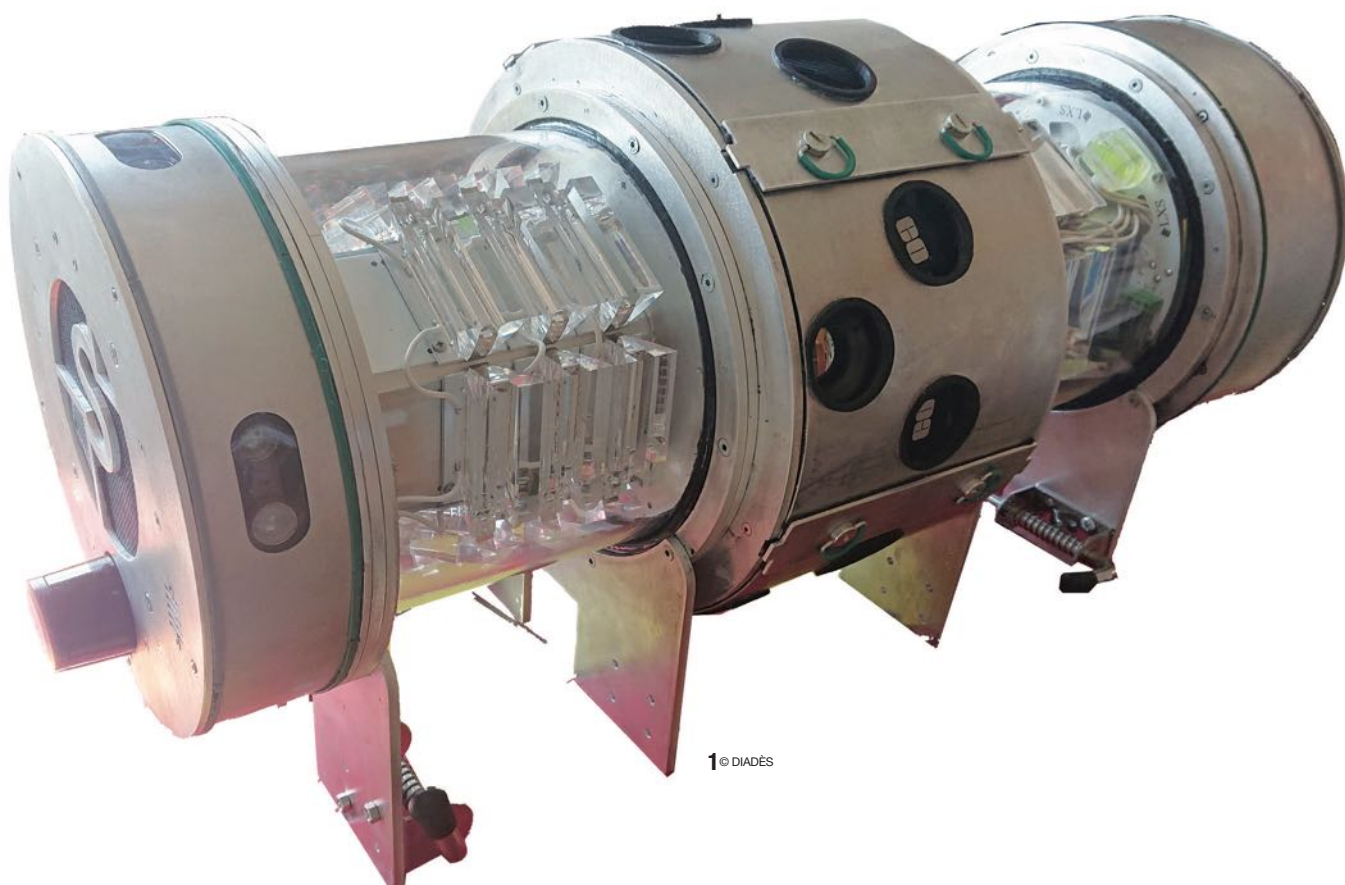


INSPECTION DÉTAILLÉE DES TUNNELS NOUVELLE TECHNOLOGIE : ID-NT[®]

AUTEURS : SÉBASTIEN FRACHON, EXPERT TUNNELS, SETEC DIADÈS, - BENJAMIN POLI, RESPONSABLE R&D, SETEC DIADÈS -
CHRISTOPHE RAULET, DIRECTEUR GÉNÉRAL, SETEC DIADÈS

