# RECOMMANDATIONS POUR LES INSPECTIONS TÉLÉVISUELLES

GT6 | RECOMMANDATIONS POUR LES INSPECTIONS TÉLÉVISUELLES

**Pilote :** Jean-François Bindel (Groupe ADP)

**Groupe de travail :**
Pierre Carreaud (SITES)
Baptiste Sutter (Structure & Réhabilitation)
Éric Durieu (SATIF OA)
Gérald Forissier (SATIF OA)
Philippe Bertho (QUADRIC)
Éric Helin (QUADRIC)
Alexandre Guebey (DIADES)
Pierre-Marin Fabry (Sixense Engineering)
Christophe Raulet (DIADES)
Idriss Benslimane (Structure & Réhabilitation)

Ingénierie de Maintenance du Génie Civil
IMGC

Ce document est rédigé par le Groupe de Travail 6 de l'IMGC, piloté par Jean-François Bindel, Groupe ADP et constitué de :

- Pierre Carreaud, SITES
- Baptiste Sutter, Structure & Réhabilitation
- Éric Durieu, SATIF OA
- Gérald Forissier, SATIF OA
- Philippe Bertho, QUADRIC
- Éric Helin, QUADRIC
- Alexandre Guebey, DIADES
- Pierre-Marin Fabry, Sixense Engineering
- Christophe Raulet, DIADES
- Idriss Benslimane, Structure & Réhabilitation

Le comité de relecture est constitué de :

- Benoît Guillot, ARTELIA – ARTEDRONES
- Romain Pittet, ASFA
- Mathieu Barilone, CNR
- Vincent Fuchs, CNR
- Séverine Charmant, DGAC
- Marion Floret, EDF
- Julien Gabrielli, SNCF Réseau
- Olivier Bougeard, SNCF Réseau
- Pelayo Villanueva, SNCF Réseau

L'IMGC est une association regroupant les différents acteurs de **l'Ingénierie de Maintenance** dans le domaine des ouvrages d'art.

Cette association, dédiée à l'ingénierie de la surveillance, du diagnostic et de la maîtrise d'œuvre des structures existantes, est organisée en trois collèges :

- **Collège bureaux d'ingénierie ;**
- **Collèges maîtres d'ouvrage ;**
- **Collège organismes scientifiques.**

Elle compte également des membres correspondants (fournisseurs de produits...).

L'IMGC est membre associé de SYNTEC-INGENIERIE, adhérente de l'IDRRIM et partenaire de l'AFGC, du STRRES et de l'association Le PONT.

**Nos objectifs**

- **Promouvoir les métiers** de l'Ingénierie de la Maintenance ;
- **Développer des programmes** de formations spécifiques ;
- **Permettre aux maîtres d'ouvrage** de bien appréhender des prestations ;
- **Être un lieu d'échange** entre maîtres d'ouvrage, bureaux d'ingénierie et organismes scientifiques.

# Sommaire


1. AVANT-PROPOS 5

2. OBJECTIF 5

3. DOMAINE D'APPLICATION ET STRUCTURES CONCERNÉES 6

4. OUTILS D'ACQUISITIONS 7

» **4.1 Vecteurs, porteurs** ..... **7**
- 4.1.1 Supports mécaniques ..... 7
- 4.1.2 Bras automatisés ..... 7
- 4.1.3 Roulants ..... 8
- 4.1.4 Aériens ..... 8
- 4.1.5 Aquatiques ..... 8

» **4.2 Capteurs** ..... **9**
- 4.2.1 Capteurs traditionnels ..... 9
- 4.2.2 Capteurs spécifiques ..... 9
- 4.2.3 Conditions d'application des différents capteurs ..... 11

5. MÉTHODES D'EXPLOITATION DES DONNÉES TÉLÉVISUELLES 12

» **5.1 Traitement des images** ..... **12**
- 5.1.1 Mosaïque d'images ..... 13
- 5.1.2 Orthomosaïque, orthophotographie ..... 13
- 5.1.3 Modèle 3D ..... 14
- 5.1.4 Synthèse des différents traitements d'image ..... 14

» **5.2 Bases de données et classification des désordres** ..... **15**

» **5.3 Référencement, localisation** ..... **16**

» **5.4 Analyse, interprétation** ..... **17**

6. RAPPORT D'INSPECTION, LIVRABLES 18

» **6.1 Listes et représentations schématiques** ..... **18**

» **6.2 Représentation graphique** ..... **19**
- 6.2.1 Reportage photographique ou vidéo légendé ..... 19
- 6.2.2 Assemblage d'images, mosaïque ..... 20
- 6.2.3 Planche technique proportionnée ..... 20

» **6.3 Orthophotographies** ..... **21**

» **6.4 Le modèle 3D** ..... **22**

» **6.5 Fichiers multicouches** ..... **22**

» **6.6 Format et visualisation des données** ..... **23**

7. PRÉCISION 25
» 7.1 Seuil de détection ..... 25
• 7.1.1 Taille pixel ..... 25
• 7.1.2 Qualité de l'image ..... 26
• 7.1.3 Lien entre taille pixel et seuil de détection de défauts linéaires ..... 27
• 7.1.4 Qualité, résolution de l'écran de visualisation ..... 27
• 7.1.5 Particularité des inspections subaquatiques ..... 27
» 7.2 Evaluation des dimensions des défauts ..... 28
» 7.3 Localisation des défauts ..... 28
» 7.4 Exhaustivité de l'inspection ..... 29
8. COMPÉTENCES DES OPÉRATEURS 29
9. BESOINS À DÉFINIR PAR LE MAÎTRE D'OUVRAGE 30
10. SÉCURITÉ 32
» 10.1 Assurances ..... 32
11. RÉFÉRENCES RÉGLEMENTAIRES ET LÉGISLATIVES 33
» 11.1 Aérien ..... 33
» 11.2 Aquatique ..... 33
» 11.3 Rail ..... 33
» 11.4 Route ..... 33
12. CAS D'USAGE 34
» 12.1 Intrados de tablier et pile haute inspectés par drone ..... 34
» 12.2 Parties immergées d'un barrage inspectées par SONAR ..... 35
» 12.3 Tunnel inspecté par caméra sur lorry ..... 36
» 12.4 Châteaux d'eau inspectés par drone ..... 38
13. TRAITEMENTS COMPLÉMENTAIRES 40
14. TECHNIQUES CONNEXES 42
15. ÉVOLUTIONS PRÉVISIBLES DE LA TECHNOLOGIE 42
16. GLOSSAIRE 43
17. BIBLIOGRAPHIE & SITOGRAPHIE 44
18. FIGURES ET TABLEAUX 45

# 1 Avant-propos

Les techniques d'inspection à distance évoluent rapidement. Cette progression s'accompagne logiquement d'une baisse des coûts du matériel. De ce fait, l'usage relativement récent de ces techniques se diffuse rapidement mais en dehors de tout cadre réglementaire ou normatif. Il devient opportun de préciser quelques règles de bonnes pratiques.

Ces recommandations s'adressent aussi bien aux Maîtres d'ouvrages qu'aux donneurs d'ordre ou, d'une manière plus générale, à tous les intervenants dans le domaine de l'inspection des structures de génie civil.

Ces outils sont au service des différents acteurs de l'ingénierie et ne sauraient se suffire à eux-mêmes. Ils doivent être utilisés et exploités par des équipes maîtrisant avant tout le fonctionnement et le vieillissement des structures de Génie-Civil.

# 2 Objectif

Ces recommandations dressent un panorama des techniques et méthodes existantes et guident dans le choix et l'utilisation de l'inspection télévisuelle la mieux adaptée à un problème particulier.

Elles dressent un cadre de travail et d'échange entre les différents intervenants en précisant, outre les contraintes associées à chacune de ces techniques, la nature et la qualité des informations rendues.

La restitution des interventions ainsi que les limites associées sont précisées afin d'adapter le choix de l'outil à l'objectif à atteindre, en adéquation avec l'attente du gestionnaire.

# 3 Domaine d'application et structures concernées

Que ce soit dans le cadre d'une surveillance organisée d'un patrimoine ou d'un diagnostic ponctuel, ces méthodes complètent la panoplie des moyens disponibles pour réaliser le suivi du patrimoine, tel que préconisé par les règles de l'art (ITSEOA) pour le domaine particulier des Ouvrages d'Art.

Dans certains cas, elles peuvent se substituer totalement ou partiellement aux techniques traditionnelles de visite, si par exemple, le contact direct à la structure est impossible, dangereux, ou génère de fortes contraintes d'exploitation, etc.

À l'extrême, elles permettent une inspection, même dégradée, de composants jusqu'alors inaccessibles.

Dans d'autres cas, la fiabilité d'une détection visuelle peut se révéler insuffisante (relevé long et répétitif sur grands ouvrages, faible visibilité subaquatique, etc.).

Elles offrent aussi un intérêt dans la stratégie de détection, en permettant, par une vision d'ensemble, de cibler, adapter, justifier ou limiter le recours à d'autres moyens, parfois exceptionnels.

Enfin, en réduisant les reports, transferts des informations (relevé dessiné, description des désordres,...), elles peuvent aussi améliorer les comparaisons ultérieures.

Bien qu'utilisable dans d'autres domaines, ce document se limite aux applications sur des structures bâties telles que les ponts, viaducs, tunnels, murs de soutènement, bâtiments, structures industrielles (barrages, aéroréfrigérants, réservoirs, écluses, cheminées,...), principalement en béton ou en maçonnerie.

En particulier, il ne traite ni des ouvrages à grands linéaires tels que les chaussées, digues, ou voies ferrées, ni des machines ou véhicules (avions, bateaux,...).

# 4 Outils d'acquisitions

Nous ne détaillerons ici que les outils de détection et de relevé visuels, limités au premier parement « visible » et sans introduction dans la matière. D'autres techniques connexes permettant des mesures dimensionnelles, thermiques, etc. seront toutefois évoquées mais uniquement à titre de curiosité.

Ces techniques d'observations déportées et sans contact permettent de rapporter une visualisation à un observateur à distance en temps réel ou d'enregistrer des données pour exploitation ultérieure. Elles sont distinguées selon les grands types de porteurs et de capteurs (techniques d'acquisition des images). Elles peuvent induire de nouvelles contraintes de logistique, d'encombrement ou d'accessibilité.

## 4.1 VECTEURS, PORTEURS

Les capteurs peuvent être portés par les inspecteurs (scaphandrier, cordiste, en nacelle, bateau,...) ou montés sur supports plus ou moins autonomes. La qualité de ces vecteurs peut influencer le rendu final, en particulier, la stabilité du support du capteur.

### 4.1.1 Supports mécaniques

Il s'agit là des porteurs les plus simples, non robotisés, tels que des perches, des joncs poussés, des trépieds ou des dispositifs suspendus.



➤ *Figure 1 : Appareil photo sur trépied*

### 4.1.2 Bras automatisés

Les bras automatisés permettent de déporter les capteurs télévisuels et de réaliser l'inspection à distance. Cela permet notamment d'améliorer la qualité de rendu tout en préservant du mieux possible l'exploitation des ouvrages.



➤ *Figure 2 : Bras automatisé*

### 4.1.3 Roulants

Ces matériels permettent de parcourir des ouvrages linéaires tels que des tunnels, canalisations, gaines. Les capteurs peuvent être montés sur un robot téléguidé (filaire ou radio) ou montés sur châssis routiers, lorrys ferroviaires,...



➤ *Figure 3 : Caméra robotisée sur chariot*



➤ *Figure 4 : Système d'acquisition de photo-profils en tunnel*

### 4.1.4 Aériens

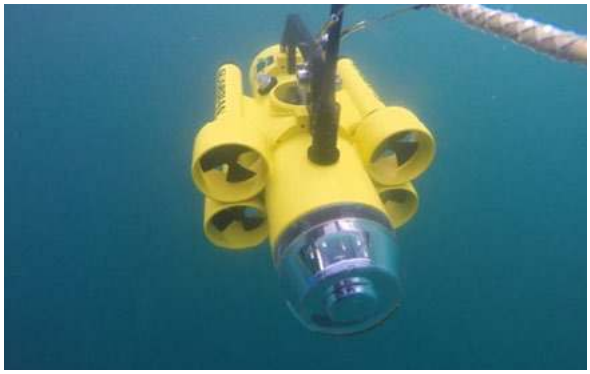
Ils sont souvent utilisés pour atteindre des structures de grande hauteur ou parcourir de grandes surfaces. Dans ce cas les porteurs peuvent être des drones plus ou moins automatisés, à voilure fixe, tournante, ou ballons dirigeables mais aussi des hélicoptères, ULM et avions plus conventionnels.



➤ *Figure 5 : Drone multi-rotor*

### 4.1.5 Aquatiques

Ils permettent d'inspecter des parties immergées d'ouvrages plus ou moins profondes et difficiles d'accès. Ils peuvent être flottants, sous-marins, filoguidés ou non, automatisés ou non.



➤ *Figure 6 : Mini robot sous-marin*



➤ *Figure 7 : Drone de surface, ou flottant*

## 4.2 CAPTEURS

Ces matériels sont en perpétuelle évolution. Les caractéristiques présentées ici sont les plus courantes à ce jour. Ils peuvent être associés, dupliqués selon les configurations ou besoins.

### 4.2.1 Capteurs traditionnels



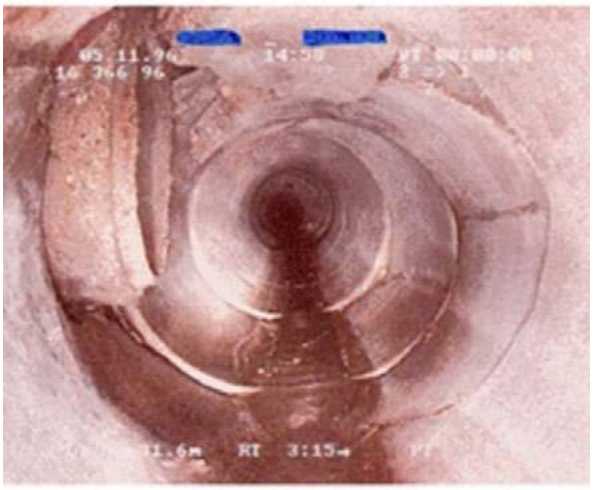
➤ *Figure 8 : Appareil photo numérique*

Ces capteurs sont des appareils photos numériques compacts, bridges ou reflex 5 à 60 mégapixels.

Des caméras vidéo sont également utilisées. Elles peuvent être de résolutions variées (VGA, HD, 4K,...), industrielles ou embarquées, selon l'usage.



