

# TUNNELS & ESPACE SOUTERRAIN

*DOSSIER*

## DIAGNOSTICS ET STRATÉGIES D'EXPLOITATION DES ÉQUIPEMENTS

ASSOCIATION FRANÇAISE  
DES TUNNELS ET  
DE L'ESPACE SOUTERRAIN



# Inspection détaillée des tunnels Nouvelles Technologies – ID-NT ©

**Sébastien FRACHON,**  
Setec Diadès, Lyon,  
France

**Benjamin POLI,**  
Setec Diadès, Vitrolles,  
France

## Résumé

Le retour d'expérience de Setec Diadès et sa proximité avec les exploitants d'ouvrage ont conduit au développement, en lien avec les inspecteurs d'ouvrage, d'une nouvelle technologie d'inspection alliant matériel d'acquisition de dernière génération et méthode d'inspection traditionnelle. Le but de cette nouvelle approche est de garantir une inspection détaillée conforme à l'ITSEOA tout intégrant les contraintes d'exploitation des maîtres d'ouvrage.

Pour cela, il s'agit d'utiliser l'acquisition photographique et thermographique comme un outil support et de le coupler aux compétences des inspecteurs d'ouvrages. Il est ainsi possible, non pas d'enlever tout impact sur l'exploitation, mais de le limiter au maximum tout en conservant une intervention cohérente avec les attentes des maîtres d'ouvrages et des recommandations en vigueur.

Le principe général est une acquisition semi-automatisée de l'intrados de l'ouvrage, supervisée par des inspecteurs d'ouvrages expérimentés ayant la capacité de détecter des zones potentiellement pathologiques. Étant sur place, ils peuvent instantanément lever les réserves au droit de ces zones et inspecter les parties d'ouvrage annexes faisant partie intégrante du « scope » de l'inspection détaillée.

De retour au bureau, un opérateur NT expérimenté réalisera le relevé de désordres directement sur les supports photographiques et thermographiques permettant de produire une cartographie des désordres conforme à l'ITSEOA.

Les rapports d'inspection et la cotation IQOA sont eux produits en ayant intégré l'ensemble des parties d'ouvrage et notamment les zones sensibles ayant fait l'objet d'une inspection au contact du parement.

## Introduction

L'ITSEOA, au travers de son fascicule 40 – Génie civil, fournit un outil complet permettant, tant pour le maître d'ouvrage que pour les bureaux d'études, la réalisation d'inspection détaillée du génie civil garantissant une gestion du patrimoine optimale et la sécurité des usagers tout au long de la vie des ouvrages.

Les inspections de tunnels sont parfois plus complexes que sur certains ouvrages d'art, car elles peuvent générer plus de perturbations à l'exploitation. En effet, les inspections détaillées des ouvrages selon la méthode dite traditionnelle (relevée de tous les désordres, contact avec la totalité du parement) demandent une présence sur site longue, compte tenu de leur exhaustivité et des méthodes d'acquisitions actuelles. Cela s'avère de moins en moins compatible avec les contraintes d'exploitation des maîtres d'ouvrage notamment sur les autoroutes et autres grands axes routiers et ferroviaires.

### 1. Genèse de la démarche et construction du mode de développement

Le retour des principaux exploitants des réseaux routiers comportant des tunnels met en avant :

- une problématique de plus en plus fréquente de fermeture d'un sens de circulation et qui plusest sur plusieurs nuits,
- la volonté pour eux d'être conforme à l'instruction technique (fascicule 40).

**Synthétiquement, il s'agit d'organiser des inspections détaillées avec le plus faible impact possible sur l'exploitation, tout en respectant la réglementation.**

Cette problématique d'équilibre entre contrainte d'exploitation et exhaustivité des constats est présente depuis longtemps, mais de plus en plus, les exploitants sont tentés de privilégier un minimum de contraintes à l'exploitation, ce qui peut se faire au détriment de la qualité de la mission d'inspection.

Les inspections à distance permettent l'acquisition de données d'un tunnel dans un délai relativement réduit, avec des passages « furtifs » qui sont soit « noyés dans le trafic », soit réalisés de nuit, dans un créneau de balisage « travaux » par exemple.

Cela se traduit par une augmentation des prestations d'acquisition scanner. Deux technologies sont bien développées et largement utilisées pour les acquisitions en tunnels employant deux approches différentes, l'une étant issue de la topographie et l'autre basée sur le traitement d'image.

# Detailed tunnel inspection New Technologies - ID-NT ©

**Sébastien FRACHON,**  
Setec Diadès, Lyon,  
France

**Benjamin POLI,**  
Setec Diadès, Vitrolles,  
France

## Summary

The feedback from Setec Diadès and its proximity to the structure's operators have led to the development, in conjunction with tunnel inspectors, of a new inspection technology combining the latest generation acquisition equipment with traditional inspection methods. The aim of this new approach is to guarantee a detailed inspection in compliance with the ITSEOA while integrating the operating constraints of the project owners.

To do this, it is a question of using photogrammetric and infrared acquisition as a support tool and coupling this to the tunnel inspectors' expertise. It is thus possible, not to completely remove any impacts on the operation, but to limit them as much as possible while maintaining an level of service that is in line with the expectations of the project owners and the recommendations in effect.

The general concept is a semi-automated acquisition of the structure's "intrados" lower surface, supervised by experienced structural inspectors with the ability to detect potentially pathological areas. Being on-site, they can instantly lift any reservations on these zones and inspect the annexed parts of the structure that fall under the scope of a detailed inspection.

Back at the office, an experienced NT operator will carry out the disorder survey directly on the photogrammetric and infrared media to produce an issue map in compliance with the ITSEOA.

The inspection reports and IQOA ratings are produced by having integrated all the parts of the tunnel and in particular the sensitive areas that have been inspected in contact with the lining.

## Introduction

The ITSEOA, through its booklet no. 40 - Civil engineering - provides a complete tool allowing for both the project owner and the design offices, to carry out a detailed inspection of civil engineering works, guaranteeing optimal asset management and user safety throughout the life of the structures.

Tunnel inspections are sometimes more complex than on certain structures as they can cause more disruption to operations. Indeed, the detailed inspections of the structures based on the so-called traditional method (recording of all issues, contact with the entire lining) require a long presence on site, given their exhaustiveness and current acquisition methods. This is proving to be ever less compatible with the operating constraints of the project owners, in particular for highways and other major roads and railways.

### 1. Genesis of the approach and construction of the development method

The feedback from the main operators of road networks with tunnels highlights:

- an increasingly frequent problem of closing one direction of traffic, even over several nights,
- the desire for them to comply with the technical instructions (booklet 40).

**Basically, it is a question of organising detailed inspections with the lowest possible impact operations, while respecting the regulations.**

This issue of balancing operating constraints and exhaustive observations has been present for a long time, but more and more, operators are tempted to opt for minimum of operating constraints, which can be done to the detriment of inspection task's quality.

Remote inspections allow for the acquisition of data from a tunnel in a relatively short time, with "stealth" passes which are either "drowned in traffic" or carried out at night, signposted as a "works" shift, for example.

This translates into an increase in scanner survey services. Two technologies are well developed and widely used for tunnel surveys employing two different approaches, one based on topography and the other based on image processing.

La première démarche de notre phase de « recherche et développement » a été d'analyser ces technologies existantes que nous n'utilisons pas directement, mais que nous connaissons afin d'en déterminer les avantages et les inconvénients de fonctionnement.

1.1. Technologie Scanner topo

- Utilisation d'un scanner tournant,
- Permet le relevé thermographique,
- Permet l'acquisition de nuage de point et d'appliquer des photographies couleurs haute définition.

1.2. Technologie scanner embarquée

- Utilisation d'un scanner tournant embarqué sur véhicule,
- Permet l'acquisition d'image haute définition en nuance de gris,
- Permet le relevé thermographique.