LES INSPECTIONS DÉTAILLÉES DE TUNNELS, RÉALISÉES CONFORMÉMENT AU FASCICULE 40 DE L'ITSEOA, SONT PARFOIS PLUS COMPLEXES QUE SUR CERTAINS OUVRAGES D'ART CAR ELLES GÉNÈRENT PLUS DE PERTURBATIONS À L'EXPLOITATION. ELLES NÉCESSITENT EN EFFET UN CONTACT AVEC LA TOTALITÉ DU PAREMENT QUI DEMANDE UNE PRÉSENCE SUR SITE LONGUE, DE MOINS EN MOINS COMPATIBLE AVEC LES CONTRAINTES D'EXPLOITATION, NOTAMMENT SUR LES AUTOROUTES ET AUTRES GRANDS AXES ROUTIERS ET FERROVIAIRES. LE SYSTÈME ID-NT[®] DÉVELOPPÉ PAR SETEC DIADÈS PERMET DE S'AFFRANCHIR D'UNE GRANDE MAJORITÉ DE CES CONTRAINTES TOUT EN RESTANT CONFORME À L'ESPRIT DE LA RÉGLEMENTATION.



GENÈSE DE LA DÉMARCHÉ ET CONSTRUCTION DU MODE DE DÉVELOPPEMENT CONTEXTE

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

1- Dispositif
d'acquisition
ID-NT[®] V2.0.

1- ID-NT[®]
acquisition
system V2.0.

- Une problématique de plus en plus fréquente de fermeture d'un sens de circulation, qui plus est sur plusieurs nuits ;
- La volonté de rester conforme à l'instruction technique (fascicule 40).

Synthétiquement, il s'agit d'organiser, donc de pouvoir réaliser, des inspections détaillées avec le plus faible impact possible sur l'exploitation, tout en respectant la réglementation. Cette problématique d'équilibre entre contraintes d'exploitation et exhaustivité ▷

des constats est présente depuis longtemps mais de plus en plus, les exploitants sont tentés de privilégier l'absence de contrainte d'exploitation, ce qui peut avoir un impact sur la qualité de réalisation des inspections.

LES INSPECTIONS À DISTANCE

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.

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'images.

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 devons connaître plus en détails afin d'en déterminer les avantages et les inconvénients.

TECHNOLOGIE SCANNER TOPO (figure 3)

- Utilisation d'un scanner tournant ;
- Permet le relevé thermographique ;
- Permet l'acquisition de nuage de points et d'appliquer des photographies couleur haute définition.

TECHNOLOGIE SCANNER EMBARQUÉ (figure 4) :

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

SYSTÈME D'ASSISTANCE À LA RÉALISATION D'INSPECTION DE STRUCTURE TYPE TUNNEL

L'analyse de la comparaison des technologies existantes (tableau 1) 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 appli-



© DIADES 2

quant les points positifs de chaque méthode.

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 minimum pour mener à bien une inspection détaillée tout en limitant leur nombre.

2- Intervention sur le réseau Vinci Autoroutes - Escota.

2- Maintenance operation on the Vinci Autoroutes network - Escota.

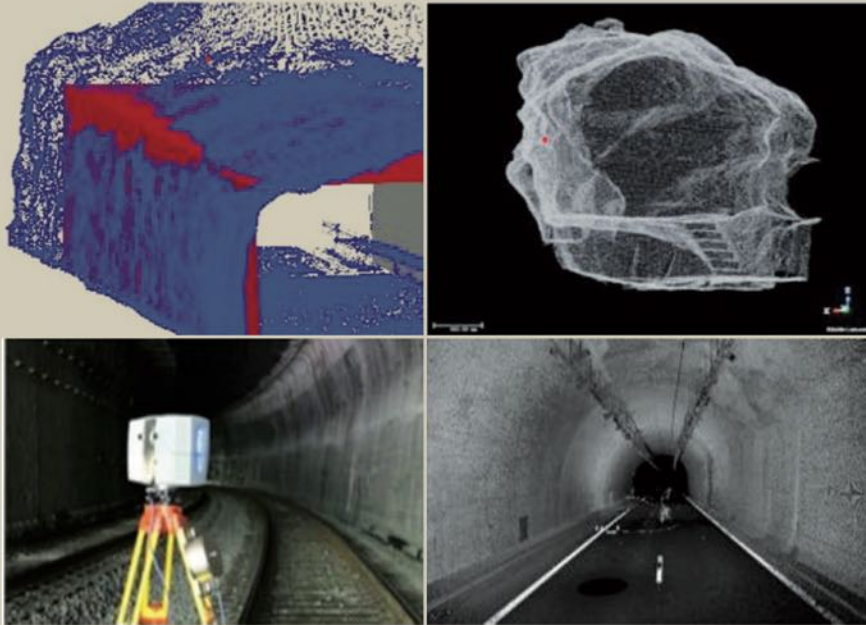
DESCRIPTION DU DISPOSITIF

Le système développé et breveté par Diadès (https://youtu.be/6m_mXpcxDJ4) est constitué de différents capteurs combinés entre eux et regroupé dans un seul et même boîtier. Il est disposé sur un système mobile, à poussée manuelle ou tractable.