➤ *Figure 9 : Caméra industrielle*



➤ *Figure 10 : Inspection de réseau*



➤ *Figure 11 : Tourelle vidéo optique, avec éclairage*

Dans le subaquatique, on utilise des caméras sous-marines haute sensibilité, Noir et Blanc ou couleur, VGA ou HD.

### 4.2.2 Capteurs spécifiques

Les caméras thermiques à infrarouge mesurent des températures sur une grille de pixels. D'autres capteurs hyperspectraux mesurent également des intensités sur une grille de pixels dans leurs longueurs d'onde respectives. Ces caméras sont souvent utilisées pour la détection de fuite (eau et air), la présence ou l'arrivée d'eau, la délamination peu profonde du béton, etc.

Le LIDAR mesure des distances et des intensités de réflexion (rayonnement visible à proche infra-rouge) et permet de recomposer une image.

Les SONAR d'imagerie sous-marine sont utilisés pour les inspections subaquatiques dans un environnement sans visibilité :

- Les caméras acoustiques mesurent des distances et des intensités de réflexion (ondes acoustiques) et permettent de recomposer une vidéo en temps réel, à raison de 15 images/s ;
- Les SONAR à balayage haute résolution mesurent aussi des distances et des intensités de réflexion (ondes acoustiques) et permettent de recomposer une image. Ils sont utilisés pour les cartographies ou reconnaissances de plus grandes étendues.




*Figure 12 : Parement maçonné par caméra acoustique*



*Figure 13 : Appuis immergés par SONAR à balayage*

### 4.2.3 Conditions d'application des différents capteurs

| CAPTEURS TRADITIONNELS | | |
|---|---|---|
| **CAPTEURS** | **CONDITIONS OPTIMALES** | **LIMITES D'USAGES** |
| Appareil photo numérique<br>Caméra vidéo | De jour ou avec un éclairage d'appoint ;<br>Station fixe ou stabilisée ;<br>Volume d'air traversé homogène ;<br>Distance réduite au parement ;<br>Objectif de bonne qualité. | Vitesses de déplacements importantes ;<br>Présence de brouillard / vapeur ;<br>Angles d'éclairages non adaptés ;<br>Distances élevées au parement ;<br>Contraste du parement ;<br>Conditions d'exposition (un ensoleillement direct nuit par exemple à la qualité de l'acquisition). |
| Caméra sous-marines<br>(noir et blanc ou couleur) | Eau claire ;<br>Distance et angles par rapport au parement ;<br>Station fixe ou stabilisée ;<br>Luminosité. | Turbidité de l'eau ;<br>Mouvements de fluides importants ;<br>Distance au parement. |

| CAPTEURS SPÉCIFIQUES (RECONSTITUTION D'IMAGE) | | |
|---|---|---|
| **CAPTEURS** | **CONDITIONS OPTIMALES** | **LIMITES D'USAGES** |
| Caméra thermique | Gradient thermique important | Atmosphère humide, brouillard, ou à l'inverse, trop ensoleillé, vent. |
| LIDAR | Jour ou nuit ;<br>Air ou eau limpides, sans brouillard ;<br>Mesure de la distance et de l'intensité du signal (image en niveaux de gris) ;<br>Signal absorbé par l'eau, idéal pour la recherche d'eau et d'humidités. | Détails observés de plusieurs millimètres = non adapté à la recherche de fissures fines car diamètre du spot laser trop gros (plusieurs millimètres voire centimètres), signal absorbé par l'eau. |
| SONAR d'imagerie sous-marine type caméra acoustique | Fréquence élevée > 2.5 Mhz ;<br>Eau claire à très chargée ;<br>Distance max au parement : 15 m ;<br>Le mouvement sur 3 axes ajoute une mesure du relief. | Vitesses de déplacement importantes ;<br>Distance min au parement = 0,70 m ;<br>Hauteur d'eau minimale 1 m ;<br>Mouvements de fluides importants ;<br>Perturbations acoustiques diverses.<br>Température et salinité de l'eau influençant la vitesse du son. |
| SONAR d'imagerie à balayage | Eau claire à très chargée ;<br>Station fixe ou tractée ;<br>Distance max au parement 150 m ;<br>Vitesse de balayage au minimum. | |

➤ *tableau 1 : Conditions d'application des différents capteurs*

# 5 Méthodes d'exploitation des données télévisuelles

La qualité de l'acquisition des images influencera beaucoup le résultat et les possibilités de traitements ultérieurs. En particulier, la taille « pixel terrain » et le recouvrement entre chaque image seront adaptés au traitement visé. Une mosaïque d'images, aériennes ou subaquatiques, nécessitera un recouvrement des images de 20 à 30 %, alors qu'il sera plutôt de l'ordre de 70 % pour un modèle 3D.

Le « pixel terrain » visé selon le seuil de détection souhaité dépendra notamment de la distance entre l'objet et le capteur, de la focale de la caméra, la taille et la résolution du capteur.

Dans la pratique, la turbidité et la célérité de l'eau en subaquatique, les conditions atmosphériques, le relief, les différences d'exposition entre plusieurs surfaces ou encore les ombres et les contrastes sont autant de paramètres à prendre en compte pour adapter la méthode d'acquisition des images.

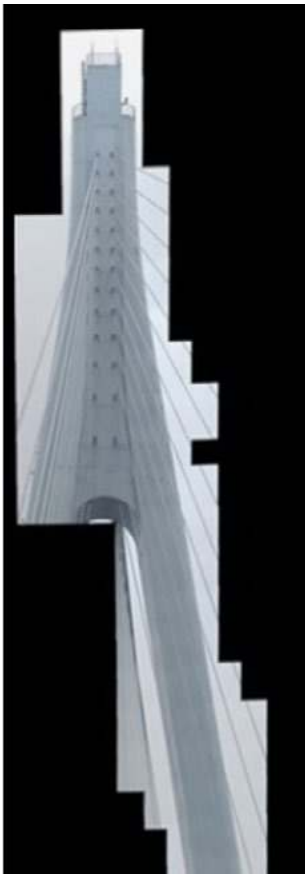
## 5.1 TRAITEMENT DES IMAGES

Le traitement le plus simple consiste à inspecter en temps réel, à partir des images brutes ou de retours vidéo. Les observations sont reportées à main levée sur plan et/ou illustrées par un reportage photographique ou vidéo. Un système de mesure ou de localisation supplémentaire ajoutera une précision sur les caractéristiques (ouverture, longueur, position, etc.). De la même façon, le report sur un support précis, à l'échelle, éventuellement avec un précédent relevé, améliorera la précision de la localisation, à l'identique d'une inspection en direct, sans assemblage des images.

Si la durée d'intervention est réduite, l'examen des images et le report des observations peuvent être différés. La prise de vue devra alors couvrir l'intégralité de l'ouvrage, avec des éléments de localisation ou un protocole de saisie de données précis, au risque de manquer d'image et de données. Le post-traitement des images ou vidéos peut être ensuite plus ou moins évolué, selon l'objectif recherché dans l'inspection.

Les données de sources photographiques contiennent des métadonnées Exif, telles que :

- La date et l'heure.
- Les réglages de l'appareil (marque et modèle, sensibilité, vitesse d'obturation, etc.).
- Les informations géographiques.
- Description et information des droits d'auteur.
- Commentaires.
- ...



➤ *Figure 14 :*
*Mosaïque d'images sur pylône*

### 5.1.1 Mosaïque d'images

Ce traitement permet d'obtenir une seule image globale à partir de plusieurs dizaines ou centaines de photographies unitaires. Les images peuvent être extraites de vidéos. Il facilite la localisation et le dimensionnement des défauts, et donc le report sur fond de plan. Mais du fait des écart d'échelles, angles de vues différents, il ne constitue pas un outil de mesure fiable.

### 5.1.2 Orthomosaïque, orthophotographie

L'orthophotographie, aussi appelée orthomosaïque ou ortho-image, est une vue à l'échelle, d'une ou plusieurs faces, de l'ouvrage. Pour une face plane, cela s'apparente à une vue en élévation sur un plan d'architecte. Elle est superposable avec un plan vectoriel coté. La taille d'un « pixel terrain » (sur l'ouvrage) est connue. Il est alors possible de mesurer sur une telle image des longueurs, surfaces, angles ou encore des ouvertures de fissure. Cette taille pixel doit être suffisante pour détecter les défauts recherchés. Elle définira donc le choix du matériel et la chaine de traitement des images.

Elle peut être créée par :

- Redressement d'image (correction de perspective et des distorsions optiques) ;
- Mosaïquage ou assemblage de plusieurs images prises de face ou redressées ;
- Projection du modèle 3D de l'ouvrage sur un plan, ou déroulé suivant un cylindre ou un cône, selon la forme de l'ouvrage.

Cette étape permet de supprimer la perspective et ainsi produire un document qui allie les qualités métriques du plan et la richesse d'information photographique (le document est « zoomable » et retranscrit toutes les particularités surfaciques). Le relief étant supprimé de l'image, tout élément dont la surface est perpendiculaire au plan de projection ne sera pas visible. (Les surfaces horizontales de la dalle d'un balcon n'apparaîtront pas sur une orthophotographie de façade verticale, y compris les fissures à l'interface façade / dalle).

Ce document permet ainsi d'embrasser l'intégralité de la face à inspecter sur un document unique tout en autorisant une analyse fine.



*Figure 15 : Image originale avant redressement*

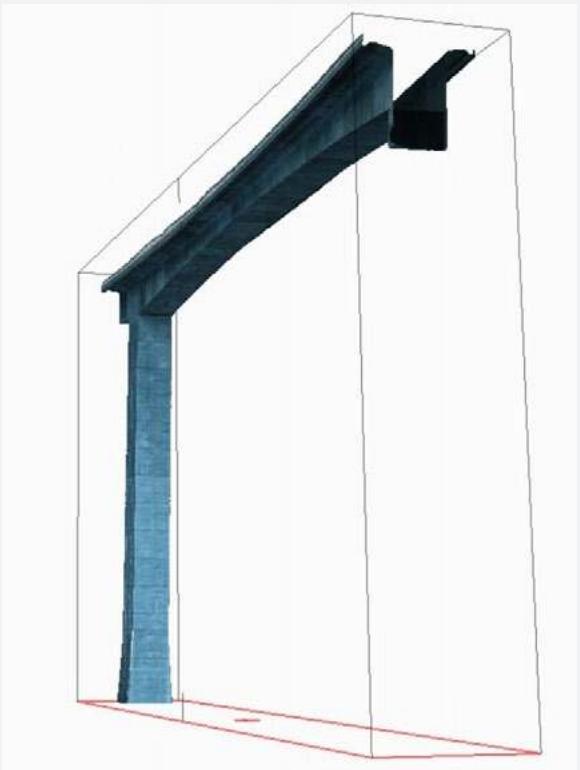


*Figure 16 : Orthophotographie (image voisine redressée)*

### 5.1.3 Modèle 3D

Le modèle 3D est produit à partir d'un nuage de points obtenu par photogrammétrie, qui consiste à avoir plusieurs images décalées du même parement afin de reconstruire la profondeur. Un maillage est alors effectué afin de produire une surface de triangles. Cette étape permet à partir de points isolés de recréer une forme solide. Ces surfaces peuvent être ensuite texturées en plaquant les photos sur le maillage du modèle 3D. Cela nécessite que la résolution de la texture soit en corrélation avec le « pixel terrain » nécessaire. La reconstruction 3D et ce texturage demandent d'importantes capacités de calcul et de visualisation car la quantité d'informations à traiter est très importante (Plusieurs centaines voire milliers de photos pour un ouvrage courant, avec un recouvrement important).

Le modèle 3D permet de connaitre la géométrie de l'ouvrage afin de réaliser une ou plusieurs orthophotographies.



➤ *Figure 17 : Modèle 3D issu de la reconstitution par photogrammétrie d'un viaduc*

### 5.1.4 Synthèse des différents traitements d'image

| TRAITEMENT | EXHAUSTIVITÉ | RAPIDITÉ DU RELEVÉ TERRAIN | RAPIDITÉ DU POST-TRAITEMENT | PRÉCISION DE LA CARACTÉRISATION | COMMENTAIRE |
|---|---|---|---|---|---|
| Inspection des images sur site, sans moyen de mesure. | Risque d'omettre une zone, par difficultés de repérage | Faible | Très bonne | Ne permet pas de caractériser ou localiser précisément | Résultat immédiat. Faible volume de données. |
| Inspection des images sur site, avec moyens de mesure. | Risque d'omettre une zone, par difficultés de repérage | Faible | Très bonne | Bonne | Résultat immédiat. Faible volume de données. |
| Acquisition des images avec inspection différée, sans assemblage | Risque d'omettre une zone, par difficultés de repérage ou effet de masque. | Bonne | Bonne (simple examen des images) | Ne permet pas de caractériser ou localiser précisément | Perte d'exploitation réduite. |
| Acquisition des images avec inspection différée, avec assemblage. | Possibilité de zones aveugles mais elles sont identifiées. | Bonne | Faible | Très bonne | Grand volume de données |

➤ *tableau 2 : Synthèse des différents traitements d'images*



➤ *Figure 18 : Nuage de points, maillage 3D, modèle texturé, orthophotographie et plan*

## 5.2 BASES DE DONNÉES ET CLASSIFICATION DES DÉSORDRES

Différentes classifications des désordres ont été implémentées pour des ouvrages spécifiques. À travers ces recommandations, le type d'ouvrage inspecté par moyen télévisuel aiguillera le choix de la classification à suivre. À titre d'exemple, nous pouvons citer les classifications suivantes pouvant être utilisées pour le télévisuel :

- Les fascicules de l'ITSEOA et la classification IQOA édités par le Cerema.
- Recommandations de l'ASTEE et AGHTM dans le domaine de l'inspection des réseaux enterrés.
- Classification et vocabulaire technique (désaffleurement, efflorescence, affouillement,...) propres aux Maîtres d'ouvrages,
- ...

La classification de défauts à travers des tableaux de données permet d'intégrer les désordres relevés dans des systèmes d'informations géographiques (SIG). Des analyses statistiques des défauts, au travers des bases de données uniformisées, peuvent être exploitées dans le but d'apprécier l'évolution des désordres. D'autre part, cela permet une génération plus efficiente des rapports d'inspection à partir d'un tableau décrivant les défauts, leur localisation, leurs caractéristiques et les images et vidéos associées, par exemple. Enfin, cela standardise la description des désordres quel que soit l'inspecteur.

