

## Fiche bilan de l'appel à projets Ponts Connectés (2021-2023)

### SOFIA : Surveillance des Ouvrages d'art Fondée sur l'Intelligence Artificielle

#### LE CONSORTIUM

Partenaires : CONSORTIUM SOFIA :

- Socotec Monitoring, ME spécialisé en surveillance et maintenance prédictive.
- CEA-List, experts en intelligence artificielle en vision assistée par ordinateur.
- Sanef, maintenance des ouvrages.

Logos des entreprises :



Montant du projet : 579 063 € (316 193 € de subventions)

Ouvrage(s) instrumenté(s) : ouvrages, autoroutes de la SANEF

#### LE PROJET

SOFIA vise une rupture technologique majeure dans les méthodes d'inspection. Le projet cherche en effet à **assister de manière plus objective et plus rapide** l'expert-inspecteur dans ses visites obligatoires et fastidieuses grâce à l'intelligence artificielle, pour en faire un **'inspecteur augmenté'**. Les objectifs sont les suivants :

- Développer **un outil d'aide à l'inspection** fondé sur l'intelligence artificielle
- Entraîner des **algorithmes d'IA** sur la base d'images d'inspection d'ouvrages d'art
- Proposer une note d'inspection pour aide à la **maintenance prédictive**
- Intégrer la solution à une application cloud

#### LES AVANCEES TECHNIQUES

La technologie principale utilisée repose sur des algorithmes à **l'état de l'art** de **Deep Learning** en Computer Vision, plus particulièrement des algorithmes de **classification multi-classe multi-label** et de **segmentation sémantique**. Ces algorithmes permettent d'associer une note de sévérité pour chaque image. Des algorithmes de **Machine Learning** viennent compléter le processus en prenant en compte l'ensemble des notes de sévérité pour attribuer une note finale sur l'ensemble de la structure et l'ensemble des actions à entreprendre.

Les avancées techniques et résultats obtenus sont listées en détails ci-après :

- Structuration d'une base de données regroupant 139,455 images de 118,992 rapports d'inspection sur 2,553 ouvrages d'art entre 1996 et 2021.
- Application et amélioration d'architectures et méthodes d'entraînement de l'état de l'art en Deep Learning (Vision Transformers, DINO, SupMAE, SAM de Meta AI)
- Classification de 13 classes de défauts et 13 classes d'éléments d'ouvrages d'art.
- 5,911 images annotées manuellement et assistées par des outils d'IA pour la segmentation.
- Segmentation de 4 classes de défauts et extraction de métriques issues des masques.
- **1<sup>ère</sup> place au Challenge CODEBRIM** pour la classification de défauts structurels <https://dacl.ai/>
- 2 articles publiés dans des actes de conférence ([Eurostruct2023 et ICVS2023](#)). Les articles portent respectivement sur la classification multi-label des défauts segmentation de 4 types de défauts avec l'architecture des Vision Transformers.
- Une solution logicielle qui intègre l'ensemble des algorithmes de Deep et Machine Learning au sein d'une même pipeline hébergée sur le **Cloud** et utilisant les services AWS (S3, RDS, Lambda, Sagemaker).
- Colloques et salons nationaux de référence (Le Pont Toulouse 2023, Big Data & AI Paris 2023, AUGC Saclay 2023).

## LES PERSPECTIVES D'AVENIR

L'étape suivante consiste à faire tester la solution par des acteurs extérieurs et avoir leur retour métier. A l'horizon 2026, il est envisagé que la solution soit appliquée à différents niveaux de l'écosystème de maintenance d'ouvrages d'art : parcs gérés par les communes et collectivités locales, l'Armée, concessionnaires d'autoroutes et tunnels, ... Une prochaine étape consiste à **intégrer d'autres acteurs** disposant **de technologies de pointe en instrumentation** (caméras avec acquisition multimodale, drones).

En parallèle, il est envisagé d'intégrer d'autres acteurs disposant de technologies de pointe en instrumentation (caméras infrarouges, drones) afin d'apporter des fonctionnalités supplémentaires pour faciliter l'adoption de l'outil.

D'un point de vue de la connaissance scientifique, l'exploration et l'adaptation des derniers algorithmes à l'état de l'art sur des données non disponibles en grand nombre en open data (spécificité des défauts de structures) permet de mieux juger de la performance des architectures employées. La **personnalisation des architectures** pour l'intérêt métier est aussi à souligner. En effet, les algorithmes de classification ont été adaptés pour prendre en compte des contraintes "métiers", à savoir la présence ou l'absence de défauts sur certaines parties d'ouvrages.