TABLEAU 1 : COMPARATIF DES DIFFÉRENTES MÉTHODES D'INSPECTIONS DÉTAILLÉE ACTUELLES

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

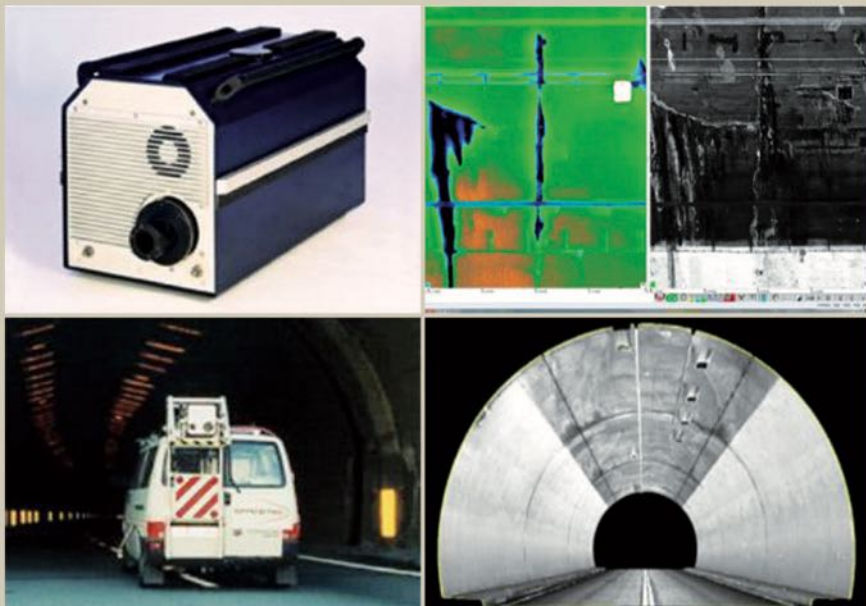
MODÈLE ET RENDU - SCANNER TOPO



© DIADES

3

MODÈLE ET RENDU - SCANNER EMBARQUÉ



© DIADES

4

Ce système mobile comprend les batteries nécessaires au dispositif pour effectuer une acquisition sur une période maximale de 8h sans rechargement.

Cinq éléments composent le système (figure 5) :

→ Des appareils photo de très haute précision dans le domaine visuel ;

3- Modèle et rendu - scanner topo.

4- Modèle et rendu - scanner embarqué.

3- Model and rendering - topography scanner.

4- Model and rendering - on-board scanner.

→ Des caméras à infrarouges ;

→ Des distancemètres ;

→ Un profilomètre ;

→ Des sondes de température/humidité ;

→ Une centrale inertielle ;

→ Un odomètre.

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 vis-à-vis des parois.

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 en temps réel (figure 6) durant 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. Une liste de réserves, paramétrable et identifiable directement sur site, par sondages au parement, est ainsi générée en parallèle à la phase d'acquisition, afin de profiter des créneaux en place de balisage (ou des créneaux de fermeture de la voie) pour limiter la multiplication des 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 in fine le diagnostic.

IMPLÉMENTATION

Le système est développé dans une optique de modularité maximale.

Pour la structure actuelle, le système permet outre l'acquisition dans les tunnels, la réalisation d'inspection dans des tubes de section minimale de 3,5 m de diamètre. Il permet également la réalisation de prestation au niveau de tubes ou puits verticaux.

Le système peut être adapté pour la réalisation d'acquisition de surface (chaussée, grand intrados...) ou tout autre type de structure.

Les éclairages intégrés dans le système sont démontables afin de s'adapter aux différents types d'éclairage présent dans les structures inspectées.

