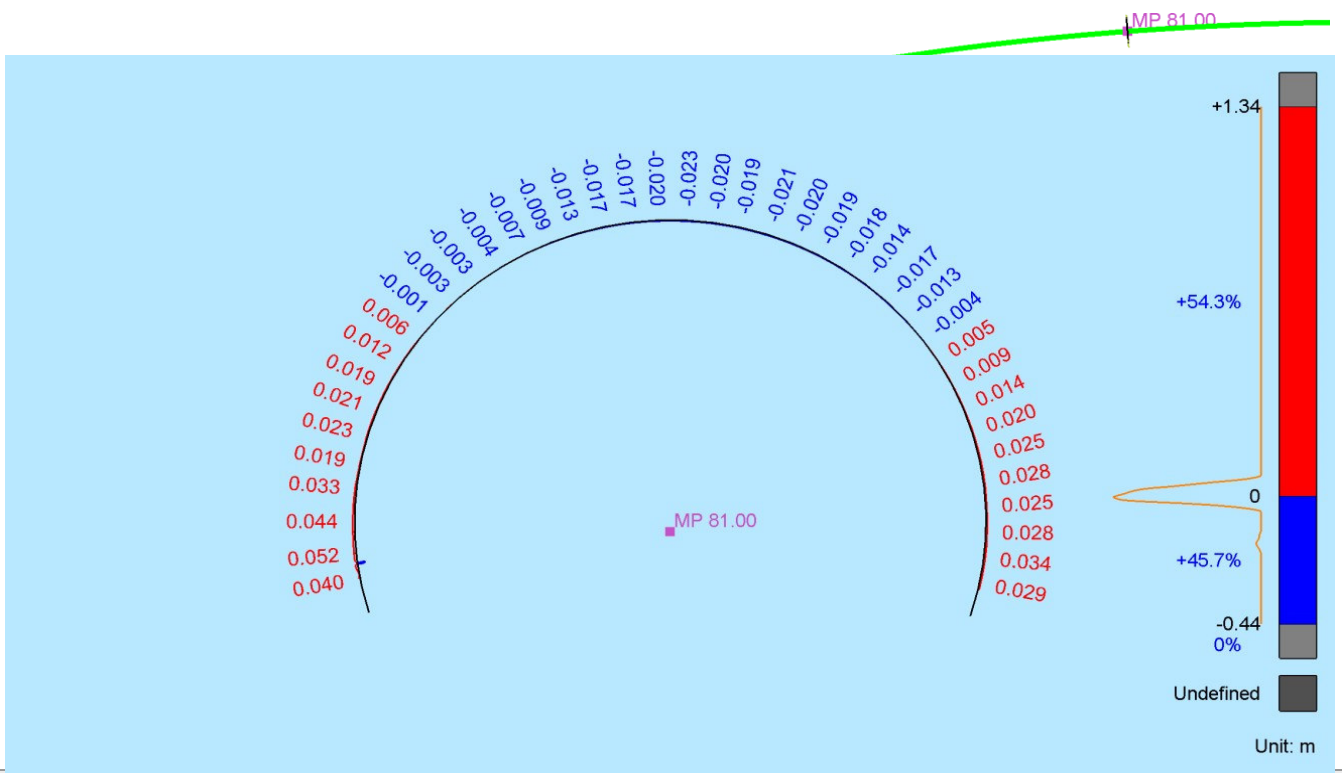


CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)