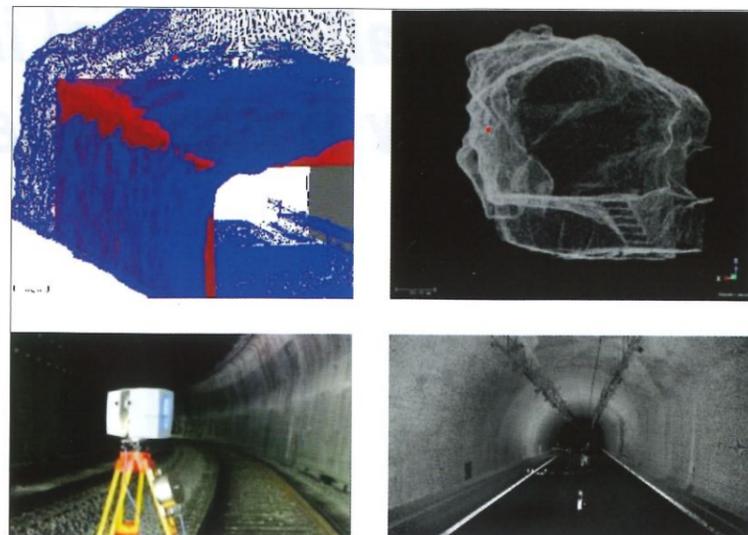


Figure 1 : Modèle et rendu – scanner topo - Model and rendering - topo scanner

1.3. Comparaison des méthodes existantes

Technologies	Avantages	Inconvénients
Inspection détaillée « traditionnelle »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contact direct avec le parement de l'ouvrage, Inspection de toutes les parties d'ouvrages y compris têtes, assainissement, zoned'influence,</li> <li>• Possibilité d'auscultation au marteau et de purge si nécessaire,</li> <li>• Réalisé par des inspecteurs qualifiés : Degré de précision permettant une analyse exhaustive des désordres et une bonne qualité des rapports d'inspection,</li> <li>• Conforme à l'ITSEOA.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temps de présence sur le terrain important,</li> <li>• Contrainte vis-à-vis de l'exploitation notable,</li> <li>• Nécessité d'utilisation d'un moyen d'accès permettant le contact et le déplacement en continu le long du parement de l'ouvrage</li> </ul>
Levé scanner embarqué	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acquisition de l'image de la totalité de la surface de revêtement,</li> <li>• Rapidité d'acquisition/faible impact sur l'exploitation,</li> <li>• Relevé thermographique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de contact avec le parement,</li> <li>• Aucune zone n'est inspectée au sens de l'ITSEOA,</li> <li>• Pas de constat au droit des assainissements/drainage, des têtes et zones d'influence,</li> <li>• Il ne s'agit que d'acquisitions, aucune compétence d'analyse des données afin de rendre un rapport d'ID,</li> <li>• Coût élevé.</li> </ul>
Levé scanner topo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acquisition de l'image de la totalité de la surface de revêtement,</li> <li>• Nuage de point extrêmement précis,</li> <li>• Esthétisme du rendu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de contact avec le parement,</li> <li>• Aucune zone n'est inspectée au sens de l'ITSEOA,</li> <li>• Pas de constat au droit des assainissements/drainage, des têtes et zones d'influence,</li> <li>• Il ne s'agit que d'acquisitions, aucune compétence d'analyse des données afin de rendre un rapport d'ID,</li> <li>• Coût élevé,</li> <li>• Durée d'acquisition longue, impact important sur l'exploitation</li> </ul>

Tableau 1 : Comparatif des différentes méthodes d'inspection détaillée actuelles

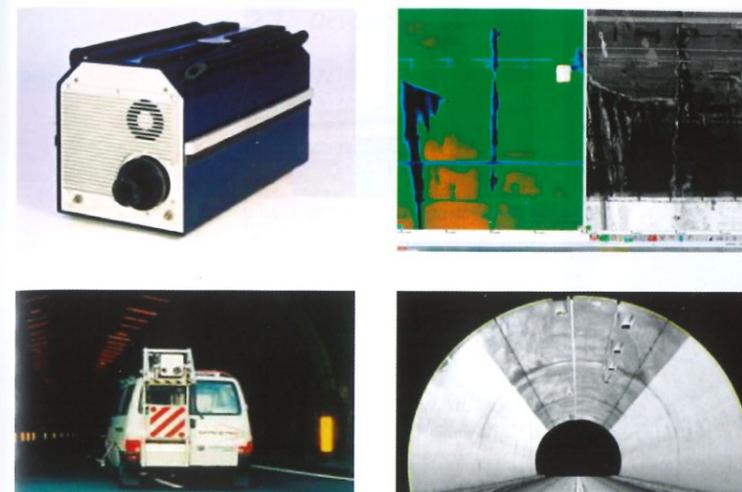


Figure 2 : Modèle et rendu – scanner embarqué - Model and rendering - embedded scanner

The first step of our "research and development" phase was to analyse these existing technologies. We do not use them directly, but we know enough to determine the pros and cons of their operation.

1.1. Topo scanner technology

- Use of a rotating scanner,
- Allows for thermographic reading,
- Allows point cloud acquisition and application of high definition colour photographs.

1.2. Embedded scanner technology

- Use of a rotating scanner integrated into the vehicle,
- Allows high definition image acquisition in shades of grey,
- Allows for thermographic readings.

1.3. Comparison of existing methods

Technologies	Benefits	Disadvantages
Detailed inspection « Traditional »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Direct contact with the lining of the structure, Inspection of all parts of the structures including heads, sanitation, area of influence,</li> <li>• Ability to survey with a hammer and purging if necessary,</li> <li>• Carried out by qualified inspectors: Degree of precision allowing for an exhaustive analysis of the issues and a good quality of inspection reports,</li> <li>• ITSEOA compliant.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Significant time spent on-site,</li> <li>• Constrained with regard to significant operation,</li> <li>• Need to use an access method allowing contact and continuous movement along the lining of the structure</li> </ul>
Embedded scanner survey	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acquisition of the image of the entire lining surface,</li> <li>• Speed of acquisition/low impact on operations,</li> <li>• Thermographic survey.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No contact with the lining,</li> <li>• No area is inspected within the meaning of the ITSEOA,</li> <li>• No observations around sanitation/drainage rights, heads and areas of influence,</li> <li>• This is only acquisition, no data analysis skills in order to draw up an ID report,</li> <li>• High cost.</li> </ul>
Survey scanner topo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acquisition of the image of the entire lining surface,</li> <li>• Extremely precise point cloud,</li> <li>• Aesthetic rendering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No contact with the lining,</li> <li>• No area is inspected within the meaning of the ITSEOA,</li> <li>• No observations around sanitation/drainage rights, heads and areas of influence,</li> <li>• This is only acquisition, no data analysis skills in order to draw up an ID report,</li> <li>• High cost,</li> <li>• Long acquisition period, significant impact on operations</li> </ul>

Table 1 : Comparison of the various current detailed inspection methods

2. Assistance system for carrying out tunnel structure inspections

The analysis of the existing technologies comparison highlights the difficulty of staying within the framework of the technical instructions, by opting for solutions to operational problems, to the detriment of detailed inspection specifications within the meaning of the ITSEOA.

The feedback resulting from several years of experience in detailed inspections using the traditional method made it possible to explore another technology which tries to apply the positive points of each method presented in the table above.

The first approach of this method is not necessarily to apply the principle of «stealth», but rather to admit the fact that a cut-off or restriction is necessary to carry out a detailed inspection, while limiting their number.



Figure 3 : Dispositif d'acquisition ID-NT © en action et module de contrôle V1 - ID-NT © survey device in action and control module V1

## 2. Système d'assistance à la réalisation d'inspection de structure type tunnel

L'analyse de la comparaison des technologies existantes met en avant une difficulté à rentrer dans le cadre de l'instruction technique, en privilégiant les réponses aux problématiques d'exploitation au détriment du cahier des charges d'une inspection détaillée au sens de l'ITSEOA.

Le retour d'expérience issu de plusieurs années d'inspections détaillées par méthode traditionnelle a permis d'explorer une autre technologie essayant d'appliquer les points positifs de chaque méthode présentée dans le tableau ci-dessus.