COMPOSANTS/RÔLES

Les différents composants implémentés dans le système se décomposent en trois catégories :

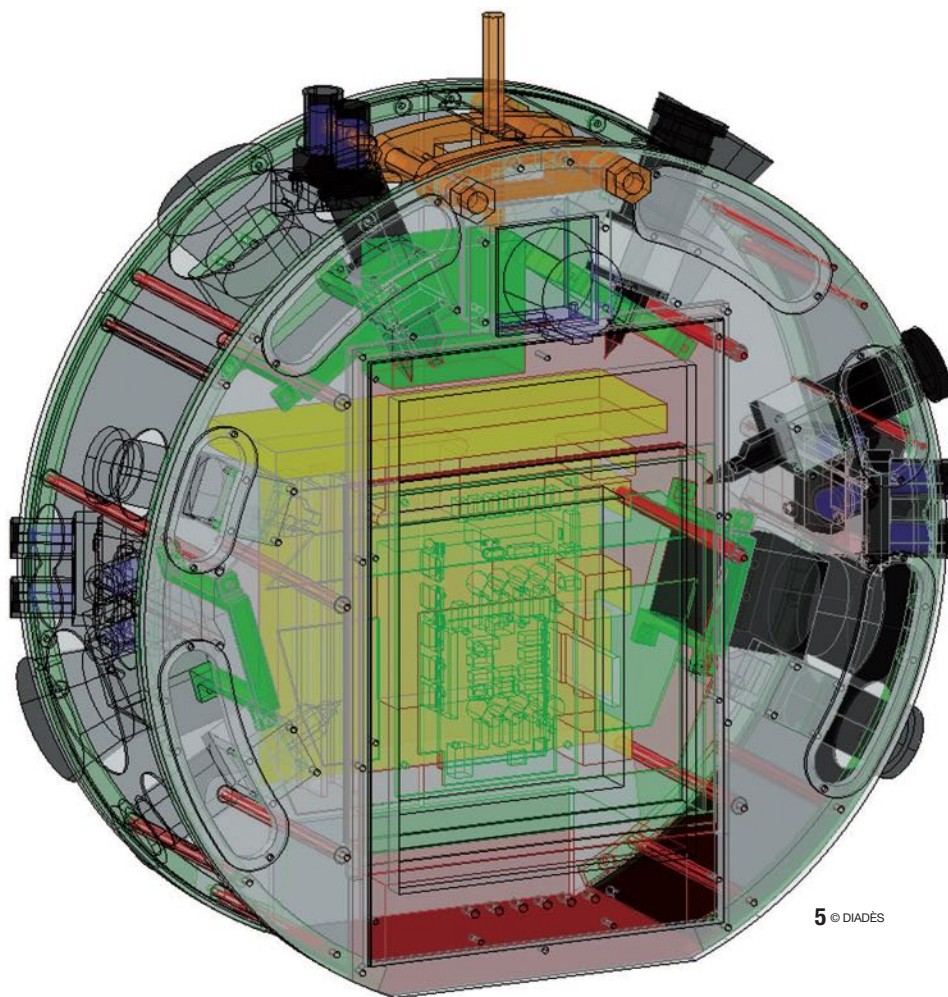
→ Capteurs permettant le positionnement et le déclenchement des acquisitions ;

→ Capteurs permettant la récupération des données pour le contrôle d'état de la structure ;

→ Éclairages.

5- Modèle 3D du prototype version 1.
6- Écran d'affichage des données d'acquisition en temps réel.

5- 3D model of prototype version 1.
6- Real-time acquisition data VDU.



5 © DIADÈS

CAPTEURS DE POSITIONNEMENT / DÉCLENCHEMENT

Afin de définir de façon automatisée le déclenchement des acquisitions, le système combine les données issues des capteurs suivants :

- Centrale inertielle : récupération des données de rotation ;
- Roue codeuse : récupération des données d'avancement ;
- Distancemètre : récupération des données de distance vis-à-vis des parois, contrôle de changement de section, ainsi que l'optimisation du déclenchement.

Chaque donnée d'acquisition ainsi obtenue possède une position précise dans le repère global de la structure contrôlée.

CAPTEURS DE RÉCUPÉRATION DES DONNÉES

Les capteurs de haute définition permettent le contrôle de l'état de surface du parement dans le domaine visible (figure 7). L'acquisition en qualité photo dans le domaine visible garantit non seulement de détecter des fissures jusqu'à des ouvertures de 0,2 mm, mais également, grâce à l'apport des captures dans le domaine infrarouge, de détecter/valider des zones de venues d'eau et de calcite (sèche ou active).

Les caméras permettent également l'acquisition thermographique de l'ensemble des parements afin 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 tels que les écailles de béton projeté en formation, ou de potentielles zones de vides à l'arrière du parement (décohésion, ...) (figure 8).