MP 72.00

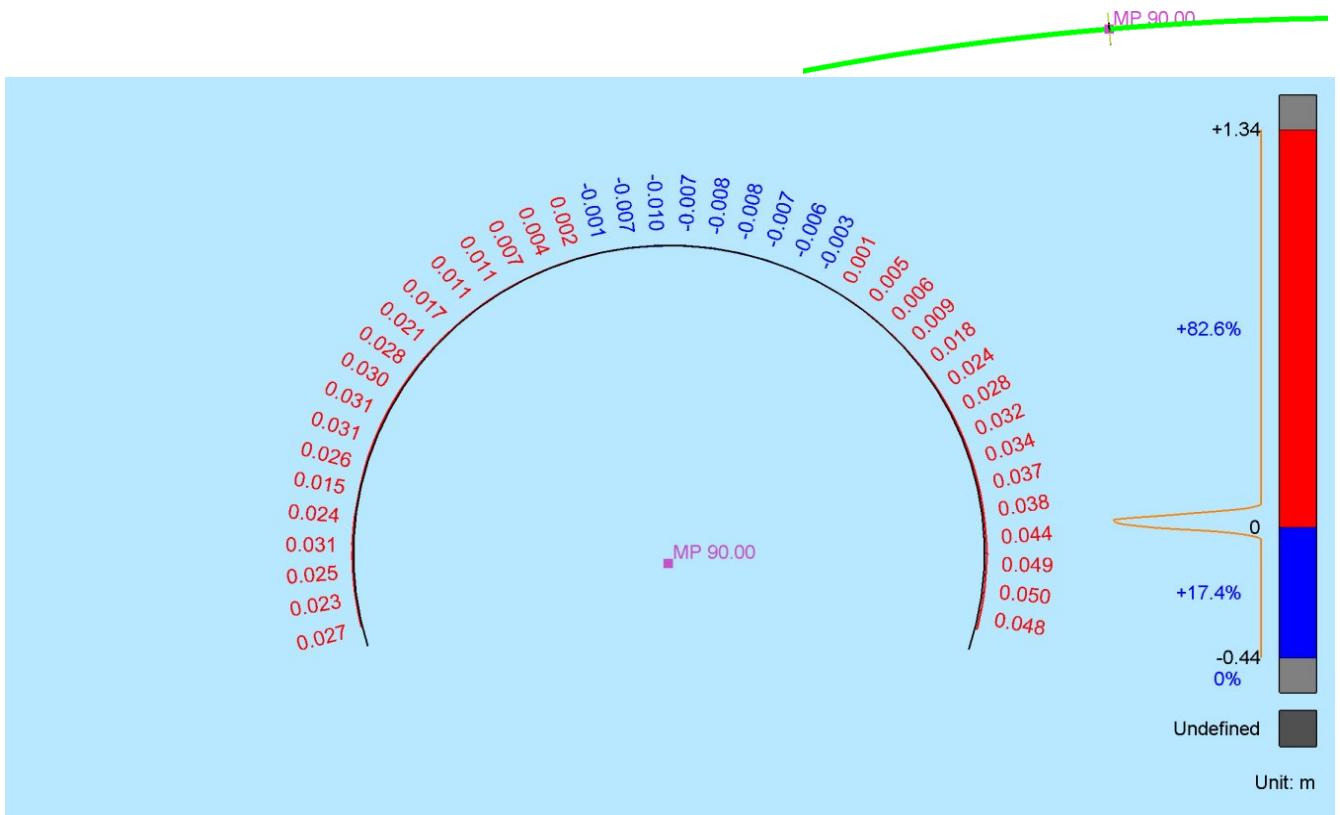


MP 81.00

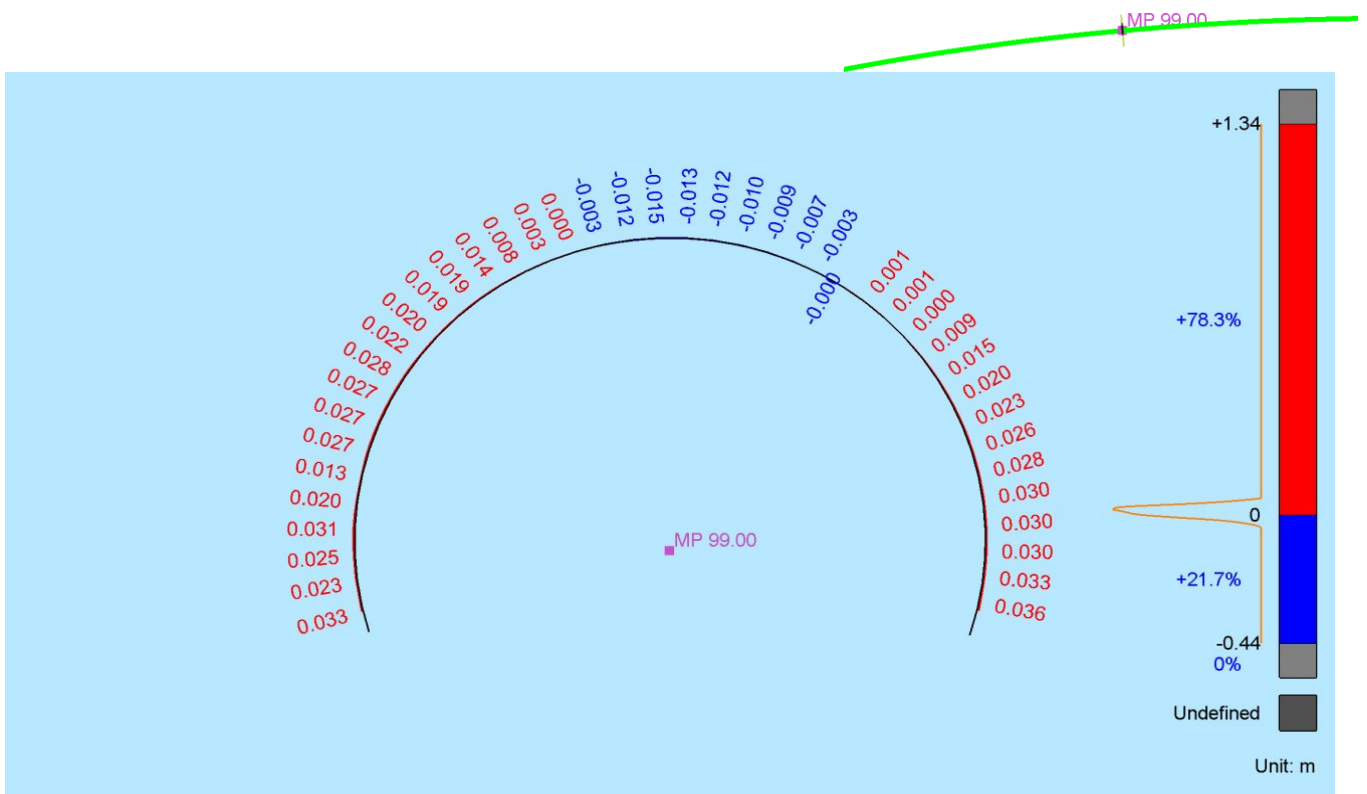


CHAPITRE IV : Etude de cas (Ouvrage d'art – Bâtiment – Tunnel)