## LES BENEFICES POUR LA GESTION DU PATRIMOINE

D'un point de vue réglementaire, les inspections sont obligatoires à une fréquence variable selon les normes (IQA en France). Chaque année en France, environ 5,000 ponts sont soumis à une inspection détaillée. L'inspection visuelle est la technique traditionnelle d'évaluation de leur état de conservation. Le projet SOFIA vise ainsi en une révolution numérique dans les **méthodes d'inspection** en assistant l'expert-inspecteur dans ses visites obligatoires et fastidieuses.

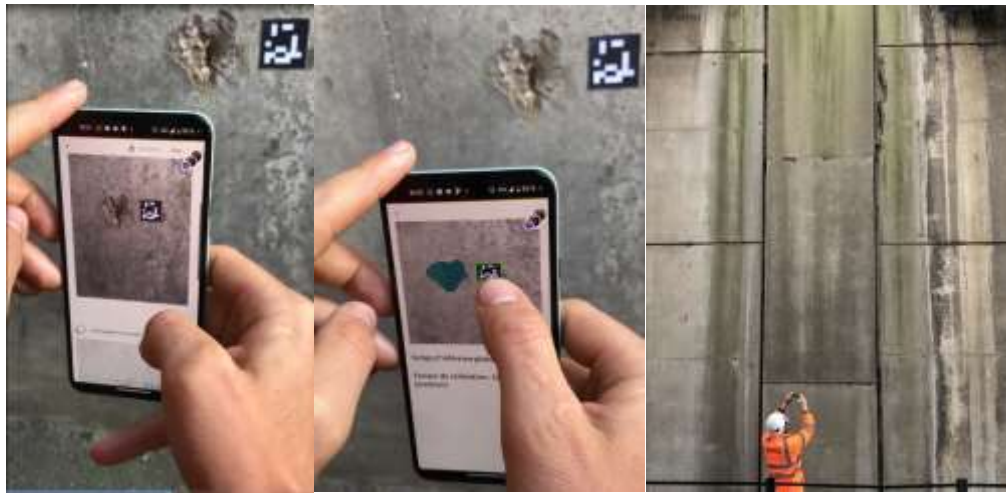
Le projet SOFIA met aussi l'accent sur deux aspects importants de l'utilisation d'IA :

- *IA simple et interprétable* : La solution proposée met **l'expert humain aux commandes de l'outil d'intelligence artificielle**, plutôt que de laisser l'IA prendre le contrôle total du processus. Ceci est d'autant plus important qu'il y a de graves implications pour la vie humaine. Le design de l'outil SOFIA se veut être adapté aux besoins de l'expert grâce à

des configurations reprogrammables et une grande interactivité au sein des workflows. L'interprétabilité et l'explicabilité se fait notamment aussi grâce à l'utilisation d'un arbre de décision qui illustre le workflow des décisions pour la détermination de la note globale.

- *IA durable et respectueuse de l'environnement* : L'industrie de la construction a un impact important sur l'environnement, tant lors du processus de construction mais aussi pour les maintenances ultérieures. Pour une infrastructure, le coût carbone est principalement lié à la phase de construction. Plus longue est la durée de vie d'un pont, moins il y aura d'émission globale de carbone. Ainsi, l'optimisation des actions de maintenance est essentielle pour trouver le juste équilibre entre l'allongement de la durée de vie de l'ouvrage et la réparation de la structure lorsqu'elle est dans un état critique.

## LES PHOTOGRAPHIES



**Figure 1** : Présentation de l'outil intelligent d'inspection sur mobile. L'inspecteur prend une photo, les algorithmes se lancent alors (classification de types de défaut, segmentation du défaut, estimation de la sévérité du défaut). Si un indicateur d'échelle du type marqueur Aruco est présent, une estimation de l'ordre de grandeur est possible.



**Figure 2** : Modèle de segmentation entraîné sur deux datasets publics de Fissure (à gauche) et d'Armature apparente (à droite). Première ligne : vérité terrain (masque créé par l'homme). Deuxième ligne : prédiction de l'algorithme.



**Figure 3** : Obtention de la 1ere place au Challenge CODEBRIM pour la classification de défauts structurels. <https://dacl.ai/>