Par simplification, les termes désordres ou défauts, peuvent aussi désigner des informations telles que la présence de capteur, carottage, repère topo ou réparation.

La base de données peut aussi intégrer diverses caractéristiques :

- Identifiant
- Composant de la structure (parapet, appui, tablier, face Nord/Sud, N° de bloc, de voussoir, travée, plots,...)
- Dimensions, ouverture, surfaces, aspect, teinte
- Evolution, réparations, introuvable
- Environnement, végétation, graffitis
- Observations

| CATÉGORIE | CARACTÉRISATION | PARTICULARITÉ / OBSERVATION |
|---|---|---|
| Fissures / fractures | Ouverture<br>Longueur de règne<br>Désaffleurement<br>Décalage<br>Active / passive<br>Soulignées ou non de calcite | Retrait gêné<br>Flexion<br>Effort tranchant<br>Torsion<br>Diffusion / entrainement de précontrainte<br>*(Liste non-exhaustive)* |
| Maillage de fissures | Ouverture<br>Densité<br>Faïençage | Gonflement interne du béton, dessiccation de surface,... |
| Reprise de bétonnage | Fissurée ou non<br>Humide ou non | Ferraillée ou non |
| Eclat / épaufrure du béton | Sur acier ou non | Risque pour la sécurité des personnes |
| Aciers apparents | Oxydés ou non | Section résiduelle<br>Corrosion expansive / dissolvante |
| Calcite / stalactite / efflorescences | Humide ou non<br>Active / passive | |
| Coulures d'eau | Abondante ou pas<br>Ruissellement | Couleur (ocre ou non) |
| ... | ... | ... |

➤ *tableau 3 : Exemple de classification des principaux désordres décelables sur des parements béton*

## 5.3 RÉFÉRENCEMENT, LOCALISATION

Le rattachement à un système de coordonnées permet de connaitre l'emplacement des dégradations observées. Il peut être réalisé :

- En relatif, selon un ou plusieurs points remarquables situés sur l'ouvrage, tels qu'arête, angle, clé de voute, repère topo, distance au sol ;
- Suivant un système de coordonnées :
  - Linéaire : abscisse curviligne dans un tunnel, sur une route, dans des tuyaux,... : on parle de PK (Point Kilométrique), ou PM (Point Métrique) ou de simple "distance par rapport à ..." ;
  - 2D : sur des ouvrages simples, plans : coordonnées XY en mètres ;
  - 3D : pour des ouvrages plus complexes : coordonnées X ;
  - YZ en mètres ;
- Cas des représentations en projection et orthophotographies :
  - L'ouvrage en 3D est projeté sur un plan, un cylindre ou un cône ;
  - La coordonnées XYZ d'un point est convertie en coordonnée XY sur la surface de projection développée. Les deux systèmes de coordonnées 3D et 2D n'ont plus rien à voir. Les projections inverses (3D>2D) sont possibles.

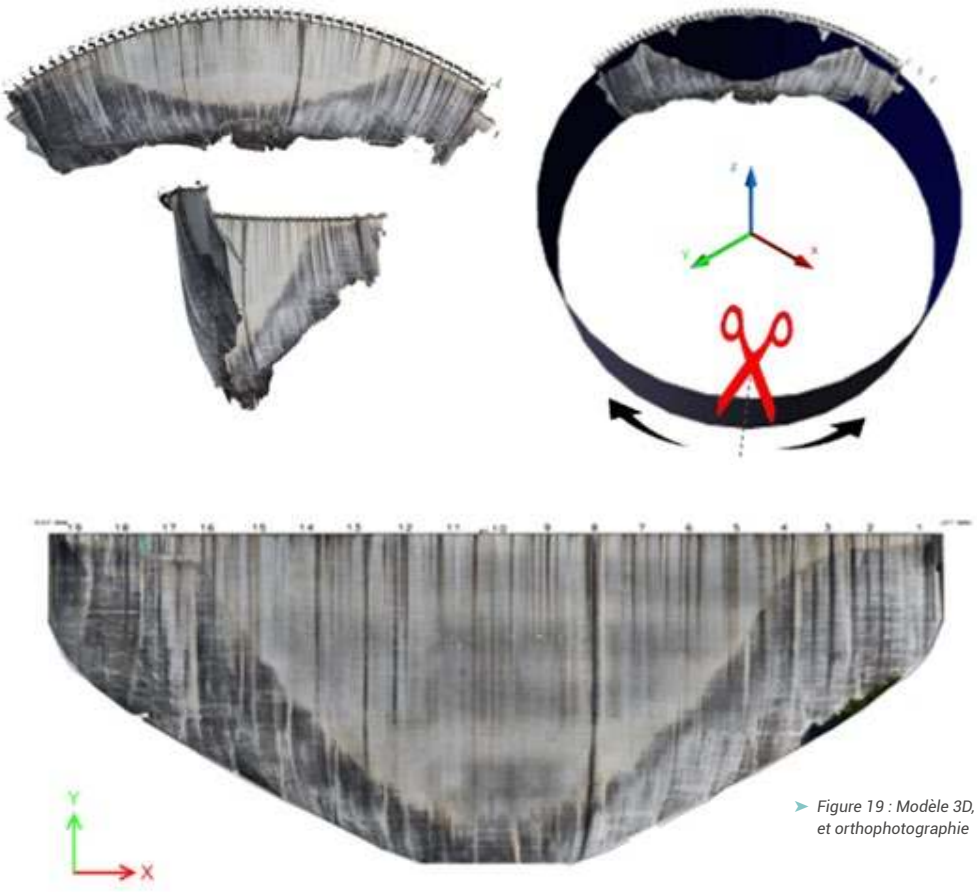



*Figure 19 : Modèle 3D, cylindre de projection et orthophotographie*

Pour les ouvrages de grande envergure, il peut être nécessaire de se rattacher aux systèmes de coordonnées nationaux tels que le Lambert 93 pour la planimétrie (XY) et le Système NGF pour l'altimétrie.

## 5.4 ANALYSE, INTERPRÉTATION

Le résultat des acquisitions et traitements d'images permet alors à l'inspecteur de mener sa mission, par balayage visuel des parements et report sur fonds de plan, superposés ou non à l'image. Quelques outils d'amélioration ou d'ajustement des paramètres des images (gamma, contraste, luminosité, gain,...) peuvent aider à la visualisation.

Des techniques d'automatisation, ou semi-automatisation (seuillage, intelligence artificielle,...) sont actuellement en voie de développement en vue d'apporter une assistance à l'inspecteur.

Les objectifs d'une inspection par moyens traditionnels « main sur le parement » sont maintenus à savoir :

- Constat visuel par un inspecteur qualifié :
  - **Caractérisation des désordres :**
    Fréquence (localisé, généralisé, % d'occurrence...) ;
    Évolutivité (superposition de photos ou de calques de report) :
    - Ouverture et longueur des fissures ;
    - Progression de traces sur parements :
      - Chaux entrainée ;
      - Oxydation de l'acier (couleurs,...) ;
      - ...
    - Déplacement (cheminement d'appareil d'appui,...), basculement (culée ou soutènement,...) ;

    Activité (stalactite active ou sèche,...) ;
  - **Interprétation par un chargé d'étude OA :**
    Déterminer l'origine des désordres, émettre des hypothèses, etc. ;
    Évaluer les risques ;
    Fixer un indice d'état (note IQOA,...) ;
  - **Préconisations par un chargé d'étude OA :**
    Travaux d'entretien ;
    Investigations spécifiques, inspection ciblée, "au contact", etc. ;
    Suggestions de réparation ;
    Mesures conservatoires (réduction du nombre de voies, coupure du trafic...).

Le recours aux techniques télévisuelles facilite ou améliore l'interprétation :

- Traçabilité systématique et complète des relevés. Une inspection rétrospective est possible (archivage numérique) ;
- Comparaison entre deux inspections d'un même ouvrage, par recherche de similitudes entre deux images ou superposition d'orthophotographies (sous réserve de référencement et projections des images identiques) ;
- La base de données permet de recourir à des analyses statistiques (répartition par typologie de défaut, par zones, dimensions, etc.) ;
- Corrélation possible avec d'autres types de données (géométrie théorique, imagerie thermique, imagerie radar,...) ;
- Relevé d'informations autres que structurelles, pouvant intéresser l'exploitant (dispositifs d'éclairage dans un tunnel, instrumentation, plaquette de repérage, réseaux, dispositifs de retenue,...) ;
- ...

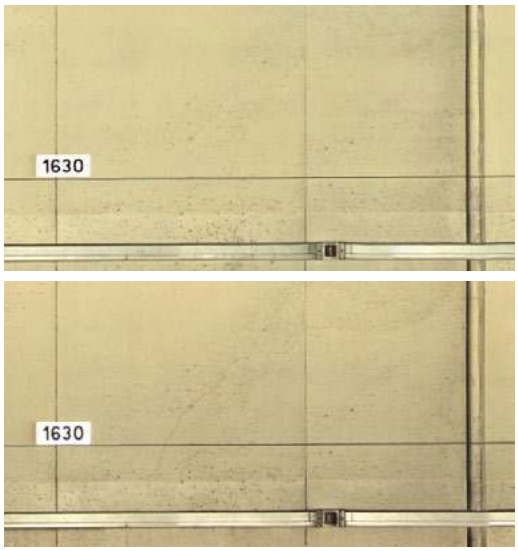



*Figure 20 : Comparaison entre deux inspections, apparition d'une fissure sur piédroit de tunnel à 3 ans d'intervalle*

# 6 Rapport d'inspection, livrables

Bien que télévisuelle, le rapport d'une telle inspection vise à caractériser l'état de l'ouvrage, au même titre que le rapport d'une inspection par moyens traditionnels selon le même référentiel (ITSEOA). Le livrable d'une inspection télévisuelle est constitué d'un rapport de synthèse accompagné de ses données numériques.

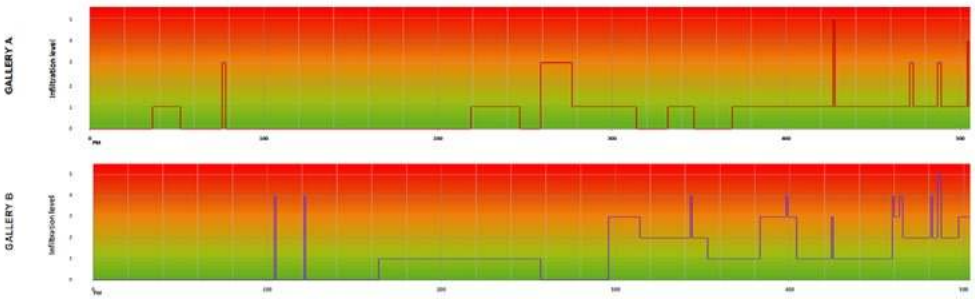
Le rapport de synthèse présente les analyses, conclusions, relevés de désordres et, a minima, les conditions, méthodes, moyens, intervenants. Ce rapport annexe l'intégralité des données fournies sur support numérique. Ces données se présentent sous des formats spécifiques et imposent aussi de nouvelles sujétions (volume, échange, conservation, archivage,...). Selon son outil de gestion du patrimoine, le maître d'ouvrage peut exiger des modalités particulières (transmission, format,...). Notamment, ces données devront être réutilisables à posteriori, par exemple pour une comparaison entre deux sessions d'inspection.

Le rapport de synthèse d'une inspection est le document chapeau primordial, qui doit être accessible avec des moyens informatiques courants. Il marque la fin de la prestation et devient propriété du Maître d'ouvrage.

## 6.1 LISTES ET REPRÉSENTATIONS SCHÉMATIQUES

| Gallery A | | | | |
|---|---|---|---|---|
| MP | Infiltration level (areas starting point and areas ending point) | Location (Springing, Haunch, Keystone) | Water stagnation caused by the infiltrations | |
| | | | MP beginning | MP end |
| 428<br>471 | 1<br>1 | | | |
| 471<br>473 | 3<br>3 | | | |
| 473<br>487 | 1<br>1 | | | |
| 487<br>489 | 3<br>3 | | | |
| 489<br>504 | 1<br>1 | | | |
| 504<br>505 | 4<br>4 | K<br>K | 502 | 506 |
| 505<br>515 | 1<br>1 | | 503 | 505 |
| 515<br>564 | 0<br>0 | | | |
| 564<br>568 | 2<br>2 | | | |
| 568<br>588 | 0<br>0 | | | |
| 588<br>602 | 2<br>2 | | | |
| 602<br>604 | 4<br>4 | H<br>H | 602 | 604 |
| 604<br>608 | 2<br>2 | | 602 | 604 |

Le relevé de désordres peut être synthétisé par un tableur, comme, par exemple, pour un tunnel ou autre ouvrage linéaire, en référençant et caractérisant les observations sur un seul axe (point métrique,...). Un tel niveau de synthèse, intéressant dans certains cas, demande des compétences, méthodes et moyens plus complexes qu'il ne laisse paraitre.




➤ *Figure 21 : Exemple de tableur associé à une représentation graphique linéaire*

## 6.2 REPRÉSENTATION GRAPHIQUE

Il peut s'agir d'un simple report des observations directement sur une image ou sur un fond de plan proportionné. Ces représentations peuvent être accompagnées d'une liste ou légende, décrivant plus précisément les observations.

### 6.2.1 Reportage photographique ou vidéo légendé

Le reportage photographique est un produit de base dans l'univers de l'inspection. Il se suffit rarement à lui-même et est plus souvent utilisé en complément d'une planche technique, pour illustrer un point particulier ou un type de défaut récurrent. La profusion d'informations peut rapidement rendre indigeste l'analyse des données.

Néanmoins, le reportage photographique est adapté pour les projets de petites envergures et les missions urgentes ou ciblées.

Une vidéo commentée, avec incrustation de texte, peut aussi être utilisée pour accompagner un rapport d'inspection. Cette technique est couramment utilisée pour les ITV notamment.