ÉCRAN D'AFFICHAGE DES DONNÉES D'ACQUISITION EN TEMPS RÉEL



Tracé du tunnel
(sur les axes X,Y,Z)

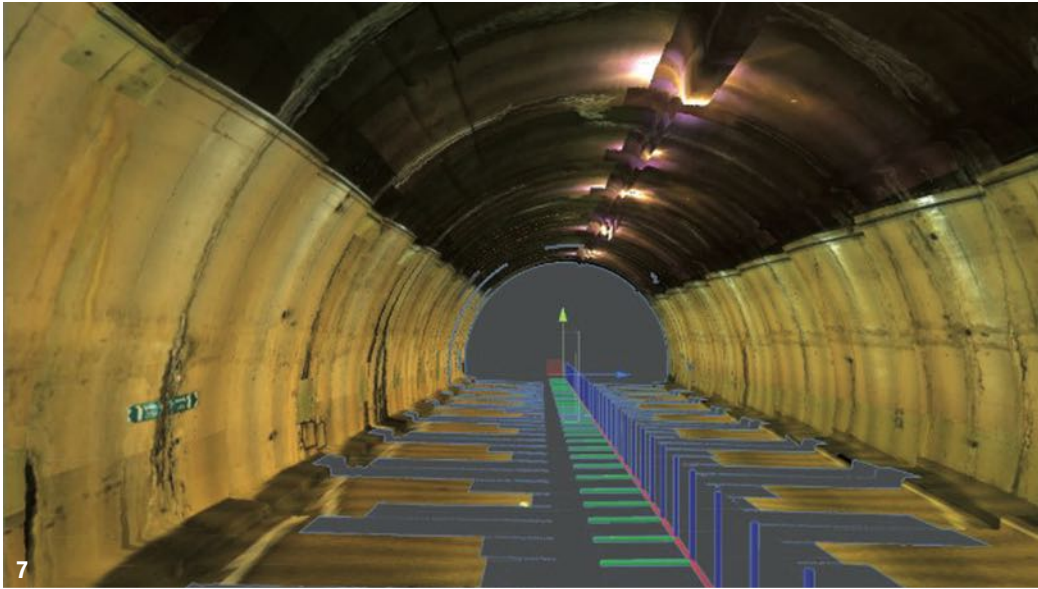
Profilométrie

Acquisition photo

Relevé infrarouge

6

© DIADÈS



© DIADÈS
7

7- Plaquage de l'acquisition photo HD sur les profils du tunnel.

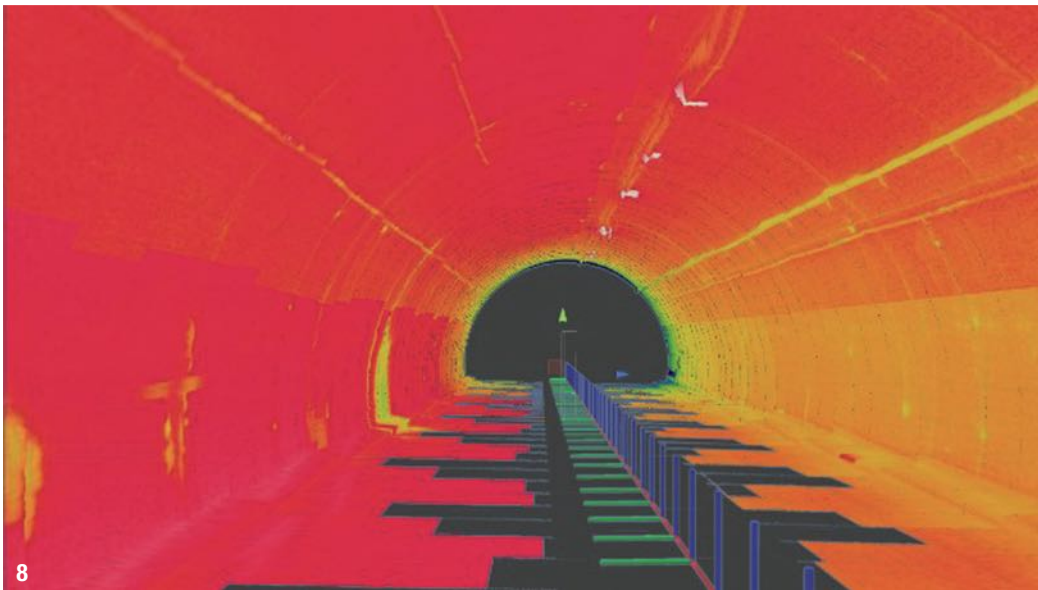
8- Acquisition infrarouge de l'intrados du tunnel.

9- Relevé profilométrique du tunnel.

