



**HAL**  
open science

## Apports de l'imagerie et de l'Intelligence Artificielle pour les ponts connectés

Pierre Charbonnier, Philippe Foucher, Raphaël Antoine, Diego Navarro, Brice  
Marc

► **To cite this version:**

Pierre Charbonnier, Philippe Foucher, Raphaël Antoine, Diego Navarro, Brice Marc. Apports de l'imagerie et de l'Intelligence Artificielle pour les ponts connectés. Colloque Le Pont, Association Le Pont, Oct 2023, Toulouse, France. hal-04514366

**HAL Id: hal-04514366**

**<https://hal.science/hal-04514366>**

Submitted on 18 Apr 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

# APPORTS DE L'IMAGERIE ET DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE POUR LES PONTS CONNECTÉS

Colloque Le Pont : « L'innovation au service du Génie Civil »

P. Charbonnier, P. Foucher, R. Antoine, D. Navarro, B. Marc

Toulouse, 17 octobre 2023



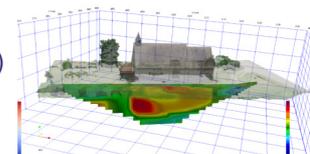
Photo D. Descouens (image sous licence CC BY-SA 4.0 DEED)



## LES PRÉSENTATIONS

ENDSUM (Evaluation Non Destructive des StrUctures et des Matériaux)

- Équipe de recherche Cerema multi-sites, 21 permanents (13 chercheurs)
- Caractérisation des milieux en génie civil et sciences de la Terre, dans le spectre électromagnétique
- Imagerie multi-physique, détection et reconnaissance, visualisation



3D + résistivité

Défi ROAD-AI (2021-2025)

- Partenariat structurant avec *Inria*
- 9 entités Cerema, 6 équipes-projet INRIA
- 4 thèses, 2 post-docs, 2 CDI ingénieurs



3D + GPR

## CONTEXTE

### Le développement des capteurs

- Image
  - Visible, Infra-Rouge thermique
  - 360°, RGB-D
- Laser
  - Lidar, LCMS
- Radar

### ... et des moyens d'emport

- des caméras industrielles aux tél. portables
- essor des drones

... ouvre la voie à une nouvelle génération d'outils pour l'inspection et le suivi des Ouvrages d'Art



## PROBLÉMATIQUES « PONTS CONNECTÉS »

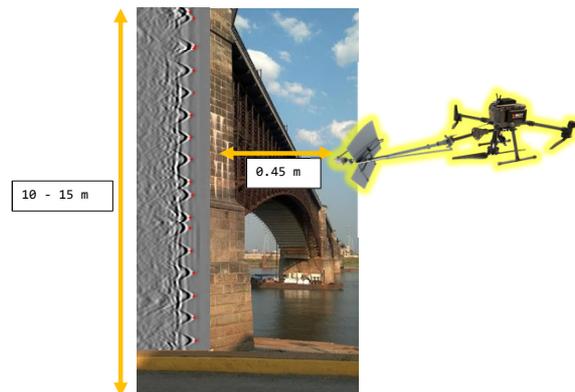
### Localisation et reconstruction 3D

- Guidage, repérage, suivi temporel, visualisation, interprétation, visites virtuelles

### Reconnaissance des formes

- détection et reconnaissance de défauts, d'objets d'intérêt, interprétation sémantique des scènes

On propose ici un aperçu des techniques et quelques exemples d'applications étudiées au Cerema



Schema of the user case with an example of the multi-frequency radar output superposed.

## IMAGERIE ET IA POUR LES PONTS CONNECTÉS

Introduction

Localisation et reconstruction 3D

Reconnaissance des formes

Conclusion

Le programme ponts connectés



Imagerie et IA pour les ponts connectés

## LOCALISATION ET RECONSTRUCTION 3D

Odométrie visuelle

- Locale, focalisée sur l'estimation du mouvement

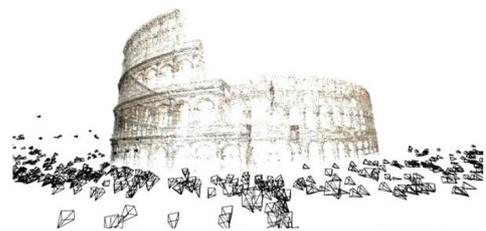
SLAM (*Simultaneous Localization And Mapping*)

- Ajoute un modèle global pour cohérence
- Donne accès à la reconstruction

SFM (*Structure from motion*)

- Focalisée sur la reconstruction (photogrammétrie)
- Utilise des vues non ordonnées
- Implique la localisation des positions de caméras

Mise en correspondance robuste de points d'intérêt et ajustement de faisceaux



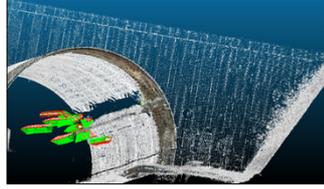
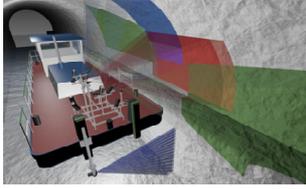
[Agarwal2011]