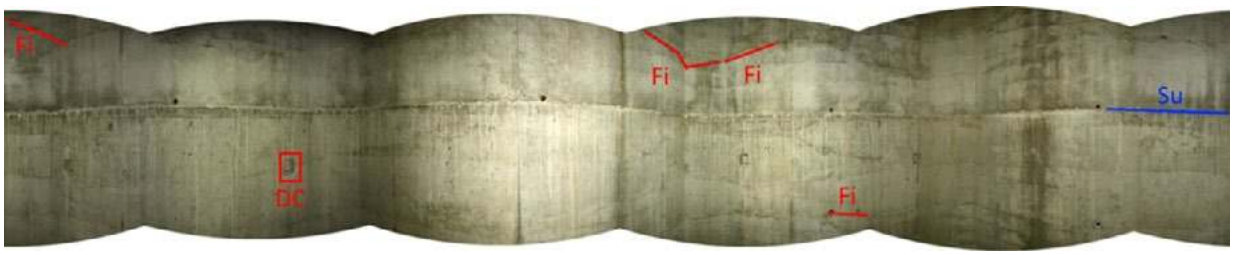

*Figure 22 : Extrait d'un reportage photographique par drone*

| | | |
|---|---|---|
| ~~2 boulons manquants en pied.~~<br><br>Réparé | / |  |
| Rep N°2<br>1 boulon manquant en haut.<br>Idem 2016 | Boulon à remplacer. |  |
| Rep N°3<br>Tôles percées et déformées.<br>(vu depuis 2015) | Tôles à changer. | |

*Figure 23 : Exemple d'un reportage photographique de l'inspection d'une structure métallique*

### 6.2.2 Assemblage d'images, mosaïque

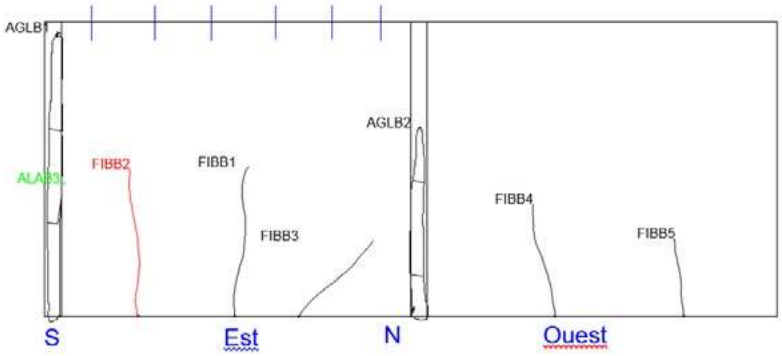
Il s'agit de reports graphiques des observations formalisés sur une image ou un assemblage de plusieurs photographies avec ou sans respect d'échelle, correction de parallaxe...




➤ *Figure 24 : Mosaïque à 360° de l'intérieur d'une pile de pont*

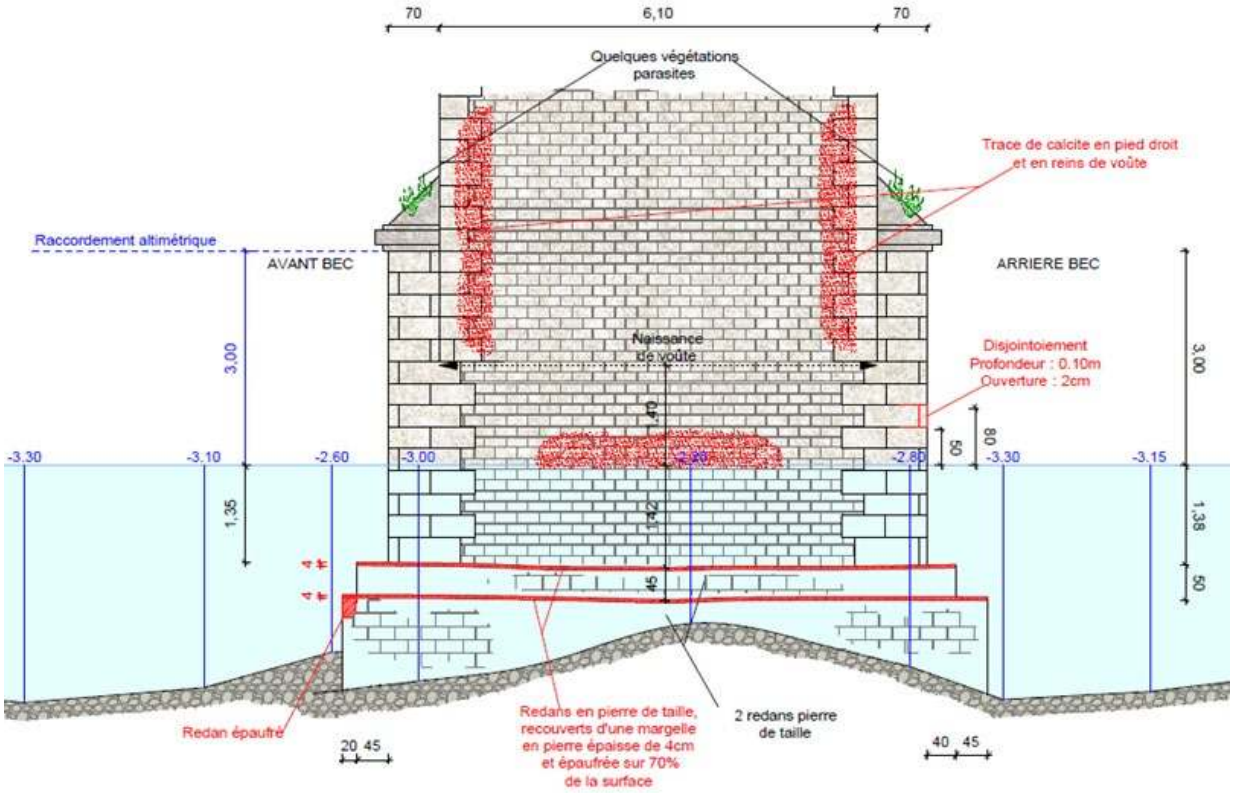
### 6.2.3 Planche technique proportionnée

Il s'agit de reports graphiques des observations formalisés sur des fonds de plans à l'échelle. Ces fonds de plans nécessitent des outils de DAO. Ces planches peuvent être illustrées par un reportage photographique. Sous forme vectorielle, ces données permettent d'être réutilisées pour des avant-projets de travaux, métrés, etc.




➤ *Figure 25 : Exemple de planche technique référencée sur une pile voile*

| Repère | Nom | Attributs | Obs. inspecteur | Evolution | Type de réparation |
|---|---|---|---|---|---|
| AGLB1 | Aspect gravillons lavés | | | Stable | |
| AGLB2 | Aspect gravillons lavés | | | Stable | |
| AGLB3 | Acier apparent | Longueur = 5 | | Stable | |
| FIBB1 | Fissure du béton | Ouverture max. (mm) = 0.3<br>Aspect = Sec<br>Présence d'exsudats = Non | | Stable | |
| FIBB2 | Fissure du béton | Ouverture max. (mm) = 0.2<br>Aspect = Sec<br>Présence d'exsudats = Non | | Stable | |
| FIBB3 | Fissure du béton | Ouverture max. (mm) = 0.2<br>Aspect = Sec<br>Présence d'exsudats = Non | | Stable | |
| FIBB4 | Fissure du béton | Ouverture max. (mm) = 0.3<br>Aspect = Sec<br>Présence d'exsudats = Non | | Stable | |
| FIBB5 | Fissure du béton | Ouverture max. (mm) = 0.2<br>Aspect = Sec<br>Présence d'exsudats = Non | | Stable | |

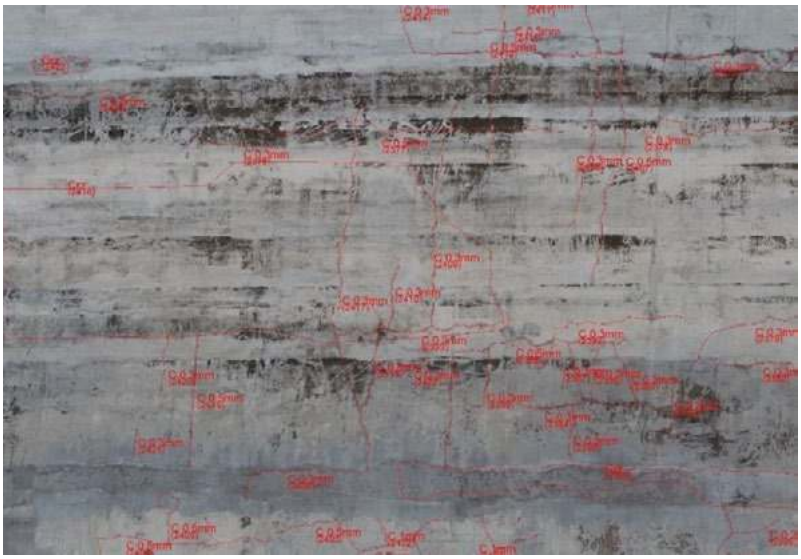



➤ *Figure 26 : Vue en élévation d'une pile avec représentation des désordres*

## 6.3 ORTHOPHOTOGRAPHIES

Une inspection réalisée sur la base d'une orthophotographie permet le report des observations sur l'image, donc à l'échelle et localisée. Le rapport peut alors comporter :

- La planche technique proportionnée seule, pour plus de lisibilité ;
- La planche technique proportionnée superposée à l'orthophotographie pour une meilleure localisation ;
- Selon la taille de la structure, l'orthophotographie brute peut être volumineuse et sera éventuellement livrée avec une visionneuse (Viewer).



➤ *Figure 27 : Report des observations directement sur une orthophotographie*

## 6.4 LE MODÈLE 3D

La modélisation 3D (nuage de points, maillage texturé,...) est surtout utilisée comme base de travail pour la génération d'orthophotographies et de localisation des désordres. Ce support est à ce jour encore très peu exploité en télé-inspection, mais peut servir pour d'autres métiers du gestionnaire d'ouvrages (inventaire et localisation d'équipements divers, BIM,...).

Selon la taille de la structure, le modèle 3D, plus ou moins volumineux, peut être éventuellement livré avec une visionneuse (Viewer).

Une attention doit être portée à la précision dimensionnelle de ce modèle, à sa mise à l'échelle et à la qualité des points topographiques de recalage. Ce modèle est avant tout généré pour l'inspection, et non comme un support géométrique de précision. Les exploitations géométriques ultérieures restent donc hasardeuses. Pour un tel usage, on privilégiera des relevés topographiques basés sur des visées optiques (théodolite, LIDAR,...).



➤ *Figure 28 : Nuage de points, maillage 3D, maillage 3D texturé*

## 6.5 FICHIERS MULTICOUCHES

Les fichiers multicouches (ou multicalques) permettent de superposer plusieurs types de données sur un même support :

- Fonds de plan, orthophotographie, modèle 3D ;
- Défauts sous forme de points, lignes, surfaces, symboles ;
- Données et caractéristiques associées dans une base de données ;
- Différenciation des époques (historique des inspections) ;
- Autres types d'images (thermique, multispectrale,...) ;
- Données parallèles provenant d'instrumentation, travaux ou auscultation réalisés ;
- ...

Ces données sont généralement consultables au sein d'une seule interface, avec possibilité d'activer ou de désactiver des couches, d'interroger les données liées à un élément, de zoomer sur les images, dans leur pleine résolution, et de réaliser des impressions.

Un fichier PDF avec plusieurs couches est l'application la plus courante de ce genre de fichiers de données. Les logiciels de CAO/DAO sont adaptés pour des images de tailles modestes. Pour des informations plus complexes et des images de taille importante, les logiciels de SIG, sont les plus appropriés pour la création, la gestion, l'affichage et l'export.

Une attention particulière sera portée sur les formats des données afin d'être compatible avec les logiciels habituellement utilisés par le donneur d'ordre.



*Figure 29 :*
*Fichier multicouche d'une inspection de tunnel (développé ortho photographique de la voûte suivant un cylindre)*

## 6.6 FORMAT ET VISUALISATION DES DONNÉES

Il existe plusieurs formats de fichiers d'échange. Si certains, plus particuliers, sont utilisés pour les traitements, la livraison et la visualisation des données peut se faire sous des formats plus courants (par ex. JPEG pour les images). Il reste toutefois important pour le donneur d'ordre de conserver les données sources pour un éventuel traitement ultérieur (par ex. raw ou tiff pour les images).

| Données | Format | Logiciel, visionneuse | Avantage | Inconvénient |
|---|---|---|---|---|
| Rapport d'inspection | .docx, .xlsx, .odt, .pdf, .csv,... | Logiciels bureautiques classiques en accès libre ou non. | Lisible par la majorité des ordinateurs. | - |
| Représentation graphique | .dwg, .dxf, .pdf, dgn, .shp,... | Outils de DAO en accès libre ou non. AutoCad® ou équivalent. | - | - |
| Photographies, images | Brut, ou raw, dng,... | Photoshop®, Gimp,... | Fichier natif. Contient toutes les données sources. | Volumineux et sous format souvent propriétaire. |
| Photographies, images | tiff | Visionneuses adaptées (SIG/GIS). | Usage courant pour ortho-photos.<br>Qualité et grande résolution d'image. | Volumineux |
| Photographies, images | Jpeg | Visionneuses classiques. | Usage courant pour photos individuelles. Le plus utilisé actuellement. | Altération de la qualité selon taux de compression. |
| Vidéo | Avi, mpeg4, mov,... | Visionneuses classiques ou adaptées. | Commentaires audios.<br>Temps réel. | Peu de données associées aux photos extraites. |
| Modélisation 3D | Nuages de points :<br>.las, .laz, .xyz, .ply<br>Maillage texturé : .obj, .stl, .pdf3D | CloudCompare, MeshLab, 3Dreshaper®, Recap®,... | Consultation plus intuitive et intéressant plusieurs corps de métiers. | Fichiers volumineux, compatibilité. |
| Fichier multicouche | .qgs, .pmf, .dwg, .pdf | QGis, ArcGis®, AutoCad®. | Facilite l'examen, en croisant les données, par exemple. | Fichiers volumineux, compatibilité. |

➤ *tableau 4 : Différents formats informatiques*

Les fichiers volumineux imposent un matériel informatique adapté. À défaut, il est possible de recourir à des plateformes en ligne ou serveurs dédiés qui permettent de visualiser, transférer et archiver les données. Dans ce cas, des précautions seront à prendre vis-à-vis de la préservation et de la sureté de ces dernières. Le plus sûr reste alors le transfert sur un support de stockage externe (disque dur,...).

Les logiciels SIG (GIS) peuvent être utilement détournés pour l'affichage et la manipulation des données volumineuses. Ils permettent la visualisation d'une ou plusieurs orthophotographie avec superposition des différentes couches vectorielles (observations selon leurs types,...), liées à une base de données. Dans ce cas, les formats d'orthophotographies les plus courants sont les géotiff, JPEG2000 ou ECW. Ils cumulent beaucoup d'avantages comme le géoréférencement, le nombre illimité de pixels, le tuilage et le pyramidage.