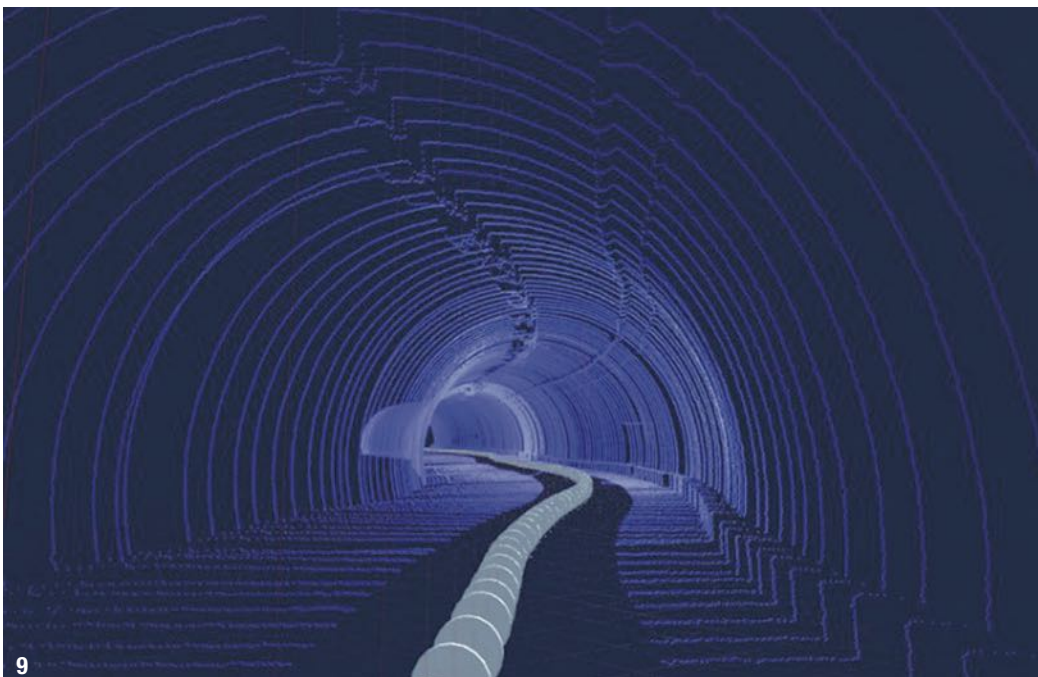
7- HD photo acquisition piling on tunnel profiles.

8- Infrared acquisition of the tunnel intrados.

9- Tunnel profilometry.



© DIADÈS
8



© DIADÈS
9

Des capteurs d'humidité et de température sont également intégrés dans le système.

La récupération de ces données est continue, elle permet de réaliser des diagrammes précis sur la longueur du tunnel (confirmation de l'étendue des zones humides).

Le scanner 2D permet le relevé profilométrique de la totalité du linéaire de l'ouvrage pour la création du squelette numérique de celui-ci. Ces données offrent la possibilité de déceler les différents "hors" et "en" profil et ainsi d'effectuer une extraction de profils à l'endroit souhaité (gabarit sous ventilation, etc.) (figure 9).

La zone de couverture de l'acquisition est définie sur 270° afin d'obtenir des données de qualité au niveau des parements de la structure, le contrôle visuel au niveau de la chaussée étant actuellement réalisé par l'inspecteur.

ÉCLAIRAGE

L'éclairage présent dans le système est défini pour optimiser les acquisitions de parois à une distance maximale de 9,00 m.

Les paramètres pris en compte pour la définition de ces composants sont dépendants de la vitesse d'acquisition et de la finesse de détection principalement pour les capteurs dans le domaine visible.

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 permet 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 (figures 7 et 8).

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.