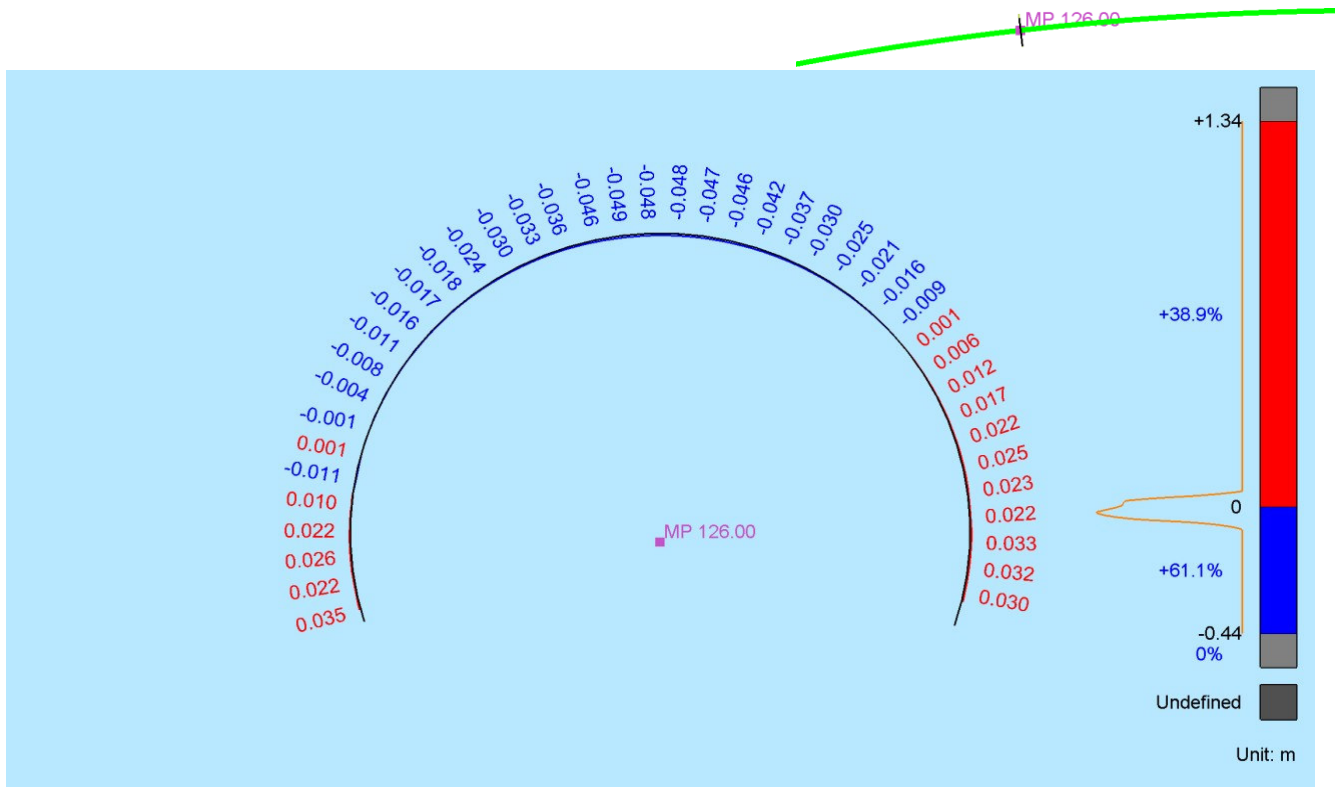
MP 90.00



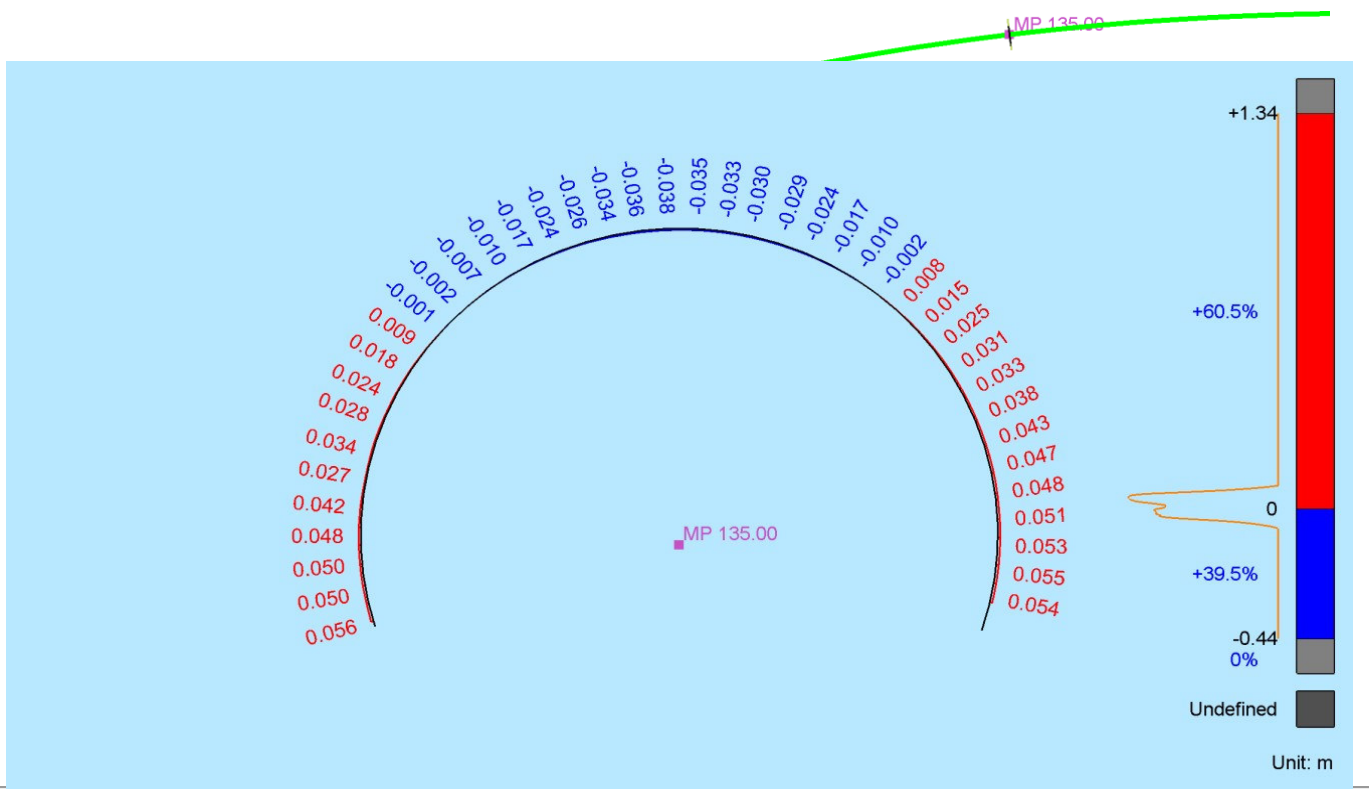