La première approche de cette méthode n'est pas forcément d'appliquer le principe du «furtif», mais plutôt d'admettre le fait qu'il faille une coupure ou une restriction pour mener à bien une inspection détaillée tout en limitant leur nombre.

### 2.1. Description du dispositif

Le système ID-NT © développé et breveté par Diadès est constitué de différents capteurs combinés entre eux et regroupés dans un seul et même boîtier suspendu sur un système mobile à pousser manuel ou tractable.

Cinq éléments composent ce dispositif :

- des caméras et appareils photo de très haute précision dans le domaine visible,
- des caméras à Infrarouges,
- des profilomètres et distancemètres,
- des sondes de température/humidité,
- un odomètre.

Le dispositif possède un contrôle autonome de son positionnement afin d'effectuer des acquisitions toujours perpendiculaires aux parois latérales. Le

déclenchement simultané de chaque acquisition est effectué de manière autonome en prenant en compte la distance au parement, le cône de visée de chaque appareil photo et la valeur d'avancement du système dans le tube.

Une attention particulière a été portée au niveau du système d'éclairage. Un système d'éclairage continu a été privilégié afin de minimiser la gêne potentielle d'un éclairage de type « flash » pour les véhicules et opérateurs se trouvant à proximité du système.

Une interface a été développée afin de permettre le contrôle des données pendant l'acquisition. Cette interface permet également, grâce aux différents capteurs implémentés, la détection sur site de zones de désordres ou de doutes sur l'état de l'ouvrage, générant automatiquement une liste de réserves paramétrable et identifiable directement sur site par sondages au parement, en parallèle à la phase d'acquisition, afin de profiter des créneaux en place de balisage ou de fermetures de la voie et de limiter la multiplication d'interventions.

Le système permet d'optimiser l'intérêt de la thermographie infrarouge et des autres techniques combinées dans une même acquisition croisée et référencée afin de faciliter le diagnostic.

### 2.2. Composants/Rôles

#### 2.2.1. ACQUISITION

##### Capteurs dans le domaine visible :

Ces capteurs de haute définition permettent le contrôle de l'état de surface du parement dans le domaine visible. L'acquisition en qualité photo garantie non seulement de détecter des fissures jusqu'à des ouvertures comprises entre 0,3 et 0,5 mm, mais également de valider les zones de venues d'eau et de calcite (sèche ou active).

### 2.1. Description of the system

The ID-NT © system developed and patented by Diadès is made up of various sensors combined with each other and grouped together in a single box suspended over a mobile push or pull system.

Five elements make up this device:

- very high precision cameras in the visual field,
- infrared cameras,
- profilometers and distance meters,
- temperature/humidity probes,
- an odometer.

The device has an autonomous check and control method for its positioning, so as to always carry out surveys perpendicular to the side walls. The simultaneous triggering of each survey is carried out autonomously, taking into account the distance to the lining, the viewing cone of each camera and the value of how far along the system is in the tube.

Particular attention has been paid to the lighting system. A continuous lighting system has been selected to minimise the potential inconvenience of "flash" type lighting for vehicles and operators in the vicinity of the system.

An interface has been developed to allow data controls during surveys. This interface also allows, through the various sensors implemented, the on-site detection of areas with issues or doubts about the condition of the structure, automatically generating a list of reservations that can be configured and directly identifiable on-site by probing the lining in parallel during the survey phase, in order to take advantage of the timeslots in place where the lane is marked out or closed and to limit a multiplication of servicing procedures.

The system makes it possible to optimise the usefulness of infrared thermography and other techniques combined in the same cross-referenced survey in order to facilitate diagnosis.

### 2.2. Components/Roles

#### 2.2.1. ACQUISITION

##### Sensors in the visible range:

These high-definition sensors allow for checks and controls of the lining surface condition in the visible range. Surveys in photo quality guarantee not only to detect cracks up to openings between 0.3 and 0.5 mm, but also to validate the areas with inflows of water and calcite (dry or active).

##### Infrared sensors:

These cameras allow for the thermographic surveying of the entire "intrados" inner surface, thus making it possible to precisely detect, and in real time, the extent of the various wet zones and water inflows, but also to be able to detect, by temperature variation, any detachment of the lining such as the formation of shotcrete scales.

##### 2D scanner:

This sensor allows for the profilometric reading of the entire linear length of the structure, thus making it possible to detect «out» and «in» profile differences and the creation of a three-dimensional skeleton.

##### Lateral distance meters:

These sensors allow for the positioning of the system in relation to the walls.

This positioning is necessary to establish, in combination with the encoder wheel, the overlap calculation and the section change controls to optimise survey triggering.

##### Inertial measurement unit:

This sensor allows for the identification of the different rotations of the tunnel in order to perfect the three-dimensional construction model.

##### Encoder measuring wheel:

This sensor allows for the definition of the progress of the device as well as setting survey triggering in combination with the lateral distance meters.

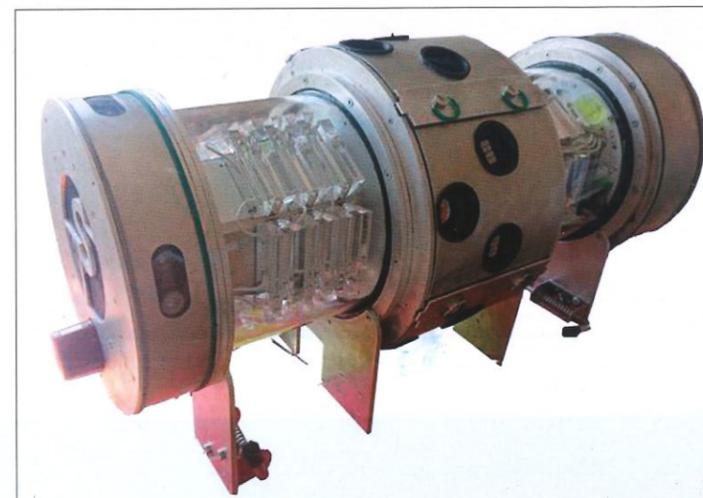


Figure 4 : Module d'acquisition V2 - V2 survey module

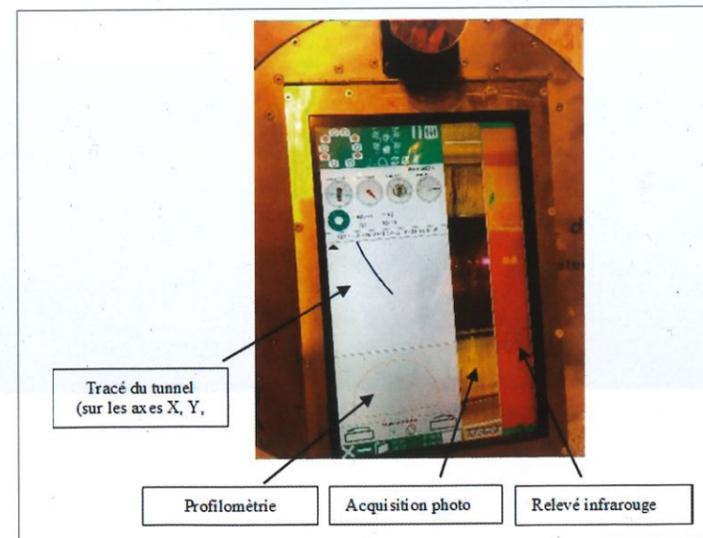


Figure 5 : Écran d'affichage des données d'acquisition en temps réel - Real-time survey data display screen

Capteurs infrarouges :

Ces caméras permettent l'acquisition thermographique de l'ensemble de l'intrados permettant ainsi de détecter de manière précise et en temps réel, l'étendue des différentes zones humides et venues d'eau, mais également de pouvoir détecter, par variation de température, les éventuels décollements de revêtement tel que les écaïlles de béton projeté en formation.

Scanner 2D :

Ce capteur permet le relevé profilométrique de la totalité du linéaire de l'ouvrage permettant ainsi de détecter les différents « hors » et « en » profil et la création du squelette tridimensionnel.

Distancemètres latéraux :

Ces capteurs permettent le positionnement du système vis-à-vis des parois.