Localisation et reconstruction 3D

6

## RECONSTRUCTION 3D COMBINÉE SONAR/IMAGE

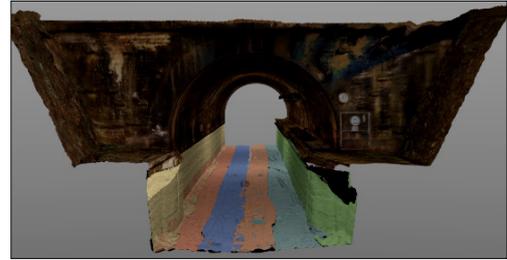


Modèle 3D voûte + trajectoire



Profils SONAR

Modélisation « tube entier » des tunnels navigables, quand photogrammétrie et topographie pallient l'absence de GPS pour la cartographie mobile



Fusion → modèle « tube entier »

[Moisan et al, Photogrammetric Record, 2021]



Localisation et reconstruction 3D

7

## LOCALISATION PAR SLAM POUR L'INSPECTION

Localisation précise et commande d'un système multi robots collaboratif pour l'inspection d'infrastructures

Thèse de Diego Navarro (ROAD-AI)

Objectifs : précision < 5 cm, vitesse de vol 1 m/s

2 phases

1. Construction d'un modèle de référence (stéréo + IMU)
2. Relocalisation (monoculaire) / modèle selon plan de vol



Pont d'aquitaine



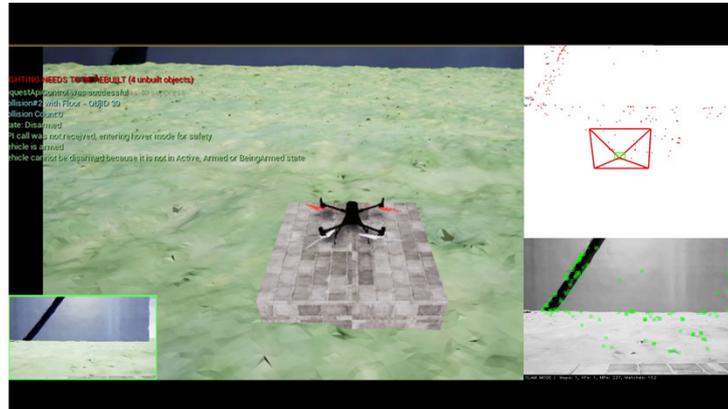
Modèle reconstruit (épars / dense)



Localisation et reconstruction 3D

8

## LOCALISATION PAR SLAM POUR L'INSPECTION



## LA RECONNAISSANCE DES FORMES (RDF)

Branche de l'Intelligence Artificielle (IA)

Tâche de base : catégoriser des « formes »

- Simple pour un humain, difficile pour une machine...
- Variabilité des formes, conditions d'observations changeantes, données perturbées

Approche dominante : orientée données

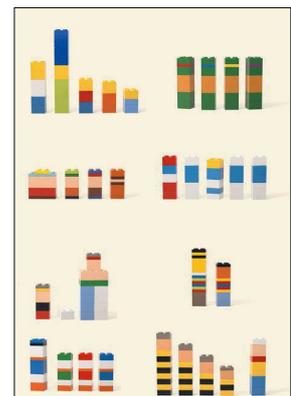
- Apprentissage statistique (par l'exemple) des paramètres d'un automate
- Inférence ou prédiction sur données observées

Utilisent une représentation simplifiée : les *features*

- Caractéristiques extraites des images

Modèle le plus performant : le réseau de neurones (profond)

Différentes architectures selon le types de tâches traitées

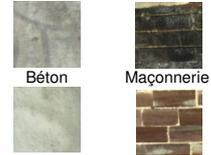


D'après [CANU], © LEGO International

## QUELQUES TÂCHES DE RDF

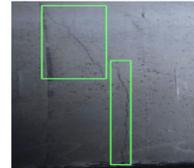
### La classification

- **Affecter un label** à une instance
- Binaire (2 classes) ou multi-classes



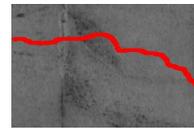
### La détection

- Etablir la **présence** d'un objet
- Le **localiser**



### La segmentation

- **Partitionner** l'image en régions
- Leur affecter un label



## UN HISTORIQUE, EN QUELQUES ÉTAPES

### Années 1950 – 60 : modélisation du neurone (Perceptron)

- Décisions élémentaire, discrimination linéaire



### Années 1970 : -

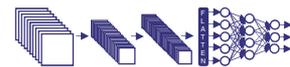
### Années 1980 : réseaux de neurones, apprentissage (*back-propagation*)

- Discrimination non linéaire, apprentissage *end-to-end* des pondérations
- Très bonne machines pour décider, mais nécessitent des *features* appropriées