MP 99.00



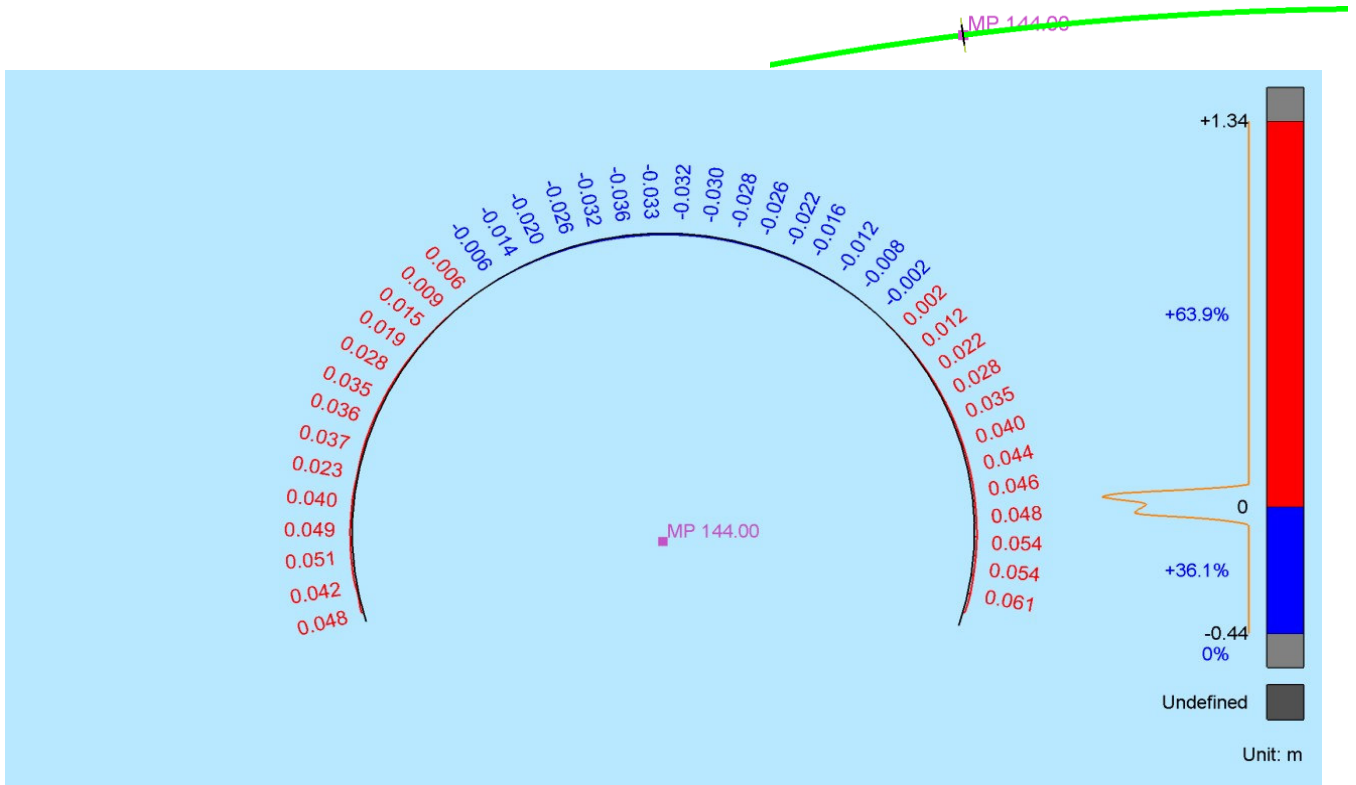