Ce positionnement est nécessaire pour établir, en combinaison avec la roue codeuse, le calcul de recouvrement et le contrôle de changement de section afin d'optimiser le déclenchement des acquisitions.

Centrale inertielle :

Ce capteur permet l'identification des différentes rotations du tunnel afin de parfaire le modèle de construction tridimensionnel.

Roue codeuse :

Ce capteur permet la définition de l'avancement du dispositif ainsi que le paramétrage du déclenchement des acquisitions en combinaison avec les distancemètres latéraux.

**2.2.2. TRAITEMENT**

Le système permet d'optimiser l'intérêt de la thermographie infrarouge et des autres techniques combinées dans une même acquisition croisée et référencée afin de faciliter le diagnostic.

Le développement et la mise au point d'un logiciel spécifique permettent l'intégration de toutes les données acquises sur le terrain. Ces données sont positionnées dans un repère tridimensionnel offrant ainsi la possibilité d'une visualisation de la structure avec intégration des données visuelles (photographie dans le domaine visuel et infrarouge) sur visionneuse 3D. Ce logiciel, nécessaire pour le traitement des données, permet également la réalisation de développés pour exportation et contrôle de l'état structurel de l'ouvrage inspecté.

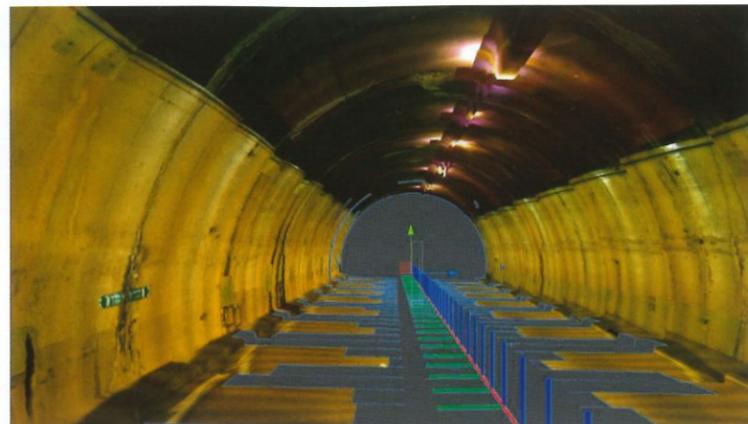


Figure 6 : Plaquage de l'acquisition photo HD sur les profils d'un tunnel - HD photo survey over tunnel profiles

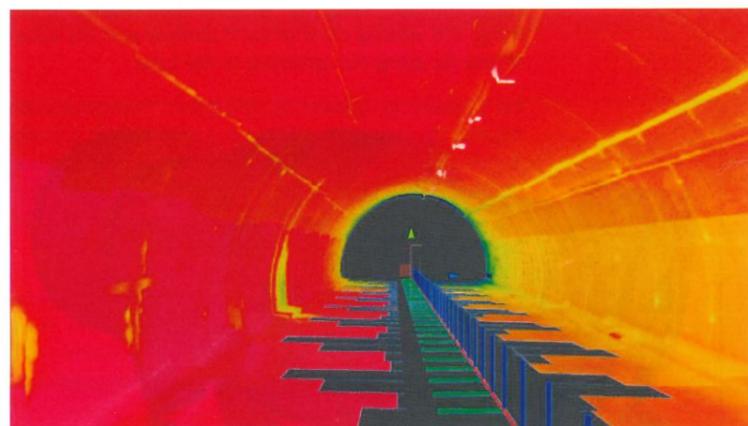


Figure 7 : Acquisition infrarouge de l'intrados du tunnel - Infrared survey of the tunnel "intrados" lower surface

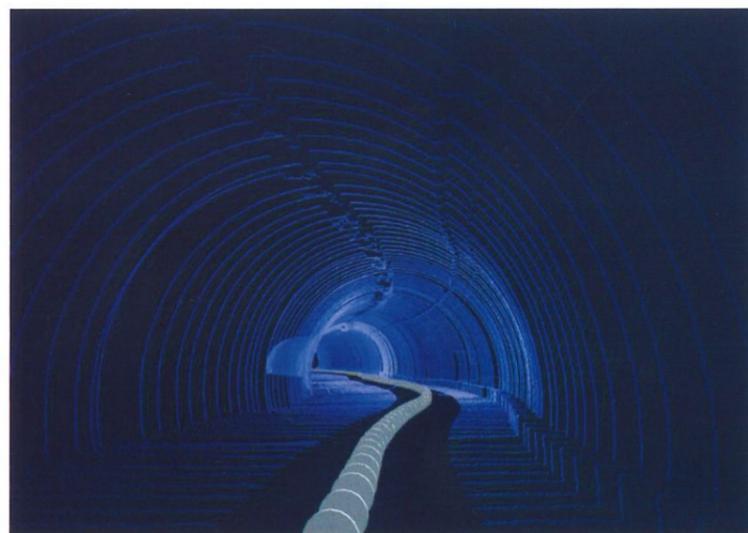


Figure 8 : Relevé profilométrique du tunnel - Profilometric survey of the tunnel

**2.2.2. PROCESSING**

The system makes it possible to optimise the usefulness of infrared thermography and other techniques combined in the same cross-referenced survey in order to facilitate diagnosis.

The development and fine-tuning of specific software allows for the integration of all the acquired data while in the field. These data are positioned in a three-dimensional frame thus offering the ability to visualise the structure with integration of visual data (photography in the visual and infrared domain) in a 3D viewer. This software, necessary for data processing, also allows the production of designs for export and controls of the structural condition of the structure being inspected.

The management and creation of elements is done on the basis of:

- a fluid panorama of the photographs, in the visual domain, straightened and repositioned;
- a fluid panorama of the photographs, in the infrared domain, straightened and repositioned, with automatic extraction of significant zones for superposition;
- a superposition of the two panoramas;
- a reference to pathologies, by the confirmed inspector;
- a secure export of generated data;
- profiles;
- temperature and humidity status.

**2.3. Procedure**

This technology consists of traversing the under surface of a structure in a single pass at a speed of

between 1 and 3 km/h, thus limiting the number of night interruptions.

Real-time reading and an alert system make it possible to identify (using thermography in particular) the areas that may represent a doubt about certain issues. The presence of a confirmed inspector during the survey makes it possible to deal with these alerts, but also to raise them by access (by means of a bucket) in contact with the parts of the structure concerned.

The presence of the inspector also makes it possible to inspect areas not accessible by automated means (heads, inter-tubes, drainage network, area of influence) and which are an integral part of the findings in the detailed inspection report.

At the end of the on-site procedure, the inspectors therefore have all the photographic acquisition in the visual and infrared areas of the lower surface of the structure and have removed all the areas of doubt they might have had if they had only had recourse to the survey scanner.

The quality of the photographic and thermographic media will allow the inspector, once off site, to finalise observations of the lower surface and to carry out the issue mapping in Autocad.

The renderings will be those expected by the specifications presented in particular in booklet 40 of the technical instructions with in particular a description of the structure, the findings, the IQQA quotation, follow-ups, a photographic report, issue mapping as well as a photographic development of the lower surface of the structure.