**Nota :** *Pour des fichiers inférieurs à 200 millions de pixels (typiquement un ouvrage de 14 x 14 m avec un pixel de 1.0 mm), le format jpeg peut suffire, ce qui permet d'échanger et de visualiser facilement les données.*

# 7 Précision

Les techniques télévisuelles, comme toute inspection visuelle, peuvent être perturbées par les différents milieux traversés entre le parement et le capteur. Un dépôt de mousse, de poussière, ou une concrétion dissimule des défauts éventuels. Une eau turbide, la distance et la chaleur peuvent déformer la vision du parement. Ces biais peuvent être compensés par un choix adéquat du mode opératoire, du matériel et une planification de l'opération.

Néanmoins, les techniques télévisuelles présentent leurs propres sources d'incertitudes qu'il faut savoir adapter aux besoins.

Les mesures devront permettre d'apprécier l'évolutivité des défauts ce qui peut influencer le choix de la méthode et de sa précision.

## 7.1 SEUIL DE DÉTECTION

Parmi tous les défauts recherchés lors d'une inspection, les fissures fines sont les éléments qui demandent le plus de résolution.

À titre de comparaison, l'œil humain a une limite de détection de forme de 0.15 arc minute (0.0025°) soit une limite de détection d'une fissure d'ouverture de 0.05 mm à 1 m de distance.

Après la définition du type de défauts à relever (fissures, corrosions, éclats,...), la définition du seuil de détection est primordiale : cherche-t-on à détecter des défauts (fissures, disjointoiements,...) à partir d'une ouverture de 20 mm, 1 mm, 0.5 mm ou 0.1 mm ?

Il est à noter que la détection de défauts ponctuels, linéaires ou surfaciques courants (corrosions, calcite, dépôts,...) nécessite que ces défauts couvrent au moins quelques centaines de pixels "terrain".

### 7.1.1 Taille pixel

Ce seuil de détection est lié à la taille "terrain" d'un pixel en projection sur l'ouvrage. La taille pixel dépend :

- Du choix de la caméra ;
- De l'optique (zoom) ;
- Du recul.

Si certaines parties d'ouvrages (ouvrages en béton précontraint, âmes de poutres ou autres éléments fragiles,...) nécessitent un seuil de détection à 0.1 mm, d'autres parties d'ouvrages nécessiteront un seuil d'environ 0.3 mm, ce qui diminue la quantité de données à acquérir, les temps de traitement et d'inspection par un facteur 5 à 10.
Le temps d'acquisition, de traitement, d'inspection, et donc le coût de l'intervention en dépendent fortement !

À titre d'exemple, dans des conditions optimales, pour un capteur 24 Mégapixels, plein format avec objectif grand angle 24 mm :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Seuil de détection** | 0.03 mm | 0.1 mm | 0.3 mm | 1 mm |
| **Pixel terrain** | (Ordre de grandeur à titre illustratif) | 0.3 mm | 1 mm | 3 mm |
| **Recul caméra** | 0.1 mm | 1.15 m | 4 m | 12 m |
| **Champ image** | 0.4 m<br>0.6 x 0.4 m | 1.7 x 1.2 m | 6 x 4 m | 18 x 12 m |
| **Volume de données pour 1000 m²** | 28 000 photos<br>320 Go | 3 400 photos<br>35 Go | 280 photos<br>3.2 Go | 34 photos<br>0.3 Go |

➤ *tableau 5 : Précision des relevés et conséquences sur le matériel nécessaire*

### 7.1.2 Qualité de l'image

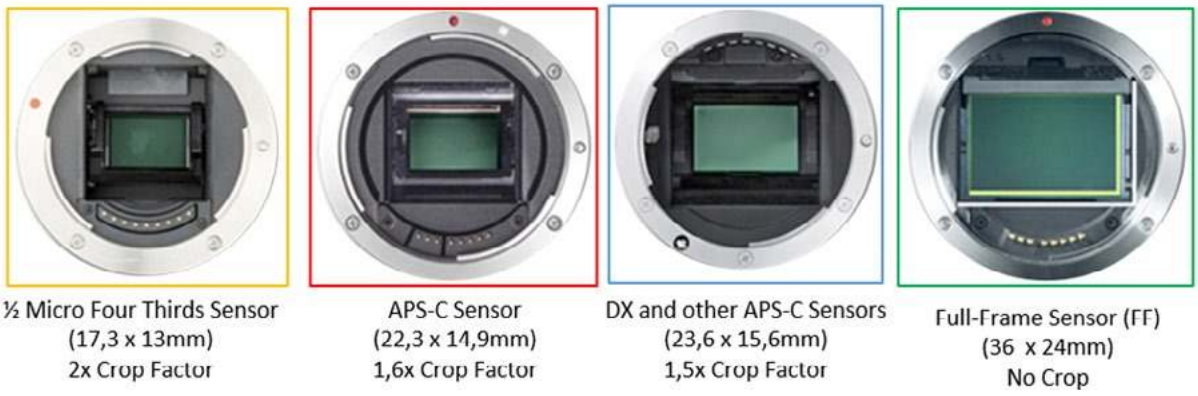
Les photodétecteurs d'une caméra ont une taille, sur le capteur, de quelques microns. Projetés sur l'ouvrage, ces pixels ont une dimension "terrain" qui est calculable avec la relation de Thalès.

Cette taille pixel "terrain" définit le plus petit élément détectable sur l'image.

Le seuil de détection est proportionnel à la taille pixel. En fonction des paramètres de prise de vue, de la qualité de l'optique, de la qualité du capteur, de l'éclairage, de l'angle d'éclairage qui définissent la qualité, l'exposition, le piqué de l'image acquise, le facteur de proportionnalité peut être bien différent.



➤ *Figure 30 : Relation entre la taille capteur et le champ image à focale constante*



➤ *Figure 31 : Pixel "terrain"*

### 7.1.3 Lien entre taille pixel et seuil de détection de défauts linéaires

En pratique, les images acquises ne sont jamais parfaitement nettes et contrastées, toutefois il est possible de détecter des défauts de 1 à 3 fois plus petits que le pixel "terrain". Ce facteur dépend du matériel utilisé.

- Un pixel de 5 mm permettra de détecter des défauts à partir d'une ouverture de 1.5 à 5 mm.
- Un pixel de 1 mm permettra de détecter des défauts à partir d'une ouverture de 0.3 à 1 mm.
- Un pixel de 0.5 mm permettra de détecter des défauts à partir d'une ouverture de 0.15 à 0.5 mm.

### 7.1.4 Qualité, résolution de l'écran de visualisation

L'écran de visualisation devra être adapté à la résolution des capteurs employés. Il peut être nécessaire de zoomer fortement pour détecter un défaut (l'affichage à l'échelle d'une photo de 24 MP nécessiterait 12 écrans full HD). À l'inverse, les écrans de terrain n'ont pas toujours une résolution à la hauteur de celle du capteur.

### 7.1.5 Particularité des inspections subaquatiques

En eau claire, les seuils de détection seront les mêmes qu'à l'air libre. En eau chargée, les SONAR seront plus performants que l'œil humain ou tout capteur optique.



➤ *Figure 32 : Rendu optique subaquatique en eau claire*



➤ *Figure 33 : Rendu optique subaquatique en eau chargée*

La résolution du SONAR détermine la taille de détection minimale d'un objet. En matière d'imagerie acoustique, il faut également prendre en compte la capacité de réverbération de l'objet inspecté car sa nature, sa surface et les bruits environnants sont autant de facteurs qui influent sur la possibilité de détecter un désordre. En pratique, au plus le contraste acoustique sera marqué, au plus l'inspecteur sera en capacité de détecter un désordre.

| Portée | Résolution |
|---|---|
| 3 m | 4.5 mm |
| 4 m | 6 mm |
| 6 m | 8 mm |
| 9 m | 14.5 mm |
| 10 m | 20 mm |

➤ *tableau 6 : Exemple de résolution d'une caméra acoustique d'inspection, fréquence 3.0 MHz*

## 7.2 EVALUATION DES DIMENSIONS DES DÉFAUTS

Tout comme une inspection traditionnelle, ces techniques permettent d'estimer des dimensions. Plusieurs grandeurs sont évaluées lors d'une inspection et soumises à divers phénomènes qui créent des incertitudes. La précision de mesure n'est pas infinie !

- Longueurs, surfaces, profondeurs, angles et volumes : de l'ordre de la centaine de pixels terrain, donc, pour un pixel "terrain" de 1.0 mm, une incertitude entre quelques centimètres à quelques décimètres (ou dm², dm3).
- Ouverture de fissures : mêmes difficultés d'évaluation que la main sur l'ouvrage où l'on compare des fissures avec des lignes d'épaisseurs connues. On peut estimer une incertitude de l'ordre de 20 à 30% de l'ouverture, soit +/-0.1 mm pour une fissure de 0.3 mm, +/-0.2 mm pour une fissure de 1.0 mm.

Ces valeurs sont des ordres de grandeurs basés sur le fruit de l'expérience. Comme déjà précisé, elles dépendent fortement du matériel utilisé, de la distance au parement ou encore des conditions météo.

## 7.3 LOCALISATION DES DÉFAUTS

Selon les besoins ou la taille de l'ouvrage, la localisation se fait en relatif (par rapport à un ou plusieurs points d'un composant de l'ouvrage) ou suivant un système de coordonnées.

Ces méthodes captent simultanément le composant inspecté et ses désordres. En évitant souvent le report à main levée, elles permettent de déterminer l'orientation et la localisation des désordres avec une précision parfaitement adaptée aux besoins (analyse du fonctionnement de l'ouvrage, suivi de l'évolution des désordres,...).

L'incertitude de rattachement à un système de coordonnées dépend de la méthode utilisée pour le réaliser (odomètre, GPS, théodolite, projection photo, ruban, profondimètre, balise subaquatique,...).

D'autres paramètres inhérents à ces techniques tels que le repère local (élément caractéristique de la structure, joint, numérotation,...), le pointé du défaut (visibilité des extrémités, de l'étendue,...) peuvent induire une incertitude qui reste limitée.

## 7.4 EXHAUSTIVITÉ DE L'INSPECTION

Selon les techniques choisies, la distance de prise d'image, le seuil de détection, etc., un certain pourcentage des défauts existants ne seront pas captés. En particulier, les défauts sous-jacents détectables par une inspection "main sur le parement" (délamination, zone sonnant creux,...) ne seront pas identifiés.

Les conditions ambiantes, la propreté de l'ouvrage, peuvent aussi altérer la qualité des acquisitions, au même titre qu'une inspection traditionnelle.

Enfin, l'identification des désordres (présence, nature,...) reste soumise à l'interprétation de l'inspecteur, sa vigilance, sa compétence. Ses conditions de travail sont toutefois plus favorables que celles d'un inspecteur terrain.

De plus, cette technique permet des contrôles ou expertises ponctuelles parfois difficiles à envisager dans le cadre d'une inspection traditionnelle.

# 8 Compétences des opérateurs

Ces techniques font appel à des compétences variées dont certaines peuvent être éloignées du domaine du Génie-Civil :

- Pilote de drone, de ROV,...
- Photographie, traitement images, photogrammétrie,...
- Acoustique sous-marine, traitement d'image SONAR, hydrographie,...
- Géomatique, topographie,...

En dehors des opérateurs de drone (entreprise, pilotes,...), seul domaine soumis à certification, les autres compétences ne peuvent être démontrées que par les références des entreprises, des sous-traitants et les CV du personnel. Des exemples d'inspections similaires et la description des moyens techniques disponibles, complètent utilement cette démonstration de compétence.

Ces compétences multiples sont mobilisées au service de l'ingénierie du génie civil, inspecteurs et chargés d'étude ouvrages d'art, ingénieurs, etc. dans le but d'évaluer l'état d'une structure.

# 9 Besoins à définir par le maître d'ouvrage

Si les inspections télévisuelles présentent de nombreux avantages (limitation des contraintes d'exploitation, visite de parements inaccessibles, amélioration de la sécurité), leur emploi doit cependant être soumis à une réflexion métier préalable permettant de s'assurer de l'adéquation des moyens aux besoins, en référence avec une inspection traditionnelle « main sur le parement ». Actuellement, et dans l'attente de sa révision, l'ITSEOA ne mentionne pas ces méthodes télévisuelles. Des stratégies d'inspection mixte combinant télévisuelle et traditionnelle, associées à un relevé dimensionnel, peuvent aussi être envisagées.

Selon son degré de complexité, une telle inspection peut donc nécessiter une pré-étude, avec assistance à maîtrise d'ouvrage pour l'établissement d'un cahier des charges. De même, une visite préalable à l'aide des techniques envisagées peut permettre à tous les acteurs de mieux appréhender leur bonne adéquation aux besoins et aux contraintes des lieux.

Le rôle du donneur d'ordre est prépondérant dans la réussite d'une telle prestation. Il devra définir précisément l'objectif recherché et partager les informations disponibles, autant sur l'environnement et ses contraintes d'accès que sur l'ouvrage, ses particularités, son historique, etc. À titre d'exemple, il est préférable de spécifier un "relevé de fissures ≥ 0,3 mm sur un parement béton de 20 m de haut inaccessible en nacelle" plutôt qu'un "relevé de désordres par drone".

Enfin, les compétences du prestataire seront à évaluer sur l'usage de la technique proposée mais aussi dans le domaine plus large du génie civil. Il doit être capable d'interpréter et d'analyser ses propres relevés. L'équipe d'inspection comprendra nécessairement un Inspecteur d'Ouvrage d'Art et l'analyse des résultats de l'inspection sera menée par un Chargé d'Étude Ouvrages d'Art.

De façon non exhaustive, les objectifs et périmètres d'une telle inspection peuvent aborder de nombreux aspects :

- **La démarche**
  - S'agit-il d'une inspection programmée dans la cadre d'une gestion patrimoniale sans soupçon particulier sur l'état de la structure ?
  - Un dysfonctionnement, une pathologie ont-ils déjà été dépistés, que l'on souhaite préciser ?
  - L'ouvrage doit être modifié mais on manque d'information sur sa structure, ses dimensions, ses matériaux,... ?
  - ...
- **L'ouvrage et son environnement**
  - De quel patrimoine, ouvrage unitaire, voire partie d'un ouvrage s'agit-il ?
  - Quelles en sont les limites physiques ?
  - Est-il stratégique ?
  - Quel est son exploitation et les contraintes associées ?
  - Environnement urbain, industriel, maritime,...
  - Contraintes d'accès physiques mais aussi réglementaires.
  - Durée d'intervention restreinte, intervention de nuit,...
  - ...