MP 126.00



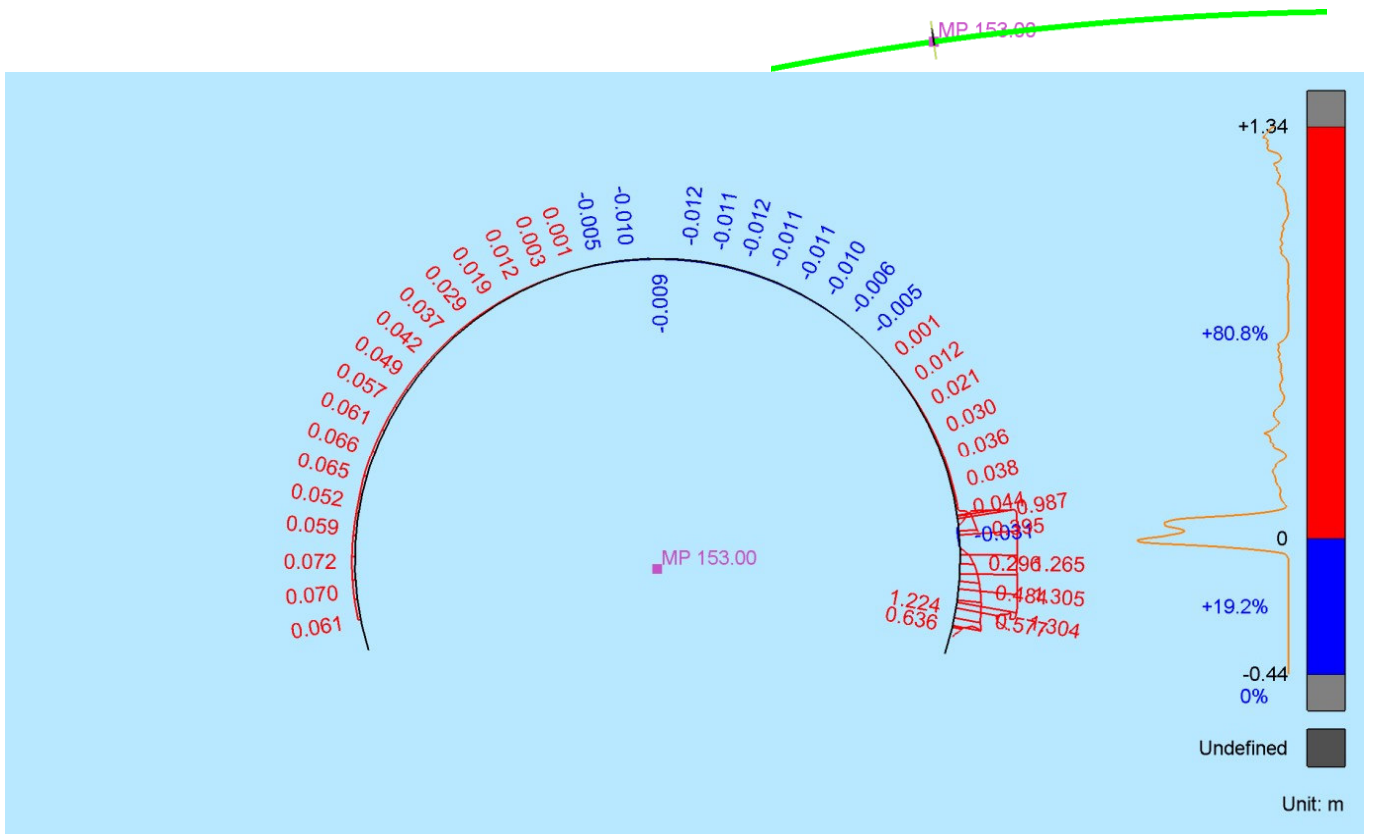
MP 135.00