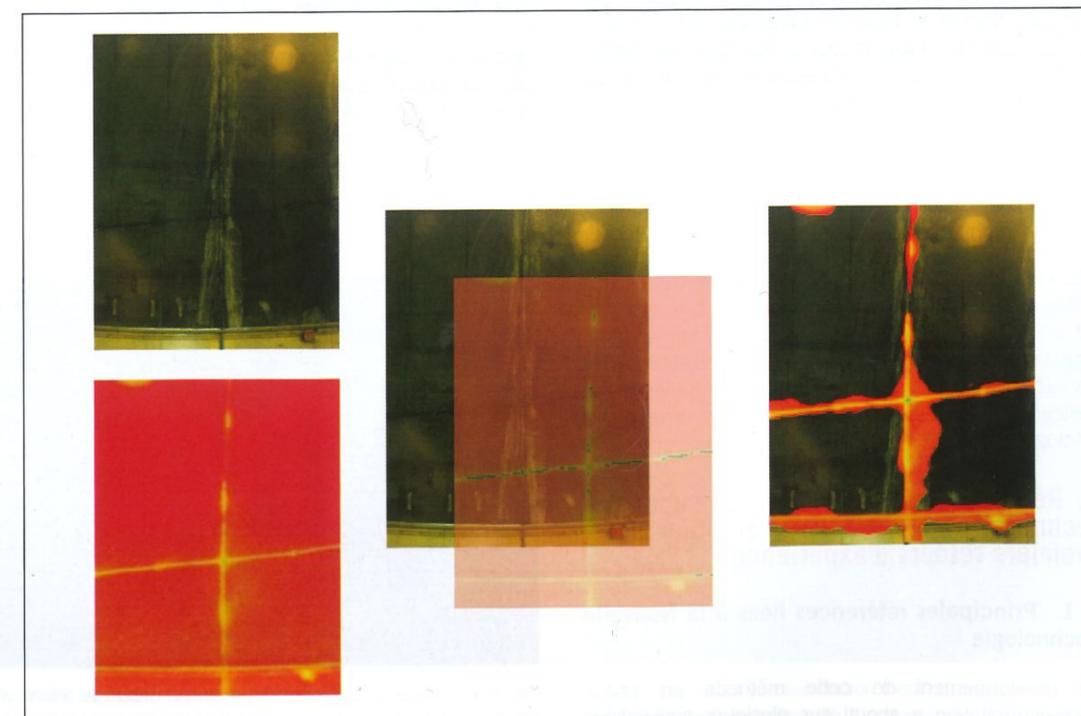


Figure 9 : Exemple de corrélation entre acquisition photo et relevé infrarouge - Example of correlation between photo survey and infrared

La gestion et la création des éléments se font sur la base :

- D'un panoramique fluide des photographies, dans le domaine visuel, redressées et repositionnées;
- D'un panoramique fluide des photographies, dans le domaine infrarouge, redressées et repositionnées, avec extraction automatique des zones significatives pour superposition;
- De la superposition des deux panoramiques;
- De la saisie directe des pathologies, par l'inspecteur confirmé;
- D'une exportation des données générées de façon sécurisée;
- De profils;
- D'état température et humidité.

### 2.3. Mode opératoire

Cette technologie consiste à parcourir en un seul passage l'intrados d'un ouvrage à une vitesse comprise entre 1 et 3 km/h limitant ainsi le nombre de coupures de nuit.

La lecture en temps réel et un système d'alerte permettent d'identifier (à l'aide de la thermographie notamment) les zones pouvant représenter un doute sur certains désordres. La présence d'un inspecteur confirmé pendant l'acquisition permet d'arbitrer ces alertes, mais également de les lever en accédant (au moyen d'une nacelle) au contact des parties d'ouvrage concernées.

La présence de l'inspecteur permet également d'inspecter les zones non accessibles par les moyens automatisés (têtes, intertubes, réseau de drainage, zone d'influence) et qui font partie intégrante des constats dans le rapport d'inspection détaillée.

À l'issue de l'intervention sur site, les inspecteurs ont donc l'ensemble de l'acquisition photographique dans les domaines visuel et infrarouge de l'intrados de l'ouvrage et ont levé la totalité des zones de doutes qu'ils auraient eus s'ils n'avaient eu recours qu'au moyen d'acquisition scanner.

La qualité des supports photographiques et thermographiques permettra à l'inspecteur, une fois hors site, de finaliser les constats de l'intrados et de réaliser les cartographies des désordres sur un support Autocad.

Les rendus seront ceux attendus par le cahier des charges présenté notamment dans le fascicule 40 de l'instruction technique avec notamment la fiche signalétique de l'ouvrage, les constats, la cotation IQOA, les suites à données, un reportage photographique, une cartographie des désordres ainsi qu'une développée photographique de l'intrados de l'ouvrage.

## 3. Références d'application de la nouvelle technologie d'inspection en tunnel et premiers retours d'expérience

### 3.1. Principales références liées à la Nouvelle Technologie

Le développement de cette méthode en phase d'expérimentation a abouti sur plusieurs applications concrètes dans le cadre de plusieurs campagnes

d'inspections détaillées sous contraintes d'exploitation autoroutières et ferroviaires, notamment sur le réseau ESCOTA (Vinci-Autoroutes) et CNM (Ocvia Maintenance).

### 3.2. Analyse des premiers retours sur la Nouvelle Technologie

#### 3.2.1. PRÉPARATION D'INTERVENTION TERRAIN

La préparation terrain d'une ID-NT © est semblable à celle d'une inspection détaillée traditionnelle et ne nécessite aucun temps supplémentaire d'intégration de données. Le dimensionnement des moyens d'accès correspond à la longueur du tunnel, mais le temps gagné en acquisition permet la levée des réserves dans le reste de la nuit.

#### 3.2.2. TEMPS DE PRÉSENCE SUR SITE

L'analyse des temps passés sur site montre une optimisation notable du temps de présence par rapport à une inspection traditionnelle. Néanmoins, ce gain reste faible quand le tunnel est court. Plus le tunnel est long et plus l'optimisation du temps passé sera importante. Sur un tunnel de 2000 m par exemple, nous avons constaté un gain supérieur à 50 % par rapport à nos temps passés sur site en inspection détaillée traditionnelle.

#### 3.2.3. INTÉGRATION DE LA NOUVELLE TECHNOLOGIE DANS LE SITE

La méthode ID-NT © étant basée sur une acquisition d'images haute définition et infrarouges, la co-activité peut impacter la qualité des rendus et de leur analyse. En effet, la présence de véhicule de chantier stationnant dans l'ouvrage par exemple, va empêcher toute exhaustivité de l'infrarouge dans la zone périphérique.

En fonction de la densité de co-activité, la maniabilité de la Nouvelle Technologie et sa facilité de paramétrage a permis de s'adapter à la situation en démarrant l'acquisition avant les autres chantiers. Dans certains cas, sa vitesse d'acquisition a permis de réaliser l'intégralité de la traversée du tunnel avant la mise en place des autres chantiers dans le tunnel.

L'analyse des acquisitions et les levées de réserves peuvent être réalisées sans interférence notable avec la co-activité.

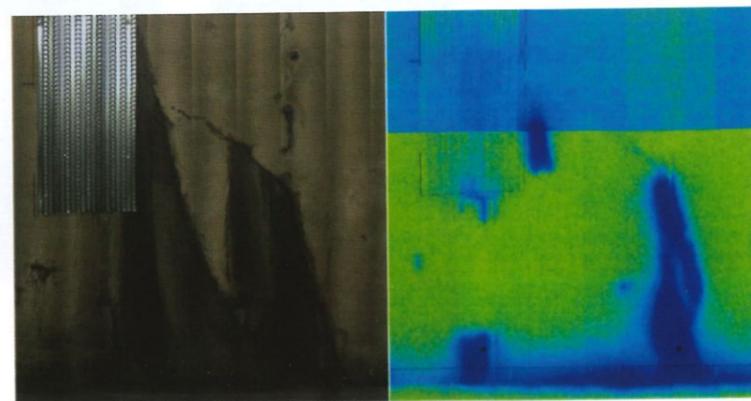


Figure 10 : Localisation d'une fissure biaisée depuis le relevé photographique et zonage précis de l'impact lié à l'eau au droit de cette zone - Location of a skewed crack from the photographic survey and precise zoning of the impact related to water to the right of this zone

## 3. Application benefits for the new tunnel inspection technology and initial feedback

### 3.1. Main benefits related to the Nouvelle Technologie

The development of this method during the experimentation phase resulted in several concrete applications as part of multiple detailed inspection campaigns under motorway and rail operating constraints, in particular on the ESCOTA (Vinci-Autoroutes) and CNM (Ocvia Maintenance) networks.

### 3.2. Analysis of the first feedback on the Nouvelle Technologie

#### 3.2.1. ON-SITE SERVICING PROCEDURE PREPARATION

The on-site preparation for an ID-NT © is similar to that of a traditional detailed inspection and does not require any additional data integration time. The dimensioning of the access methods corresponds to the length of the tunnel, but the time saved in acquisition makes it possible to lift the reservations for the rest of the night.