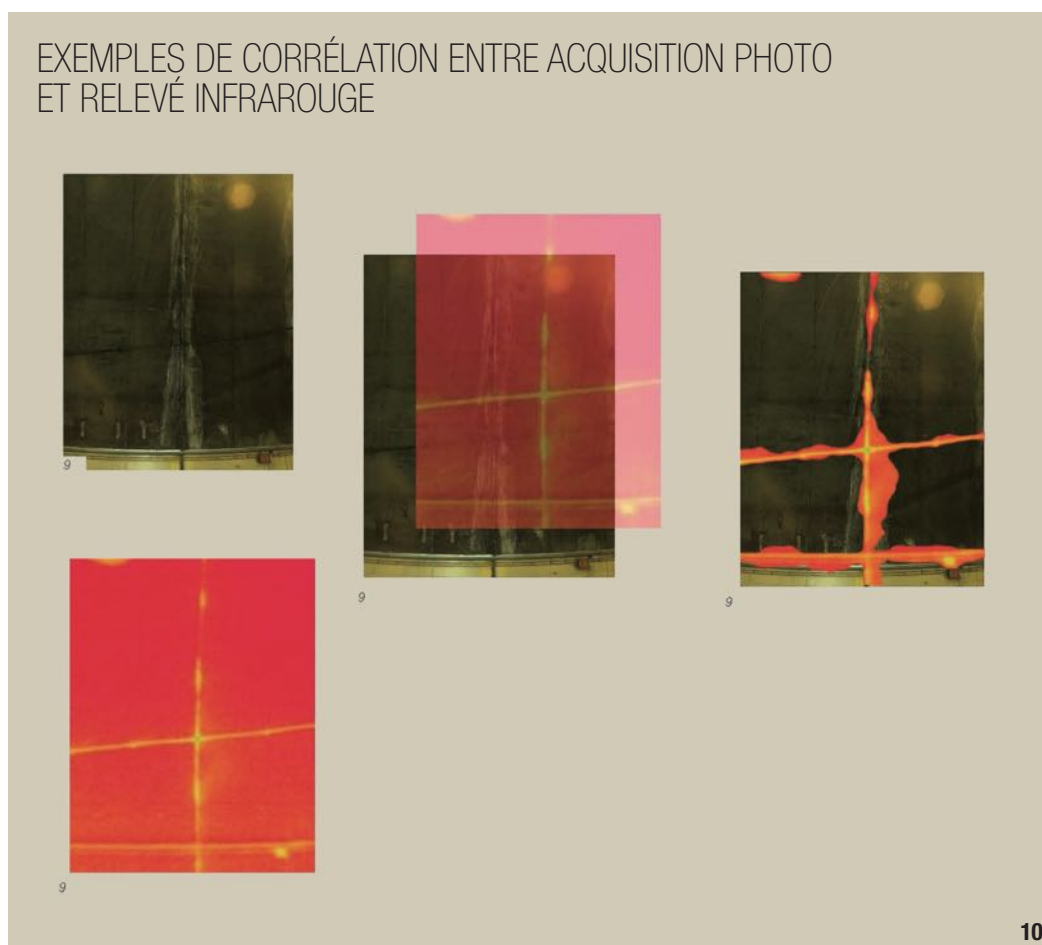
La gestion et la création des éléments se font sur la base (figure 10) :

- 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.

MODE OPÉRATOIRE

La 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 (figure 11).

La lecture en temps réel combinée à un système d'alerte permet 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 en temps réel mais également de lever les doutes en accédant (au moyen d'une nacelle) directement au contact du parement et des parties d'ouvrage concernées.

La présence de l'inspecteur permet également d'inspecter les zones non accessibles par les moyens automatisés (têtes, inter-tubes, réseau de drainage, zone d'influence) 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 doute qu'ils auraient eu à traiter a posteriori 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

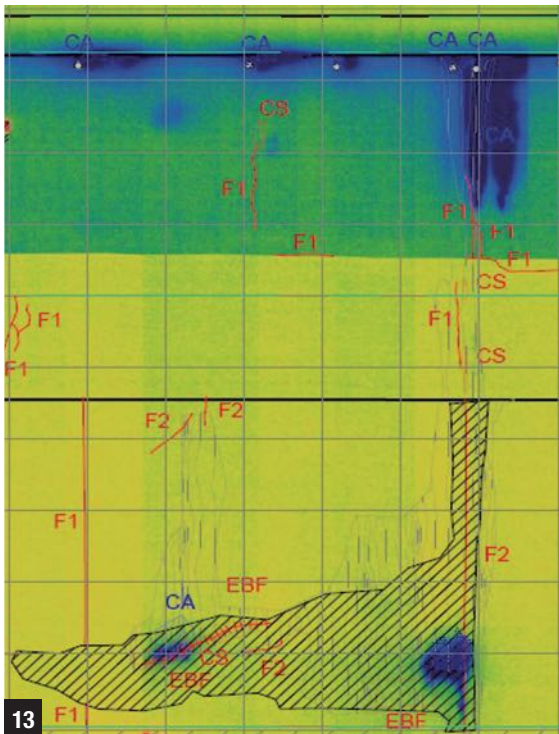
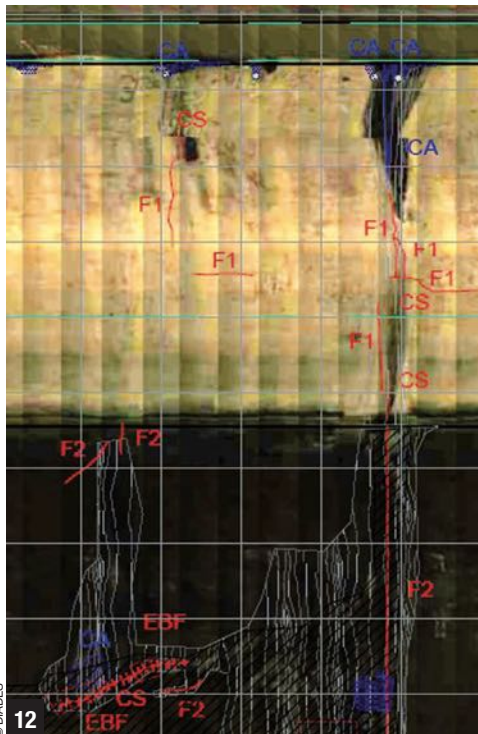