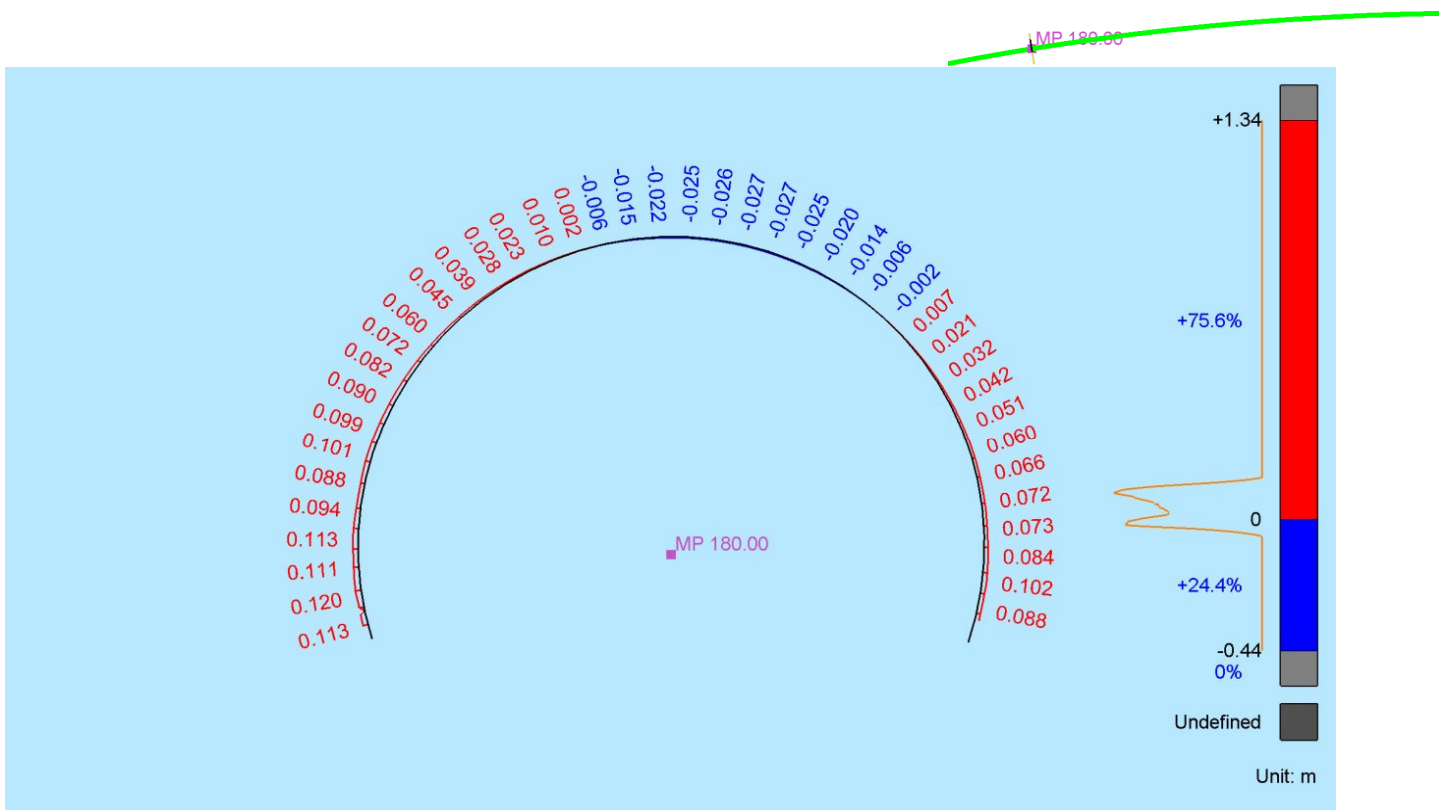
MP 144.00



MP
153.00