#### 3.2.2. TIME ON SITE

The analysis of the time spent on site shows a notable optimisation of the time spent present compared to a traditional inspection. However, this gain remains low when the tunnel is short. The longer the tunnel, the greater the optimisation of the time spent. Over a 2,000m tunnel, for example, we noticed a gain of more than 50% compared to our time spent on site in traditional detailed inspections.

#### 3.2.3. INTEGRATION OF NOUVELLE TECHNOLOGIE INTO THE SITE

Since the ID-NT © method is based on the acquisition of high definition and infrared images, co-activity can impact the quality of the renderings and their analysis. Indeed, the presence of a construction vehicle parked in the structure, for example, will prevent infrared coverage being exhaustive in the peripheral zone.

Depending on the density of co-activity, the manoeuvrability of the Nouvelle Technologie and its ease of configuration made it possible to adapt to the situation by starting the survey before other projects. In some cases, the survey speed made it possible to complete the entire tunnel crossing before the implementation of the other sites in the tunnel.

Survey analysis and the lifting of reservations can be carried out without significant interference with co-activity.

#### 3.2.4. IDENTIFICATION OF AREAS FOR LIFTING RESERVATIONS

The relevance of the reserve lifting zones identification is essential in the Nouvelle Technologie process, because this makes it possible to comply with the ITSEOA requirements by inspecting, in contact with the lining, only the zones that may represent a risk for the sustainability of the structure or user safety.

Thus, Nouvelle Technologie has fulfilled its role by offering several effective tools to allow the detection of issues that present themselves frequently in the tunnel, but also to identify less obvious issues that could have more impact on the structure in the short term, which would not have necessarily been surveyed in the traditional method (completeness and arduousness of the lining survey for 100% of the surfaces).

The analysis of this data directly on-site makes it possible to locate, as the module progresses, the zones which must have reservations lifted; namely visual and hammer surveys, in contact with the lining.

#### 3.2.5. RELEASE OF RESERVATIONS

The reservation lifting zones are located in diaphragm wall or in relation to the concrete cast pads. Access with lining contact is done by means of buckets similar to those used for traditional detailed inspections.

This phase of the process consists of removing any doubt from the inspector concerning the condition of the structure of the works.

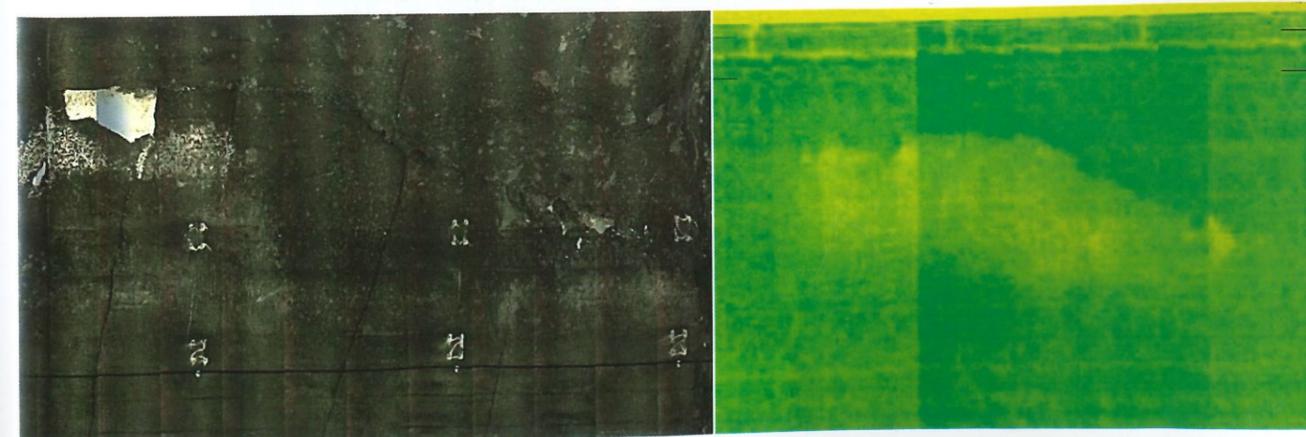


Figure 11 : Localisation de multiples fissures et une potentielle lèvres d'écaillage depuis le relevé photographique avec décoloration thermographique laissant supposer un défaut d'adhérence - Location of multiple cracks and a potential flake lip from the photographic survey with thermographic discolouration suggesting a lack of adhesion

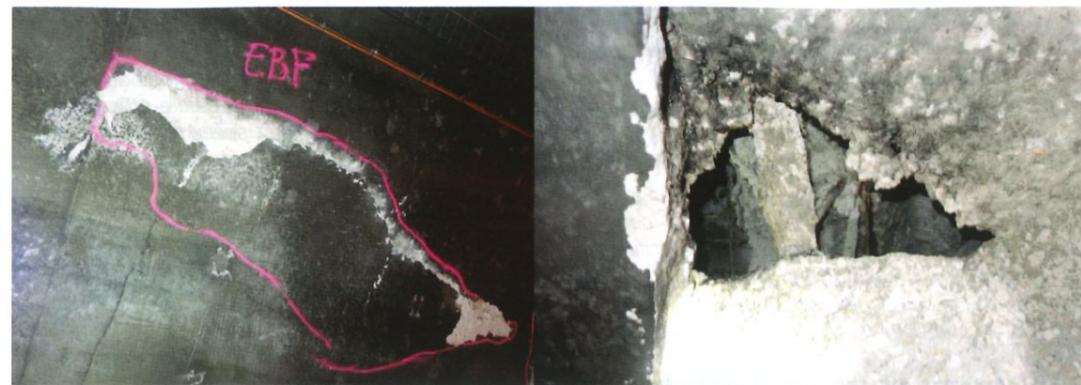


Figure 12 : Auscultation au marteau mettant en évidence des écailles de béton en formation et un vide d'extrados - Survey by hammer showing concrete scales forming and an upper surface void

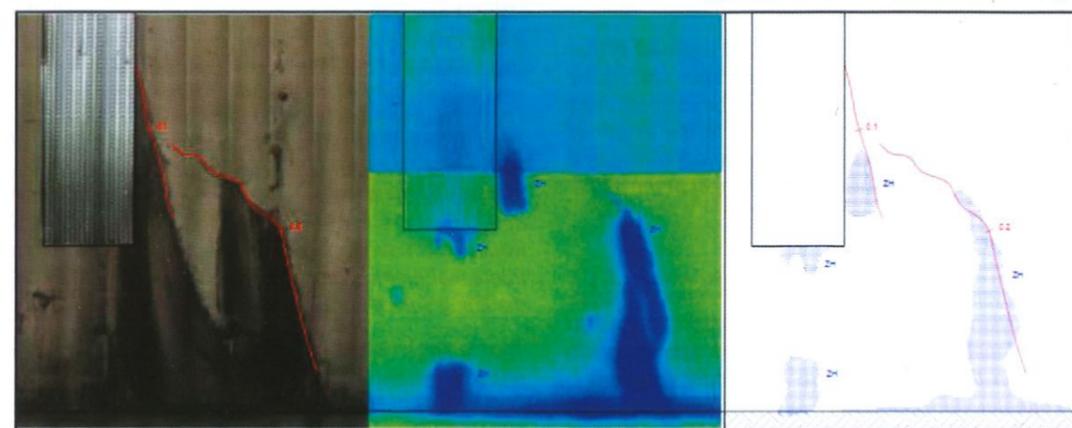


Figure 13 : Identification des différents désordres présents sur zone au moyen des supports photographiques et thermographiques – production de la cartographie conforme à l'ITSEOA - Identification of the various issues present in the area by means of photographic and thermographic media - production of the mapping in accordance with the ITSEOA