- **La stratégie d'inspection**
  - » Combinaison de plusieurs méthodes d'inspection ?
  - » Couverture de l'ensemble de l'ouvrage, ou uniquement localisée
  - » Quelles informations veut-on recueillir ?
  - » Quel sont le seuil de détection, l'ordre de grandeur de la dimension des anomalies ?
  - » Existe-t-il des inspections précédentes auxquelles on souhaite se comparer ? Sont-elles comparables ?
  - » Peut-on adapter la précision de l'inspection selon la criticité de l'ouvrage ou de ses différentes parties, et donc la durée du relevé ?
  - » ...
- **L'analyse et le rendu**
  - » Simple relevé de désordres ou diagnostic d'état de l'ouvrage avec préconisations d'actions ?
  - » Localisation et référencement, classification des données ?
  - » Comparaison avec une inspection précédente, ou inversement, s'agit-il d'un point zéro, référence pour un suivi ultérieur ?
  - » Format des données, type de support et de transmission des livrables ?
  - » Intégration dans un logiciel de gestion, base patrimoniale,...
  - » ...

# 10 Sécurité

Le recours aux méthodes d'inspection télévisuelles, même s'il les réduit, n'écarte pas totalement les risques habituels liés à l'environnement de type chute, noyade, risques chimiques ou électriques, etc. En revanche, ces méthodes introduisent de nouveaux risques qui devront être pris en compte :

- Lésions (coupures dues aux hélices, brulures, choc,...) ;
- Incendie, explosion (batteries, carburants,...) ;
- Les risques de pollutions et contaminations (rupture de flexibles,...) ;
- Les circulations environnantes (routières, ferroviaires, fluviales, piétonnes, subaquatiques) ;
- Distraction, curiosité du public non averti ;
- Perte de pièces mécaniques ou blocage d'engin déporté avec impact exploitation ouvrage (blocage vanne, machine tournante,...) ;
- Perte de contrôle d'un engin (collision, endommagement d'une structure,...) ;
- Interférences électromagnétiques ;
- ...

Dans la plupart des cas, un plan de prévention est incontournable. L'analyse de risque associée peut conduire notamment à une consignation de l'exploitation. Lors d'une mission d'inspection télévisuelle, il est nécessaire d'assimiler l'outil à l'homme afin de prendre un maximum de précautions. Des procédures et un personnel formé et habilité sont incontournables. En fonction des domaines et du type d'intervention, les exigences en termes de sécurité peuvent différer :

- Milieu aquatique : document Convention d'Information Réciproque, convention exploitant, avis à la batellerie, autorisation d'accès (chemins de halage,...) ;
- Milieu aérien : revue de risques sur la sécurité aéroportuaire, certificats de capacités des télépilotes, Manuel d'Activité Particulière ;
- Milieu Ferroviaire : consignation caténaires, demandes de fermetures de voies (DFV), travaux de nuit ;
- Milieu Routier : neutralisation de voies, déviation ;
- Milieu industriel : Consignation des installations, matériel ATEX.

## 10.1 ASSURANCES

Selon la prestation et son environnement, le donneur d'ordre et le prestataire s'assureront que la police d'assurance du prestataire couvre les risques encourus. Il peut être nécessaire de l'adapter, avec une conséquence parfois non négligeable sur le coût de la prestation.

# 11 Références réglementaires et législatives

Les textes de loi, décrets, etc. cités ici sont les plus importants. Les références à jour restent les sites internet de référence tels que "Légifrance".

Les inspections télévisuelles, par les données qu'elles recueillent, peuvent impliquer le respect du droit à l'image (infrastructures stratégiques, respect de la vie privée, publication d'image,...). Les sites du CNIL ou de la DGAC, par exemple, évoquent ce sujet plus largement.

Certaines exigences peuvent se cumuler, à l'exemple d'un drone évoluant à proximité d'infrastructure qui sera soumis à la réglementation propre à l'aviation civile mais aussi aux exigences du gestionnaire de l'infrastructure.

## 11.1 AÉRIEN

L'utilisation en extérieur d'un drone, même de petite taille, est considérée comme une activité aérienne et relève donc de la réglementation applicable à l'Aviation Civile, sous l'autorité de la DGAC **(Direction Générale de l'Aviation Civile)**. Plus spécifiquement, l'usage des drones est soumis à la loi n°2016-1428, en voie d'intégration dans la réglementation européenne (règlement délégué 2019/945 et règlement d'exécution 2019/947).

Ce cadre réglementaire définit notamment la formation des pilotes, distingue différents scénarios de vol et délimite les zones d'évolution (carte aéronautique accessible sur le site Géoportail).

Toutefois, de nombreuses situations nécessitent le recours à des dérogations accordées par la DGAC, la préfecture et les autorités de la défense.

## 11.2 AQUATIQUE

Le décret 2012-1556 du 28/12/12 et la Loi 2012-77 du 24/01/12 sont les principaux textes décrivant les différentes mesures et règles liées aux Voies Navigables de France (VNF). Plus généralement, le code du transport (L4241-3) peut être applicable, sous l'autorité du préfet.

En dehors des contraintes liées à la navigation, certains exploitants (CNR, EDF, adduction et traitement d'eau, ports maritimes,...) imposent des règles spécifiques d'environnement, potabilité, exploitation, sécurité,...

## 11.3 RAIL

Chaque exploitant (ferroviaire, métro, tramway,...) peut ajouter ses propres règles comme, par exemple, le corpus des instructions nationales (IN) de la SNCF.

## 11.4 ROUTE

Comme pour toute intervention sur route ou autoroute, le code de la route s'impose. Le véhicule porteur devra être homologué s'il s'insère dans la circulation. À défaut, une signalisation temporaire validée par un arrêté préfectoral sera requise. Comme pour le rail, chaque exploitant peut ajouter ses propres règles internes.

# 12 Cas d'usage

## 12.1 INTRADOS DE TABLIER ET PILE HAUTE INSPECTÉS PAR DRONE



➤ *Figure 34 : Viaduc de grandes dimensions surplombant une zone habitée*



➤ *Figure 35 : Drone au pied d'une pile de viaduc*

Une inspection traditionnelle impose des moyens lourds, avec les risques inhérents (nacelles négatives, cordistes,...), ainsi que du travail de nuit, des réductions d'exploitation, etc.

Une inspection par drone comporte plusieurs avantages :

- Réduction des risques pour les inspecteurs ;
- Examen de zones inaccessibles avec une nacelle ;
- Intervention in-situ rapide permettant de balayer de plus grandes surfaces ;
- Réduction de circulation sur le viaduc moins contraignante, voire même inutile ;
- Si le rendu demandé est complet (orthophotographie, modèle 3D,...), il constituera un point de comparaison pour les inspections suivantes.

Mais elle apporte aussi ses inconvénients :

- Pas de contact possible sur la paroi (pas de détection de zones sonnant creux, pas de purges de mise en sécurité,...) ;
- Certains angles de vues ne sont pas possibles ;
- D'autres risques existent pour les opérateurs mais aussi pour le public (distraction des conducteurs, chute,...) ou les installations présentes dans les environs ;

- Selon l'environnement (zone urbaine, aéroport,...), les contraintes réglementaires peuvent être complexes ;
- Certaines structures (béton précontraint notamment où il est important de détecter les fissures d'ouverture minimale 0,1 mm) nécessitent un seuil de détection difficile, voire impossible à atteindre, à ce jour, avec cette méthode (caméra légère mais pas assez précise, mouvements du panier de la caméra, distance à la paroi, conditions atmosphériques, éclairage variable selon l'orientation de la paroi,...).
- Contraintes atmosphériques/météorologiques, plus perturbantes à certaines périodes de l'année (pluie, vent, neige, durée d'ensoleillement, température basse pour les batteries,...).

Dans les deux cas, il s'agit d'un chantier dont la planification et les obligations réglementaires sont à anticiper.

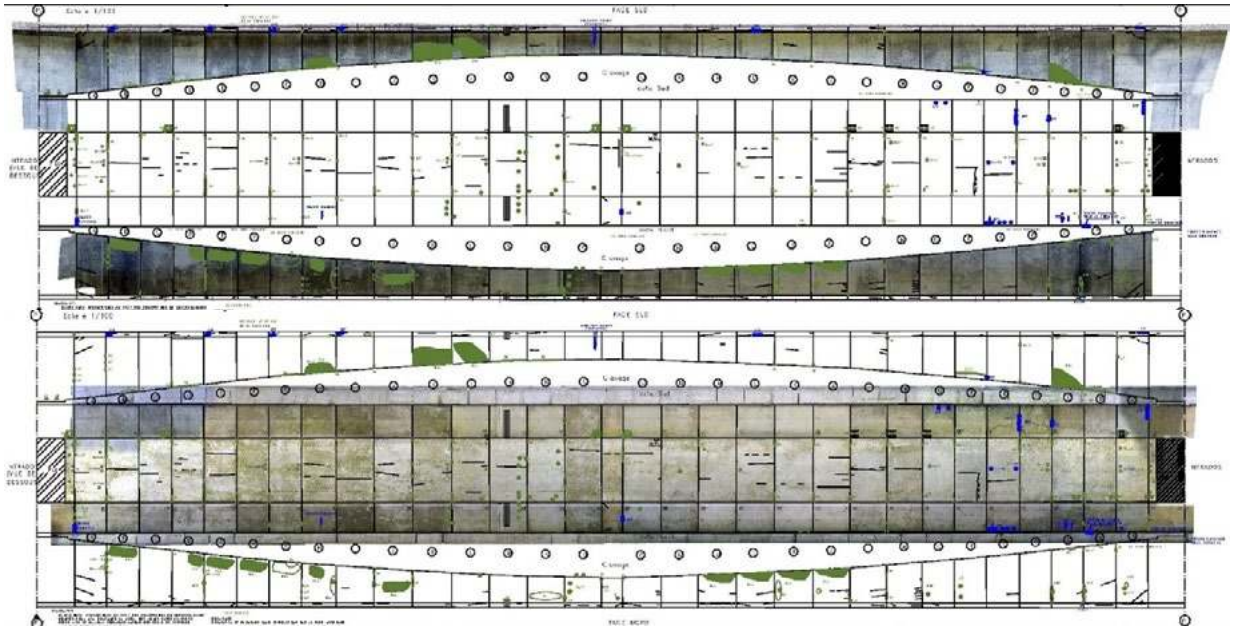


*Figure 36 : Relevé de désordre sur orthophotographie*

## 12.2 PARTIES IMMERGÉES D'UN BARRAGE INSPECTÉES PAR SONAR

Les auscultations subaquatiques sont soumises à de fortes contraintes d'environnement.

En site fluvial, les conditions de visibilité sont souvent mauvaises. En site maritime, d'autres aspects sont à prendre en compte, comme par exemple les marées.

La typologie d'ouvrage peut également contraindre le prestataire subaquatique à la rédaction de procédures d'intervention lourdes ; c'est le cas sur les barrages où l'intervention de plongeurs peut être risquée, lourdes en moyens logistiques, et relativement longue (et donc coûteuse pour l'exploitant dans le cas d'un ouvrage hydro-électrique).

Les SONAR d'imagerie permettent de répondre à ces contraintes, en présentant les avantages suivants :

- Application sur tous types d'ouvrages (ponts, barrages, écluses, ports, galeries) ;
- Réduction des risques pour les opérateurs ;
- Accès visuel quel que soit les conditions de visibilité (turbidité) ;
- Surface de parement couverte largement supérieure à des moyens optiques classiques, et donc des rendements d'inspection optimisés ;
- Des vecteurs multiples (plongeur/support nautique/perche...).

Le recours aux SONAR d'imagerie reste néanmoins non systématique, et doit se faire à bon escient. Ils doivent prendre en compte les contraintes suivantes :

- Pas de contact avec les surface investiguées (main sur le parement) ;
- Influence des conditions hydrauliques et d'exploitation (turbulences, bulles d'air, température et salinité de l'eau, hauteur d'eau, accès à la zone,...) ;
- Les procédures de post-traitement nécessitent une grande rigueur technique.



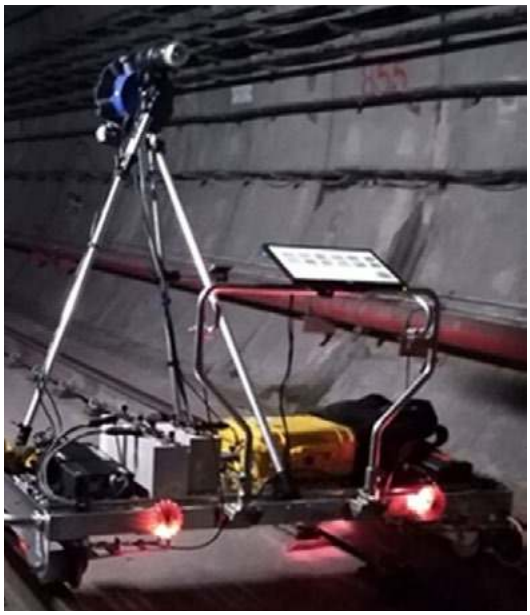

*Figure 37 : Relevé de désordre sur une partie immergée d'un barrage*

## 12.3 TUNNEL INSPECTÉ PAR CAMÉRA SUR LORRY

Les tunnels, qu'ils soient ferroviaires ou routiers, sont des voies de communication soumises à un trafic continu. L'inspection traditionnelle de ces ouvrages nécessite leur consignation, la plupart du temps, la nuit, sur quelques heures. Selon la longueur à inspecter, cela nécessite plusieurs périodes de consignation.

Sur ces ouvrages, l'acquisition numérique de l'intégralité de la surface, avec inspection différée sur image améliore nettement la disponibilité de l'ouvrage, l'exhaustivité du relevé et autorise un suivi précis dans le temps.

L'exemple suivant est réalisé avec un système d'acquisition par photo-profils. Le système montré avance à une vitesse de l'ordre de 2 à 3 km/h.