### Années 1990 - 2000 : réseaux convolutionnels, apprentissage profond

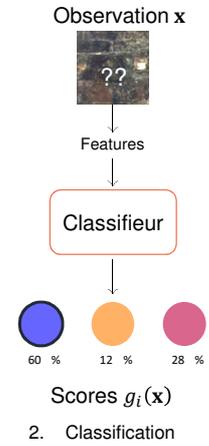
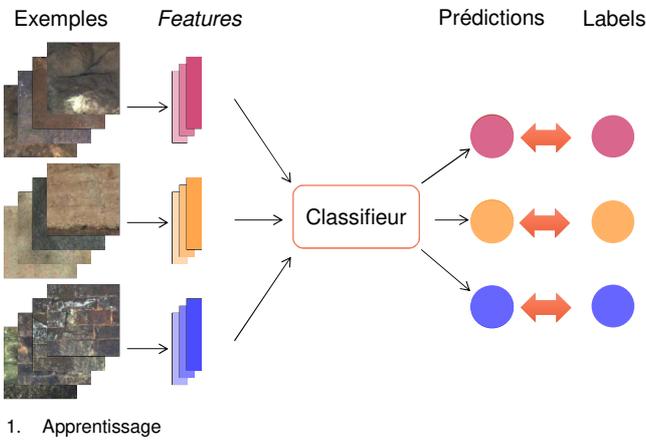
- On apprend les *features* automatiquement
- A partir de 2010, supprime la concurrence sur les *benchmarks* en *Computer Vision*



### Années 2020 : les *transformers*, essor des modèles génératifs

- Modèle issu du traitement du langage, adaptation aux images
- On apprend des relations spatiales

# APPRENTISSAGE SUPERVISÉ



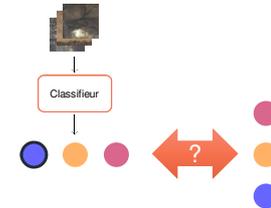
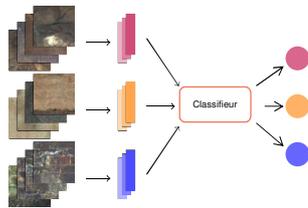
Reconnaissance des formes

# LA DÉMARCHE DE MISE AU POINT

1. Collecte et labellisation des données



2. Choix modèle et apprentissage



3. Évaluation



Reconnaissance des formes

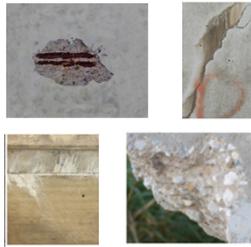
## DÉTECTION D'ANOMALIES SUR OA

Thèse de Brice MARC (ROAD-AI, 2023-2026)



Inspection des structures très coûteuse

- Entraîne fermeture partielle ou totale
- Des conditions de travail difficiles



Verrous identifiés

- Défauts peu représentés
  - De nombreuses variétés de défauts très différentes
  - Faible proportion par rapport aux données saines
- Données annotées rares et coûteuses à obtenir
- Les modèles détectent beaucoup de faux positifs



## APPRENTISSAGE PAR SYNTHÈSE D'ANOMALIES



Image saine

+



Fer apparent

Interpolation  
de Poisson



Image augmentée

## APPRENTISSAGE PAR SYNTHÈSE D'ANOMALIES

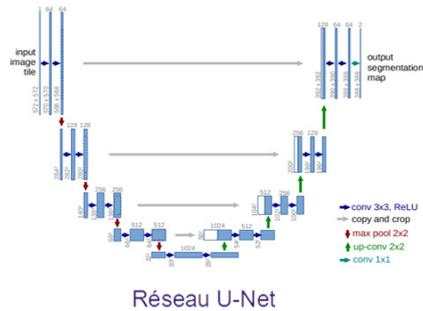


Image analysée



Résultat attendu



Résultat obtenu

## CONCLUSION

Localisation et reconnaissance des formes

- des techniques qui arrivent à maturité
- codes sources et bases de données disponibles
- nécessitent des adaptations et des tests

Reconnaissance des formes

- importance de la donnée
- choix des architectures, savoir-faire pratique
- nécessité d'évaluer les performances



## LE PROGRAMME PONTS CONNECTÉS

Le Cerema pilote l'appel à projets « Ponts connectés » (2021-2023) pour le ministère  
Rédaction de l'appel à projet, sélection de 17 projets

Accompagnement technique et scientifique  
(au-delà du suivi administratif)

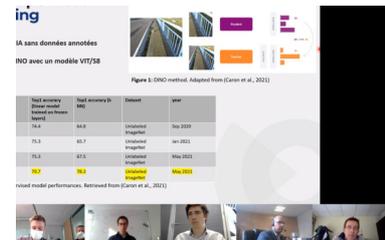
- Binômes experts / chercheurs
- 9 projets accompagnés par ENDSUM

Appréciation d'ensemble très positive

- Investissement, sérieux
- Objectifs souvent atteints

Aujourd'hui, une illustration des projets IMGC + demain projet SOFIA

→ Le Cerema proposera une restitution globale au premier semestre 2024



Visio de suivi d'un projet

## MERCI DE VOTRE ATTENTION



ROAD-AI



Ponts connectés