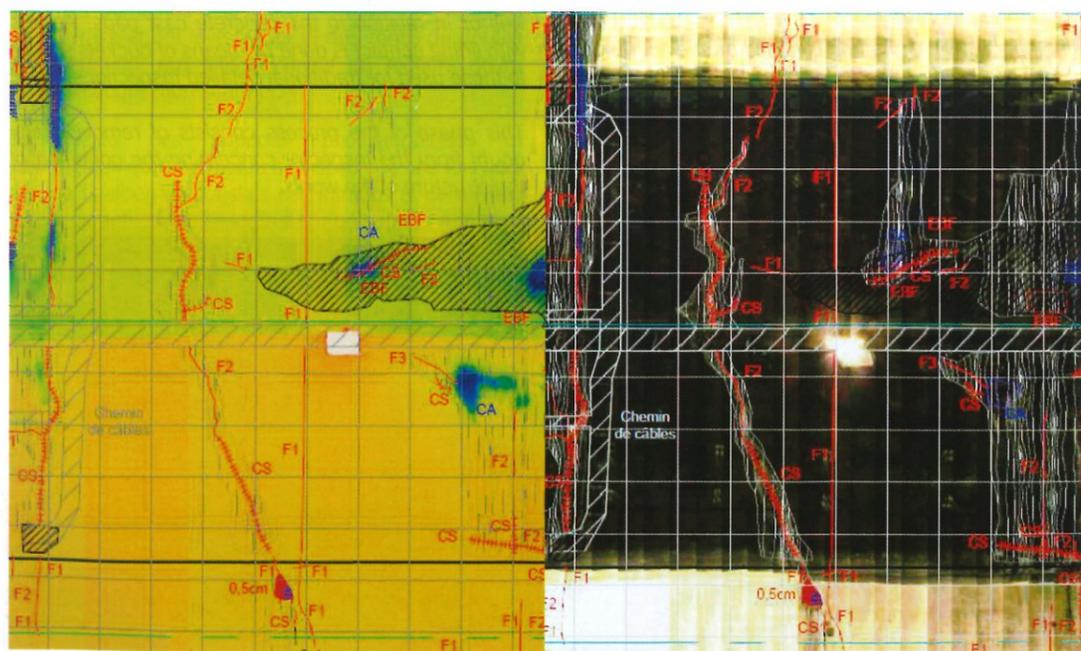


Figure 14 : Identification des différents désordres présents sur zone au moyen des supports photographiques et thermographiques – production de la cartographie conforme à l'ITSEOA - Identification of the various issues present in the area by means of photographic and thermographic media - production of the mapping in accordance with the ITSEOA

Thus, the doubt expressed concerning the area identified in Figure 11 was confirmed as the survey continued by highlighting a structural issue.

This process of lifting reservations, carried out by experienced inspectors as part of the photographic and thermographic survey, made it possible to identify an issue that could present a risk for users and to immediately put in place the appropriate protective measures.

**3.2.6. IDENTIFICATION OF ISSUES FROM PHOTOGRAPHIC AND THERMOGRAPHIC MEDIA**

Once the photographic, thermographic survey and the clearing of reservations has been carried out, the NT operator can, in the office, start the data analysis and issue identification. To do this, they will use the two survey media in order to correlate all the information, making it possible to piece together a map of the issues as precisely as possible.

As shown in Figure 13, one can see the complementarity of the various media allowing for the production of a map in compliance with the ITSEOA.

**3.2.7. RENDERINGS**

Map renderings are identical to those produced in a traditional detailed inspection. It is also possible to produce issue maps by integrating either the photographic or thermographic media.

**4. Positioning of IDP-NT © technology compared to existing methods**

The detailed inspection campaigns carried out using the Nouvelle Technologie between 2018 and 2020 provided feedback allowing this new detailed inspection process to be positioned in relation to existing methods.

Technologies	Benefits	Disadvantages
Detailed inspection «Traditional»	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Direct contact with the lining of the structure, Inspection of all parts of the structures including heads, sanitation, area of influence,</li> <li>• Ability to survey with a hammer and purging if necessary,</li> <li>• Carried out by qualified inspectors: Degree of precision allowing for an exhaustive analysis of the issues and a good quality of inspection reports,</li> <li>• ITSEOA compliant.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Significant time spent on-site,</li> <li>• Constrained with regard to significant operation,</li> <li>• Need to use an access method allowing contact and continuous movement along the lining of the structure</li> </ul>
Embedded scanner survey	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acquisition of the image of the entire lining surface,</li> <li>• Speed of acquisition/low impact on operations,</li> <li>• Thermographic survey.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No contact with the lining,</li> <li>• No area is inspected within the meaning of the ITSEOA,</li> <li>• No observations around sanitation/drainage rights, heads and areas of influence,</li> <li>• This is only acquisition, no data analysis skills in order to draw up an ID report,</li> <li>• High cost.</li> </ul>
Survey scanner topo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acquisition of the image of the entire lining surface,</li> <li>• Extremely precise point cloud,</li> <li>• Aesthetic rendering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No contact with the lining,</li> <li>• No area is inspected within the meaning of the ITSEOA,</li> <li>• No observations around sanitation/drainage rights, heads and areas of influence,</li> <li>• This is only acquisition, no data analysis skills in order to draw up an ID report,</li> <li>• High cost,</li> <li>• Long acquisition period, significant impact on operations</li> </ul>
IDP-NT ©	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acquisition of the image of the entire lining surface,</li> <li>• Speed of acquisition/low impact on operations,</li> <li>• Thermographic survey,</li> <li>• Detection of potentially sensitive areas in real time,</li> <li>• Targeted intervention in contact with the lining as part of the survey</li> <li>• Ability to secure the structure by purging with a hammer if necessary,</li> <li>• Carried out by qualified inspectors: Degree of precision allowing for an exhaustive analysis of the issues and a good quality of inspection reports,</li> <li>• Inspection of all parts of structures including heads, sanitation, area of influence,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contact with the targeted lining, therefore partial,</li> <li>• Processing files can be large</li> <li>• Office processing time can be long depending on the volume of data to be processed</li> </ul>

Table 3 : Inclusion of IDP NT in the comparison with the various current detailed inspection methods

### 3.2.4. IDENTIFICATION DES ZONES DE LEVÉES DE RÉSERVES

La pertinence des identifications des zones de levées de réserve est primordiale dans le processus de la Nouvelle Technologie, car cela permet de se conformer aux exigences de l'ITSEOA en inspectant au contact du parement, uniquement les zones pouvant représenter un risque pour la pérennité de la structure ou la sécurité des usagers.

Ainsi, la Nouvelle Technologie a rempli son rôle en proposant plusieurs outils efficaces pour permettre le relevé de désordres fréquemment présents en tunnel, mais également d'identifier des désordres moins évidents et pourtant plus impactant à court terme sur la structure, qui n'auraient pas forcément été relevés en méthode traditionnelle (exhaustivité et pénétrabilité du sondage au parement de 100 % des surfaces).

L'analyse de ces données directement sur site permet de localiser, pendant l'avancement du module, les zones devant faire l'objet d'une levée de réserve; à savoir auscultation visuelle et au marteau, au contact du parement.

### 3.2.5. LEVÉE DE RÉSERVE

Les zones de levées de réserves sont localisées en PM ou par rapport aux plots de bétonnage. L'accès au contact du parement se fait au moyen de nacelles semblables à celles utilisées pour les inspections détaillées traditionnelles.

Cette phase du processus consiste à enlever le moindre doute de l'inspecteur concernant l'état de la structure de l'ouvrage.

Ainsi, le doute émis concernant la zone identifiée dans la figure 11 a pu être confirmé dans la continuité de l'acquisition en mettant en évidence un désordre structurel.

Ce procédé de levée de réserves réalisé par des inspecteurs expérimentés dans la continuité de l'acquisition photographique et thermographique a permis d'identifier un désordre pouvant présenter un risque pour les usagers et de mettre en place instantanément les mesures conservatoires adaptées.

### 3.2.6. IDENTIFICATION DES DÉSDORDRES SUR SUPPORTS PHOTOGRAPHIQUES ET THERMOGRAPHIQUES

Une fois l'acquisition photographique, thermographique et les levées de réserves réalisées, l'opérateur NT peut au bureau, démarrer l'analyse de données et l'identification des désordres. Pour ce faire, il va utiliser les deux supports d'acquisition afin de corréler toutes les informations permettant de restituer une cartographie des désordres la plus précise possible.