10- Exemples de corrélation entre acquisition photo et relevé infrarouge.

11- Intervention avec le Prototype V1.

10- Examples of correlation between photo acquisition and infrared survey.

11- Intervention with Prototype V1.



et de réaliser les cartographies des désordres sur un support développé (figures 12 et 13).

Les rendus sont ceux attendus dans le fascicule 40 de l'instruction technique avec notamment la fiche signalétique de l'ouvrage, les constats, la cotation IQQA, les suites à donner, un reportage photographique, une cartographie des désordres ainsi qu'une développée photographique de l'intrados de l'ouvrage.

Le développement de cette méthode a abouti sur une application concrète dans le cadre de plusieurs campagnes d'inspections détaillées sous fortes contraintes d'exploitation autoroutières, notamment pour le réseau Escota - Vinci Autoroutes (figure 2) et le réseau Aprr-Area.

ÉVOLUTION

Fort de son expérience au niveau des nombreuses prestations réalisées avec la version actuelle du système, Setec Diadès apporte en continu des évolutions tant sur les composants physiques (capteurs, paramètres de gestion interne au système) que sur les développements logiciels.

Une version ID-NT V2[®] sera opérationnelle d'ici à la fin de l'année (figures 1 et 14). Elle permet l'amélioration des entrants et des sortants afin d'obtenir des résultats de meilleure qualité et également d'implémenter des paramètres complémentaires.

Ces évolutions sont axées principalement sur la zone de couverture d'acquisition sur 360° (dans les domaines visuels et infrarouge), la vitesse d'acquisition en mode "furtif", l'optimisation de la qualité des acquisitions, l'optimisation de la gestion des acquisitions et le traitement des données de sortie. □

12- Cartographies de désordres sur photo haute définition.

13- Cartographies de désordres sur thermographie infrarouge.

14- Module d'éclairage.

12- Defect mapping on high-definition photo.

13- Defect mapping on infrared thermal imaging.

14- Lighting module.



ABSTRACT

A NEW TECHNOLOGY FOR DETAILED TUNNEL INSPECTION: ID-NT[®]

SÉBASTIEN FRACHON, SETEC DIADÈS - BENJAMIN POLI, SETEC DIADÈS - CHRISTOPHE RAULET, SETEC DIADÈS

Tunnel inspections require a long presence on site, which is less and less compatible with operating constraints, especially on motorways and other major road and rail arteries. The ID-NT[®] system developed, designed and patented by Setec Diadès can overcome a great majority of these constraints. Photo-quality acquisition guarantees not only the detection of crack widths down to 0.2 mm, but also the confirmation of water and calcite infiltration areas. The system can optimise the benefits of infrared thermal imaging and other techniques combined in a single cross-cutting and referenced acquisition system in order to facilitate fault finding, and in particular real-time ambiguity resolution by a confirmed inspector. □

NUEVA TECNOLOGÍA DE INSPECCIÓN DETALLADA DE TÚNELES: ID-NT[®]

SÉBASTIEN FRACHON, SETEC DIADÈS - BENJAMIN POLI, SETEC DIADÈS - CHRISTOPHE RAULET, SETEC DIADÈS

Las inspecciones de túneles requieren una presencia in situ prolongada, algo cada vez menos compatible con las restricciones de explotación, en especial en las autopistas y otros grandes ejes viales y ferroviarios. El sistema ID-NT[®], diseñado, desarrollado y patentado por Setec Diadès, evita gran parte de esas limitaciones. La adquisición en calidad fotográfica permite no solo detectar fisuras hasta aperturas de 0,2 mm, sino también validar las zonas de venida de agua y de calcita. El sistema saca el máximo partido de la termografía por infrarrojos y otras técnicas, combinadas en una misma adquisición cruzada y referenciada para facilitar el diagnóstico, en particular para despejar las dudas en tiempo real de los inspectores autorizados. □