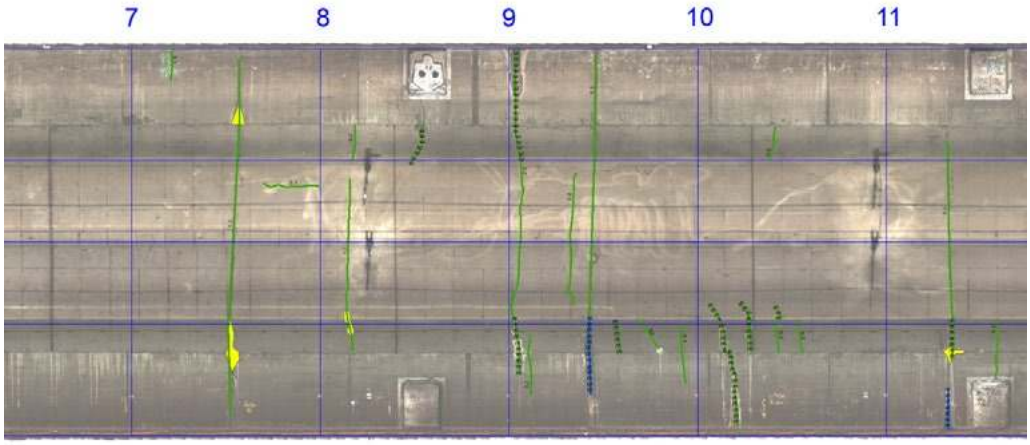


➤ *Figure 38 : Système d'acquisition par photo-profils*



➤ *Figure 39 : Reconstruction 3D de la voute d'un tunnel*

Les photo-profils, réalisés avec recouvrement, permettent le traitement photogrammétrique et ainsi la reconstruction 3D de la voute. À partir de cette reconstruction, une orthophotographie cylindrique est générée et permet l'inspection détaillée en lien avec une base de données.




➤ *Figure 40 : Relevé de désordres sur une orthophotographie générée à partir du modèle 3D précédent*

Une inspection par imagerie en tunnel comporte donc à peu près les mêmes avantages qu'une inspection par drone :

- Réduction des risques pour les inspecteurs ;
- Intervention in-situ rapide permettant de balayer de très grandes surfaces ;
- Consignation de l'ouvrage réduite ;
- Si le rendu demandé est complet (orthophotographie, modèle 3D,...), il constituera un point de comparaison pour les inspections suivantes.

Mais elle apporte aussi ses inconvénients :

- Sensible au changement de sections, aux changements de couleur des matériaux ;
- Pas de contact possible sur la paroi (pas de détection de zones sonnant creuse, pas de purges de mise en sécurité,...) ;
- Certains angles de vues ne sont pas possibles ;
- Post-traitement encore compliqué et demandant des ressources importantes (délai et personnel très expérimenté).

## 12.4 CHÂTEAUX D'EAU INSPECTÉS PAR DRONE

*Figure 41 : Drone en vol autour d'un château d'eau (55m de hauteur)*



La construction de réservoirs en béton armé a été extrêmement répandue en France au milieu du XX$^{ème}$ siècle. Aujourd'hui la majorité de ces ouvrages est encore en service et subissent des désordres liés à leur exploitation et à leur vieillissement. Les désordres affectant les parements extérieurs sont essentiellement liés à l'ensoleillement différentiel, aux cycles gel/dégel et aux intempéries (pluie, neige et vent).

La surveillance de ce type d'ouvrage par des moyens de télé-inspection s'avère avantageuse pour plusieurs raisons :

**Lors de l'intervention terrain :**

- Sécurité : l'utilisation de drone comme moyen déporté pour la collecte d'images évite d'avoir recours à des moyens d'accès parfois imposants (nacelles élévatrices sur poids lourd) ou évite l'exposition au travail en hauteur (pas de cordistes).
- Rapidité d'intervention : sous réserve de conditions climatiques favorables, toute la structure peut être minutieusement balayée en quelques heures et les données nécessaires à la modélisation sont collectées.
- Exhaustivité des relevés : l'état de conservation de la structure est capturé sur l'intégralité des parements (ce qui n'est pas toujours le cas lorsqu'on a recours à des moyens d'accès déportés).

**Support d'analyse :**

L'inspection numérisée permet la production de supports 2D ou 3D à forte valeur ajoutée pour le gestionnaire. La réplique numérique haute définition permet de contrôler l'état des parements et de détecter la présence de désordres sur la structure ou les équipements (métalleries, vitrages, antennes éventuelles).

Ces supports sont extrêmement fiables, car les défauts sont précisément localisés et peuvent être mesurés. Ils assurent un archivage exhaustif de l'état de l'ouvrage à un instant t, ce qui permet d'apprécier l'évolution des désordres dans le temps, ou de réaliser une levée de doute. Ils servent également de support pour analyser la distribution des désordres sur l'ouvrage (par l'utilisation du modèle 3D texturé) et permettent par exemple de

réaliser des métrés en vue d'organiser les opérations de travaux.

Les limites de la solution sont liées au fait « d'inspecter à distance ». Autrement dit :

- Elle ne permet pas à des opérateurs de sonder les parements au maillet ;
- Les éclats de béton en formation ne peuvent pas être purgés (cela étant, en cas de besoin, des opérations ciblées peuvent être réalisées à l'issue de l'inspection, avec des moyens d'accès dédiées, au niveau des zones détectées lors de l'inspection).

L'exemple suivant décrit l'inspection d'un château d'eau composé de deux tours hyperboloïdes et hélicoïdales, par drone équipé d'un capteur thermographique et d'un appareil photo :

- Durée d'intervention sur site : 1 journée ;
- Qualité des photos : résolution de 1mm par pixel ;
- Taux de recouvrement important (supérieur à 70%) entre images pour permettre le traitement par photogrammétrie ;
- Production de modèle 3D texturé, utilisé par l'inspecteur pour localiser et quantifier les désordres.

Le relevé photographique peut être couplé à un relevé thermographique infrarouge, permettant ainsi de mener des analyses en comparant les supports. Cette double acquisition thermique/RGB facilite l'identification de certains types de désordres comme les zones d'humidité ou les éclats de béton en cours de formation.

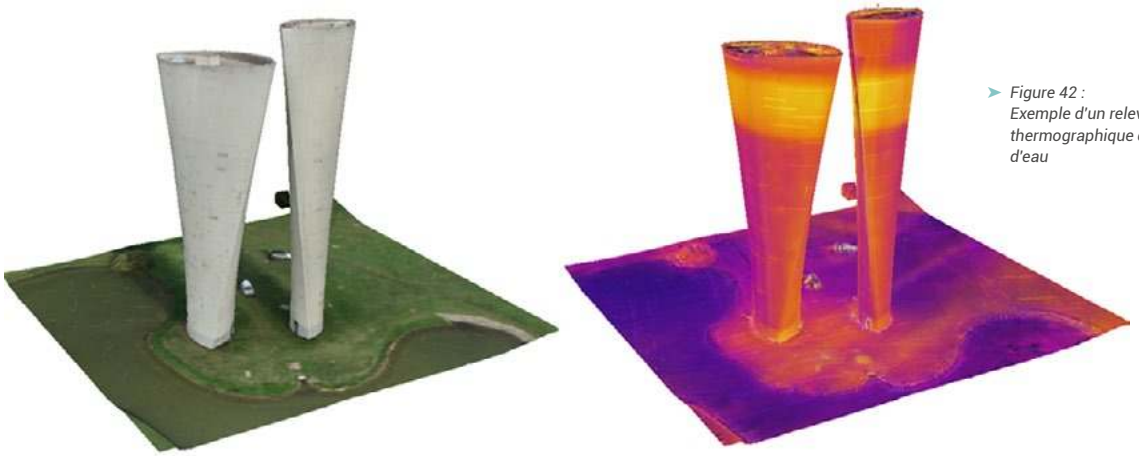


*Figure 42 :*
*Exemple d'un relevé visuel et thermographique d'un château d'eau*

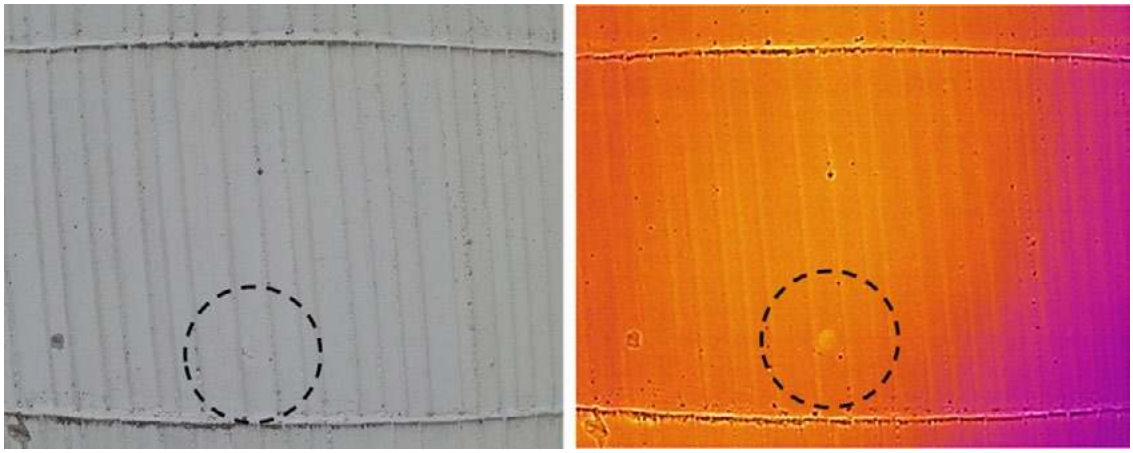


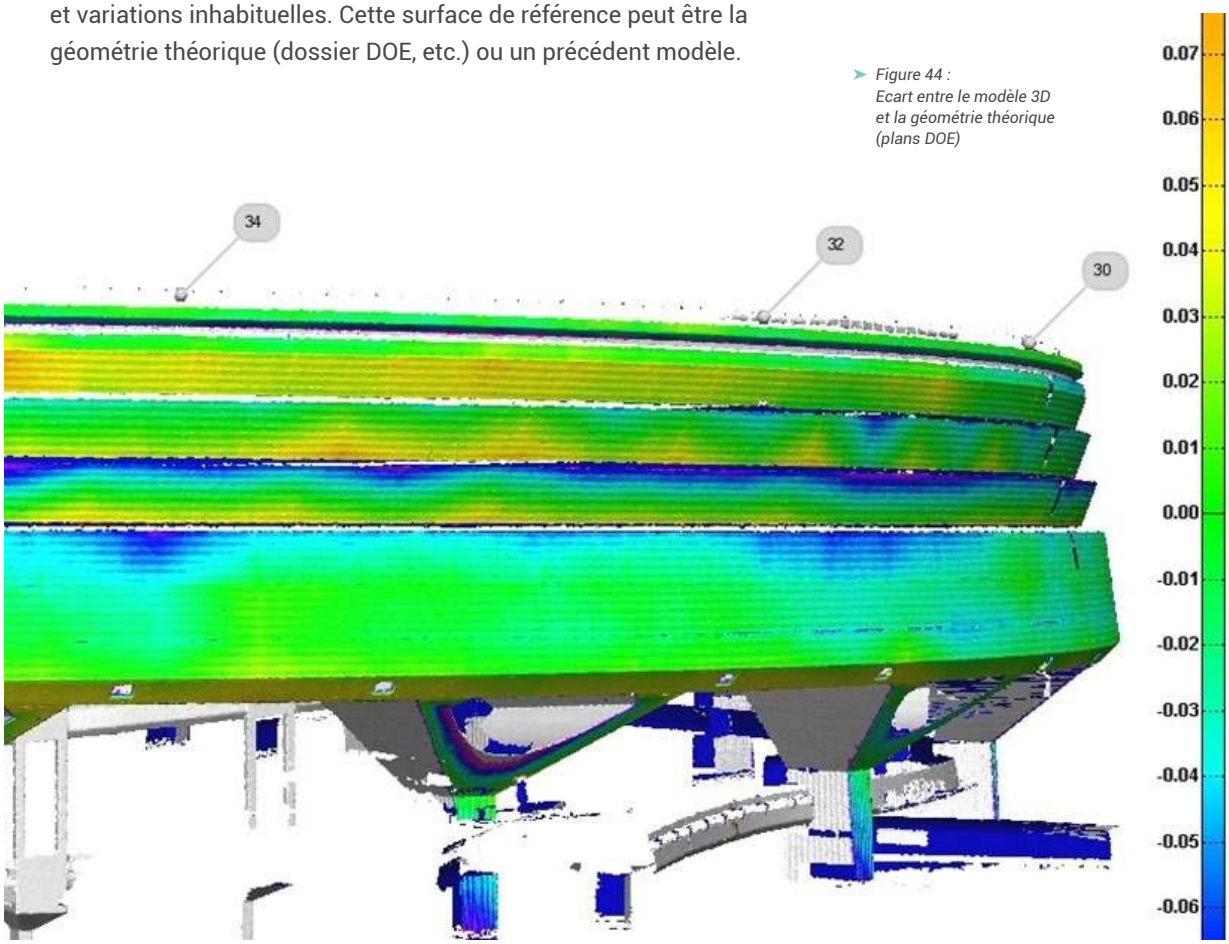
*Figure 43 :*
*Identification d'un éclat de béton en cour de formation, sur les images RGB et thermique*

# 13 Traitements complémentaires

Le modèle 3D ou le nuage de points permettent une analyse complémentaire utile à l'inspection. Parmi les usages courants nous pouvons citer :

- **Analyse des déformations surfaciques :** afin de détecter d'éventuelles déformations, une comparaison est effectuée entre le modèle 3D et une surface de référence, permettant de mettre en exergue les écarts et variations inhabituelles. Cette surface de référence peut être la géométrie théorique (dossier DOE, etc.) ou un précédent modèle.