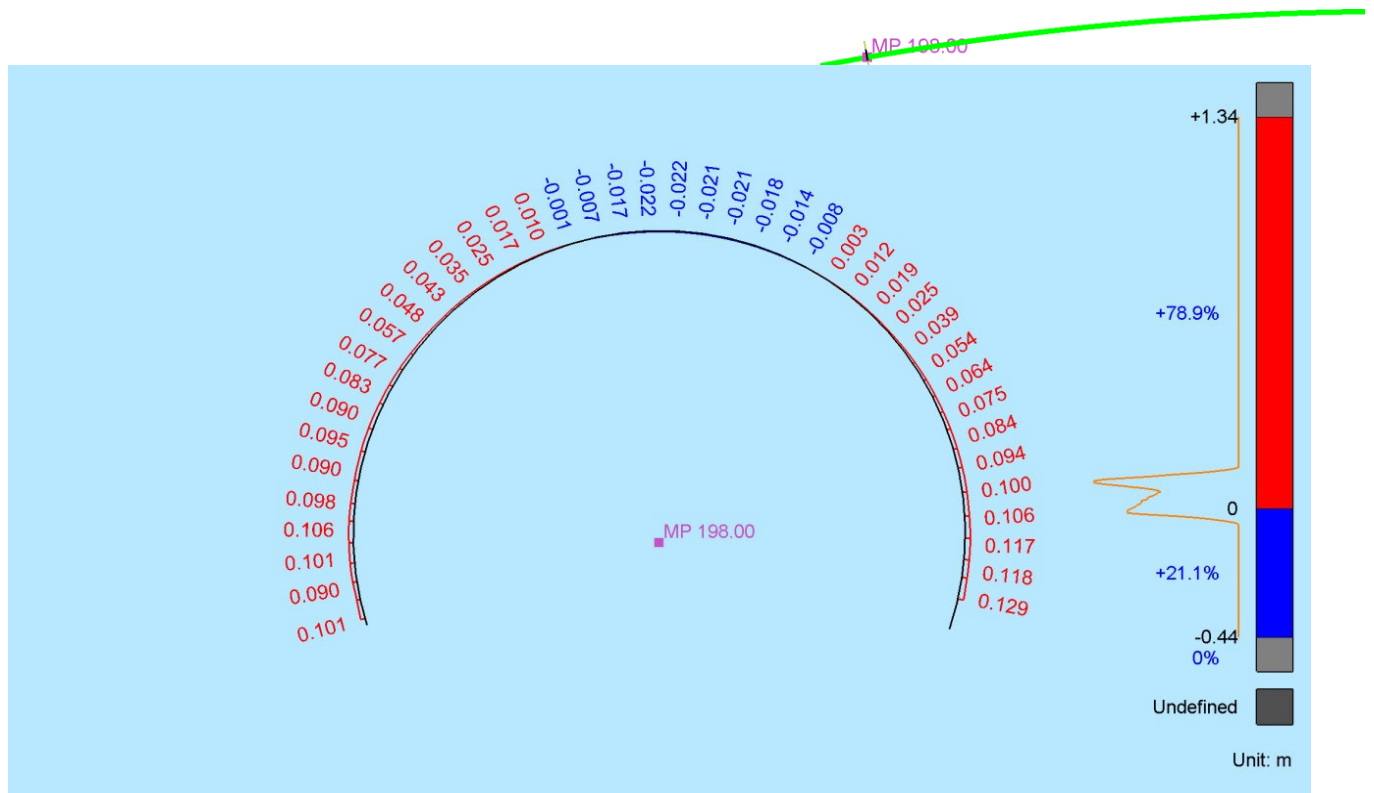
MP 180.00



MP 189.00



MP 198.00



MP 207.00