Comme présenté sur la figure 13, on peut constater la complémentarité des différents supports permettant la production d'une cartographie conforme à l'ITSEOA.

### 3.2.7. RENDUS

Les rendus cartographiques sont identiques à ceux produits dans le cadre d'une inspection détaillée traditionnelle. Il est également possible de produire les cartographies de désordres en intégrant soit le support photographique, soit le support thermographique.

## 4. Positionnement de la technologie IDP-NT © vis-à-vis des méthodes existantes

Les campagnes d'inspections détaillées réalisées au moyen de la Nouvelle Technologie réalisées entre 2018 et 2020 ont permis un retour d'expérience permettant de positionner ce nouveau processus d'inspection détaillée par rapport aux méthodes existantes.

### Conclusions

Les contraintes d'exploitation de plus en plus fortes ont conduit les professionnels de l'inspection d'ouvrages à s'adapter et à proposer des solutions innovantes afin de minimiser l'impact de ces inspections sur l'exploitation, tout en gagnant en précision, en fiabilité et en traçabilité.

Néanmoins, il est primordial de conserver la nature même d'une inspection détaillée à savoir, la connaissance la plus complète de l'ensemble de l'ouvrage à un instant  $t$ . Cette connaissance ne peut s'acquérir sans du personnel compétent et expérimenté, et sans une auscultation au contact des parties d'ouvrages les plus sensibles.

Au-delà de l'innovation technologique associant différentes natures de capteurs, l'IDP-NT © développée et mise au point par Setec Diadès est avant tout un processus impliquant outils technologiques, retour d'expérience et organisation.

Les outils technologiques restent des supports aux inspecteurs d'ouvrage permettant d'orienter leur expertise sur des zones de doute, pouvant remettre en cause la pérennité de la structure ou la sécurité des usagers, au milieu d'une surface de revêtement extrêmement vaste. Ces outils permettent également l'analyse du reste du parement, au bureau, grâce à une grande qualité d'acquisition, afin de pouvoir apprécier le comportement de l'ensemble des parties d'ouvrage dans le temps.

L'IDP-NT © a été utilisée pour la première fois il y a 2 ans et est en constante évolution afin de la rendre toujours plus performante. De nombreuses pistes d'optimisation et de développement sont régulièrement en cours, mais ce processus constitue une base solide de diagnostic, dans le respect des règles d'inspection de tunnels et de prise en compte des contraintes d'exploitation.

### Conclusions

*Increasingly heavy operating constraints have led structural inspection professionals to adapt and offer innovative solutions in order to minimise the impact of these inspections on operations, while gaining in precision, reliability and traceability.*

*Nevertheless, it is essential to preserve the very nature of a detailed inspection, namely, the most complete knowledge of the whole of the structure at time  $t$ . This knowledge cannot be acquired without competent and experienced personnel, and without surveys in contact with the most sensitive parts of the structures.*

*Beyond technological innovation associating different types of sensors, the IDP-NT © developed and fine-tuned by Setec Diadès, is above all a process involving technological tools, experience feedback and organisation.*

*Technological tools remain supports for work inspectors, allowing them to focus their expertise on areas of doubt, which may call into question the durability of the structure or the safety of users, over an extremely large surface area. These tools also allow for the analysis of the rest of the lining, in the office, thanks to a high acquisition quality, in order to be able to assess the behaviour of all the parts of the structure over time.*

*The IDP-NT © was used for the first time 2 years ago and is constantly evolving to make it ever more efficient. Many avenues for optimisation and development are regularly underway, but this process constitutes a solid basis for diagnosis, in compliance with the rules for inspecting tunnels and taking into account all operating constraints.*



Depuis plus de 125 ans, notre approche globale et sur mesure, nos technologies innovantes d'implantation, de forage et de chargement ainsi que notre expérience font d'EPC Groupe un spécialiste reconnu de la mise en œuvre de solutions réduisant les temps de cycle. Pour vos chantiers souterrains, c'est la garantie d'un cycle de marinage et de confortement optimal. Et d'une sécurité maximale !

## Optimisez le creusement de vos tunnels à l'explosif !

**2 300** collaborateurs

Des clients dans plus de **45 pays et 5 continents**

**40 km** dans 20 chantiers de tunnels depuis 10 ans

**100 %** des tunnels français réalisés en émulsion vrac depuis 2004

**EPC GROUPE**

[www.epc-groupe.com](http://www.epc-groupe.com)

Technologies	Avantages	Inconvénients
Inspection détaillée « traditionnelle »	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contact direct avec le parement de l'ouvrage, Inspection de toutes les parties d'ouvrages y compris têtes, assainissement, zoned'influence,</li> <li>Possibilité d'auscultation au marteau et de purge si nécessaire,</li> <li>Réalisée par des inspecteurs qualifiés : Degré de précision permettant une analyse exhaustive des désordres et une bonne qualité des rapports d'inspection,</li> <li>Conforme à l'ITSEOA.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temps de présence sur le terrain important,</li> <li>Contrainte vis-à-vis de l'exploitation notable,</li> <li>Nécessité d'utilisation d'un moyen d'accès permettant le contact et le déplacement en continu le long du parement de l'ouvrage</li> </ul>
Levé scanner embarqué	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acquisition de l'image de la totalité de la surface de revêtement,</li> <li>Rapidité d'acquisition/faible impact sur l'exploitation,</li> <li>Relevé thermographique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas de contact avec le parement,</li> <li>Aucune zone n'est inspectée au sens de l'ITSEOA,</li> <li>Pas de constat au droit des assainissements/drainage, des têtes et zones d'influence,</li> <li>Il ne s'agit que d'acquisitions, aucune compétence d'analyse des données afin de rendre un rapport d'ID,</li> <li>Coût élevé.</li> </ul>
Levé scanner topo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acquisition de l'image de la totalité de la surface de revêtement,</li> <li>Nuage de point extrêmement précis,</li> <li>Esthétisme du rendu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas de contact avec le parement,</li> <li>Aucune zone n'est inspectée au sens de l'ITSEOA,</li> <li>Pas de constat au droit des assainissements/drainage, des têtes et zones d'influence,</li> <li>Il ne s'agit que d'acquisitions, aucune compétence d'analyse des données afin de rendre un rapport d'ID,</li> <li>Coût élevé,</li> <li>Durée d'acquisition longue, impact important sur l'exploitation</li> </ul>
IDP-NT©	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acquisition de l'image de la totalité de la surface de revêtement,</li> <li>Rapidité d'acquisition/faible impact sur l'exploitation,</li> <li>Relevé thermographique,</li> <li>Détection des zones potentiellement sensibles en temps réel,</li> <li>Intervention ciblée au contact du parement dans la continuité de l'acquisition</li> <li>Possibilité de sécuriser l'ouvrage par purge au marteau si nécessaire,</li> <li>Réalisée par des inspecteurs qualifiés : Degré de précision permettant une analyse exhaustive des désordres et une bonne qualité des rapports d'inspection,</li> <li>Inspection de toutes les parties d'ouvrages y compris têtes, assainissement, zoned'influence,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contact avec le parement ciblé donc partiel,</li> <li>Fichiers de traitement pouvant être volumineux</li> <li>Temps de traitement bureau pouvant être long en fonction du volume de données à traiter</li> </ul>

Tableau 3 : Intégration de l'IDP NT dans le comparatif avec les différentes méthodes d'inspection détaillée actuelles

**Zitron**  
Powered by the wind

www.zitron.com

**Conception et fabrication de systèmes de ventilation souterraine depuis 1963**



DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION est l'un des grands acteurs indépendants du marché de la Construction, reconnu pour son savoir-faire historique en matière d'infrastructures et de génie civil.

Notre expertise dans les travaux souterrains nous a permis d'accompagner la croissance significative des chantiers de mobilité urbaine.

Aujourd'hui, en France, au Luxembourg, en Amérique du Nord, nous conduisons de vastes projets d'aménagement des territoires et livrons des infrastructures emblématiques.

Crédits photos : Yves Chanoit, Frédéric Lancelot, Yanis Ourabah



www.demathieu-bard.fr