➤ *Figure 44 : Ecart entre le modèle 3D et la géométrie théorique (plans DOE)*



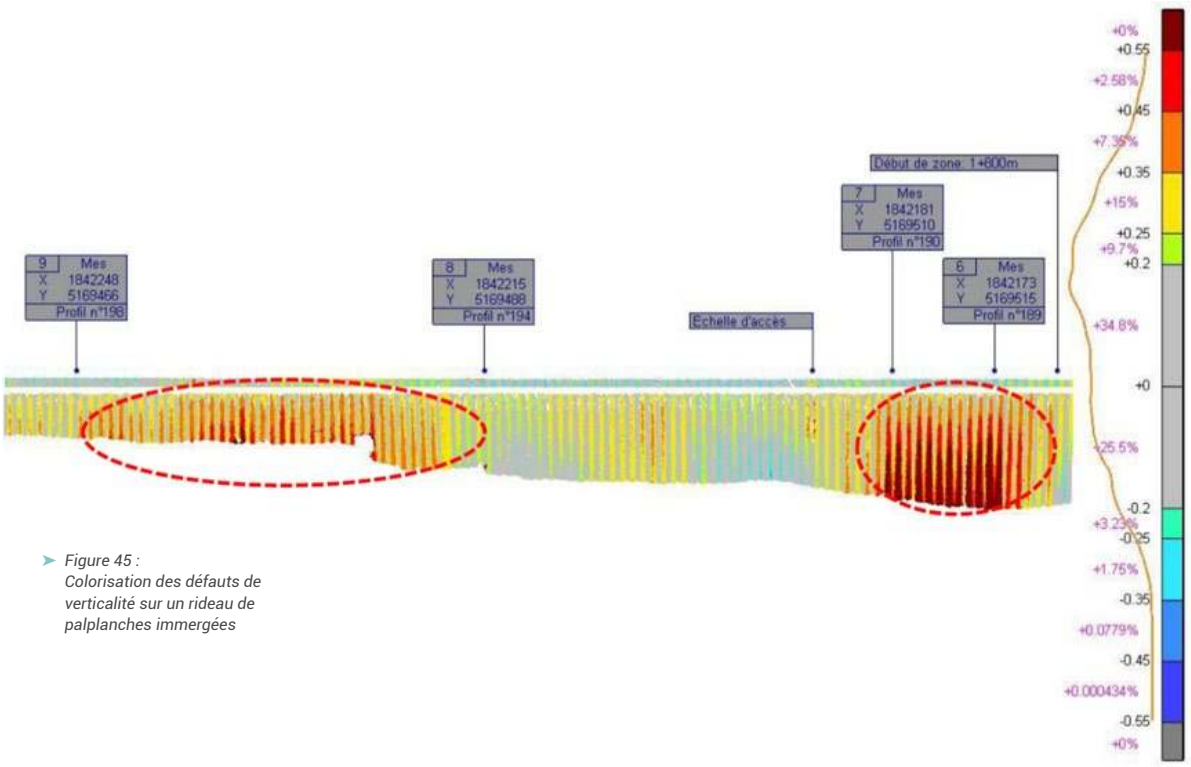



*Figure 45 :*
*Colorisation des défauts de verticalité sur un rideau de palplanches immergées*

- **Analyse de la verticalité/déclivité :** le modèle 3D géoréférencé est analysé par rapport à un axe vertical afin de mettre en évidence les défauts de verticalité.
- **Extraction de coupes horizontales, verticales et radiales :** le modèle 3D peut être découpé en sections planaires, permettant de produire des profils vectoriels utilisables par les logiciels de CAO.
- **Métré des désordres, analyse statistique :** le modèle 3D permet de calculer différents volumes (gravats, tassement ou érosion des sols, épaufrures,...), par exemple.

# 14 Techniques connexes

Ces techniques peuvent être apparentées, ou tout du moins complémentaires d'une inspection visuelle. Elles sont citées ici pour mémoire, de façon non exhaustive et sans en détailler les principes :

- **Thermographie Infrarouge (détection de fuite d'eau, repérage de cavités, diagnostic de panneau solaire, contrôle de collage,...) ;**
- **LIDAR**, basé sur l'émission de faisceaux laser. Permet de reconstituer un modèle 3D de terrains ou de structures à partir d'un ou de plusieurs nuages de points ;
- **SONAR 3D** similaire au LIDAR mais basé sur des émissions d'ondes acoustiques et utilisé pour générer ou reconstituer un modèle 3D de terrains ou de structures immergées, quel que soit la turbidité de l'eau ;
- **Endoscope**, utilisé pour l'inspection optique de volumes réduits et inaccessibles à l'œil.
- **Imagerie satellitaire couplé à l'interférométrie radar**. Utilisée en géotechnique, cette technique fournit une vision d'ensemble de l'environnement d'un ou plusieurs ouvrages ;
- **Caméra ITV** employée pour les inspections de réseaux enterrés. Autre domaine pour lequel des recommandations existent ;
- **Topographie**, utilisé pour caractériser et/ou géoréférencer l'ouvrage à l'aide de théodolite ou GPS.

# 15 Évolutions prévisibles de la technologie

Les évolutions prévisibles aujourd'hui permettront d'accélérer, fiabiliser et préciser ces méthodes, et donc d'en démocratiser et élargir l'usage :

- La miniaturisation et l'augmentation des capacités des porteurs et des capteurs améliorera la précision des relevés mais permettra aussi d'accéder à des zones encore inaccessibles.
- Inspection directement sur le modèle 3D texturé, en réalité virtuelle.
- Localisation, positionnement du porteur même indoor (à l'intérieur des structures ou des éléments de structure) sans connexion GPS., permettant de fiabiliser, sécuriser, automatiser les cheminements.
- IA (Intelligence Artificielle), « deep learning », « machine learning », réseau de neurones, permettront la reconnaissance automatisée de défauts sur les images.
- Automatisation – autonomisation des vecteurs pour les relevés.
- Captation de paramètres physico-chimiques (enrobage, position des armatures, potentiel de corrosion, etc.) possibles en même temps que l'inspection elle-même.
- Drone volant : contact à la paroi, nettoyage de la surface en cours d'inspection, sondage sonique,...

# 16 Glossaire

***AGHTM :*** "Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux" (ancien nom de l'ASTEE)

***ASTEE :*** "Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement", reconnue d'utilité publique et qui regroupe des membres issus d'organismes publics et privés, tous acteurs des services publics locaux et de l'environnement (ex AGHTM).

***ATEX :*** "ATmosphères Explosives", règlementation issue de deux directives européennes visant à maitriser les risques relatifs à l'explosion de ces atmosphères.

***BIM :*** "Building Information Modeling" ou "Maquette Numérique du Bâtiment", processus collaboratif de gestion et de production de données du bâtiment, durant tout son cycle de vie.

***Cerema :*** "Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement", établissement public à caractère administratif placé sur la tutelle conjointe du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire et du Ministère de la Cohésion des Territoires

***CNIL :*** "Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés", autorité administrative indépendante française chargée de veiller à ce que l'informatique soit au service du citoyen et qu'elle ne porte atteinte ni à l'identité humaine, ni aux droits de l'homme, ni à la vie privée, ni aux libertés individuelles ou publiques.

***CNR :*** "Compagnie Nationale du Rhône", société anonyme d'intérêt général, CNR est concessionnaire du Rhône pour la production d'hydroélectricité, le transport fluvial et les usages agricoles.

***DAO*** ou ***CAO*** : "Dessin ou Conception Assistée par Ordinateur", acronyme désignant un logiciel de conception ***ou dessin.***

***DGAC / DSAC*** : "Direction Générale de l'Aviation Civile", administration française rattachée au Ministère de la Transition Écologique, en charge de règlementer et de superviser la sécurité aérienne, le transport aérien et les activités de l'aviation civile en général. La "Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile" est un service de la DGAC compétent en matière de surveillance et de certification dans le domaine de l'aviation civile.

***DOE*** : "Dossier des Ouvrages Exécutés", document contractuel de la construction immobilière en France, regroupant tous les documents finaux de la construction (plans, notes de calculs, etc.)

***EDF*** : "Électricité de France", entreprise française détenue à plus de 80% par l'État qui est producteur et fournisseur d'électricité en France et en Europe.

***Exif*** : "EXchangeable Image File", l'Exif est une spécification de formation de fichier pour les images utlisées par les appareils photographiques numériques.

GPS : "Global Positioning System", est un système de géo-positionnement par satellites.

***ITV*** : "Inspection TéléVisée (ou TéléVisuelle)", communément utilisée pour l'inspection robotisée de canalisations de faibles diamètres (inférieures à 500mm).

***Lambert 93*** : La projection conique conforme de Lambert est une des projections cartographiques présentées par le mathématicien mulhousien Johann Heinrich Lambert en 1772

***LIDAR*** : "LIght Detection And Ranging", capteur de télédétection et de télémesure actif utilisant comme source émettrice un laser.

***PDF*** : "Portable Document Format", langage de description de page facilitant les échanges et consultations de documents électroniques. Ce format est désormais ouvert et conforme aux normes ISO 32000.

***ROV*** : "Remote Operating Vehicule", véhicule sous-marin téléguidé de petite dimension et contrôlé à distance.

***SIG*** : "Système d'Information Géographique" (ou GIS pour "Geographic Information System"), outil informatique permettant d'associer des données géographiques et d'autres types d'informations afin de pouvoir créer des représentations graphiques, des cartes, etc.

***SNCF*** : "Société Nationale des Chemins de Fer Français", entreprise ferroviaire publique française

***SONAR*** : "Sound Navigation And Ranging", appareil de mesure utilisant les propriétés particulières de la propagation du son dans l'eau pour détecter et situer des objets sous l'eau par écholocation.

***Système NGF*** : Le "Nivellement Général de la France" constitue un réseau de repères altimétriques disséminés sur le territoire français. Les repères altimétriques permettent de déterminer l'altitude en chaque point du territoire. En NGF IGN69, l'altitude zéro (NGF 0) de référence est déterminée par le marégraphe de Marseille.

***VGA, HD, 4K*** : Résolution de formats vidéos classiquement utilisés pour la caractérisation de capteurs, d'enregistreurs ou d'écrans.

***Viewer*** : afficheur, visionneuse de données.

***VNF*** : "Voies Navigables de France", établissement public à caractère industriel et commercial sous la tutelle du Ministère des Transports et du Tourisme, en charge de la gestion des infrastructures fluviales nationales.

# 17 Bibliographie & sitographie

**ITSEOA :** Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art (révision 2010), Fascicules 1 à 4 et ensemble des guides d'application.

**IQOA – classification des ouvrages :** "Image de la Qualité des Ouvrages d'Art", méthode d'évaluation pour la classification des ponts (mai 1996). Voir aussi "IQOA – MURS."

**Légifrance :** https://www.legifrance.gouv.fr/

**Géoportail :** https://www.geoportail.gouv.fr/

**DGAC :** https://www.ecologie.gouv.fr/direction-generale-laviation-civile-dgac

**Drones, usages professionnels :** http://www.developpement-durable.gouv.fr/drones-usages-professionnels

**Drones dans le ciel français :** http://www.developpement-durable.gouv.fr/quelle-place-drones-dans-ciel-francais

**Drones civils à usage commercial – Responsabilités, assurances, corpus juridique (sept. 2017) :** https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Fiche_CDC_Assurances_Responsabilies_Corpus_juridique.pdf

**Conseil pour les drones civils :** https://www.ecologie.gouv.fr/conseil-drones-civils

**Fédération professionnelle des drones civils :** https://www.federation-drone.org

# 18 Figures et tableaux

Les illustrations de ce document proviennent des membres du groupe de travail. Les sources ne sont pas détaillées pour faciliter la lecture.

Figure 1 : Appareil photo sur trépied ..... 7
Figure 2 : Bras automatisé ..... 7
Figure 3 : Caméra robotisée sur chariot ..... 8
Figure 4 : Système d'acquisition de photo-profils en tunnel ..... 8
Figure 5 : Drone multi-rotor ..... 8
Figure 6 : Mini robot sous-marin ..... 8
Figure 7 : Drone de surface, ou flottant ..... 8
Figure 8 : Appareil photo numérique ..... 9
Figure 9 : Caméra industrielle ..... 9
Figure 10 : Inspection de réseau ..... 9
Figure 11 : Tourelle vidéo optique, avec éclairage ..... 9
Figure 12 : Appuis immergés par SONAR à balayage ..... 10
Figure 13 : Parement maçonné par caméra acoustique ..... 10
Figure 14 : Mosaïque d'images sur pylône ..... 12
Figure 15 : Image originale avant redressement ..... 13
Figure 16 : Orthophotographie (image voisine redressée) ..... 13
Figure 17 : Modèle 3D issu de la reconstitution par photogrammétrie d'un viaduc ..... 14
Figure 18 : Nuage de points, maillage 3D, modèle texturé, orthophotographie et plan ..... 15
Figure 19 : Modèle 3D, cylindre de projection et orthophotographie ..... 16
Figure 20 : Comparaison entre deux inspections, apparition d'une fissure sur piédroit de tunnel à 3 ans d'intervalle ..... 17
Figure 21 : Exemple de tableur associé à une représentation graphique linéaire ..... 18
Figure 22 : Extrait d'un reportage photographique par drone ..... 19
Figure 23 : Exemple d'un reportage photographique de l'inspection d'une structure métallique ..... 19
Figure 24 : Mosaïque à 360° de l'intérieur d'une pile de pont ..... 20
Figure 25 : Exemple de planche technique référencée sur une pile voile ..... 20
Figure 26 : Vue en élévation d'une pile avec représentation des désordres ..... 21
Figure 27 : Report des observations directement sur une orthophotographie ..... 21

Figure 28 : Nuage de points, maillage 3D, maillage 3D texturé ..... 22
Figure 29 : Fichier multicouche d'une inspection de tunnel (développé ortho photographique de la voûte suivant un cylindre) ..... 23
Figure 30 : Relation entre la taille capteur et le champ image à focale constante ..... 26
Figure 31 : Pixel "terrain" ..... 27
Figure 32 : Rendu optique subaquatique en eau claire ..... 27
Figure 33 : Rendu optique subaquatique en eau chargée ..... 27
Figure 34 : Viaduc de grandes dimensions surplombant une zone habitée ..... 34
Figure 35 : Drone au pied d'une pile de viaduc ..... 34
Figure 36 : Relevé de désordre sur orthophotographie ..... 35
Figure 37 : Relevé de désordre sur une partie immergée d'un barrage ..... 36
Figure 38 : Système d'acquisition par photo-profils ..... 37
Figure 39 : Reconstruction 3D de la voute d'un tunnel ..... 37
Figure 40 : Relevé de désordres sur une orthophotographie générée à partir du modèle 3D précédent ..... 37
Figure 41 : Drone en vol autour d'un château d'eau (55m de hauteur) ..... 38
Figure 42 : Exemple d'un relevé visuel et thermographique d'un château d'eau ..... 39
Figure 43 : Identification d'un éclat de béton en cour de formation, sur les images RGB et thermique ..... 39
Figure 44 : Ecart entre le modèle 3D et la géométrie théorique (plans DOE) ..... 40
Figure 45 : Colorisation des défauts de verticalité sur un rideau de palplanches immergées ..... 41

Tableau 1 : Conditions d'application des différents capteurs ..... 11
Tableau 2 : Synthèse des différents traitements d'images ..... 14
Tableau 3 : Exemple de classification des principaux désordres décelables sur des parements béton ..... 15
Tableau 4 : Différents formats informatiques ..... 24
Tableau 5 : Précision des relevés et conséquences sur le matériel nécessaire ..... 26
Tableau 6 : Exemple de résolution d'une caméra acoustique d'inspection, fréquence 3.0 MHz ..... 28

Ingénierie de
Maintenance du Génie Civil

IMGC

http://www.imgc.fr/