

# L'IA au service des infrastructures : Bilan du défi Road-AI et perspectives

**C. Biernacki, *Inria***  
**A. Hebting, *Cerema***

# Objectifs

- Bâtir un « jumeau numérique » de la route et de son environnement à l'échelle d'un réseau complet
- Définir des « lois » de comportements de la chaussée
- Instrumenter les ponts et tunnels à l'échelle système et exploiter en temps réel les données
- Définir des méthodes de planification stratégique des investissements et de maintenance

## ROAD-AI

Routes et Ouvrages d' Art Diversiformes, Augmentés & Intégrés

<https://team.inria.fr/roadai/fr/>

### Project lead: Inria

Nathalie Mitton (EP FUN, LNE)  
Christophe Biernacki (EP DATAVERS, LNE)

### Project lead: Cerema

Pierre Marchand (DTEC ITM)  
André Orcési (DTEC ITM)

# Article RGRA 2025 pour une vue générale...

## PROJET ROAD-AI AU SERVICE DE L'AMÉLIORATION DE LA RÉSILIENCE DES INFRASTRUCTURES

RGRA N° 1011 • JUILLET-AOÛT 2025

Le projet Road-AI, né de la collaboration entre le Cerema et Inria, marque une avancée majeure dans la modernisation de la gestion des infrastructures routières. En combinant expertise métier et excellence scientifique, cette initiative vise à améliorer la durabilité, la sécurité et la résilience des routes, ponts et tunnels grâce à des outils innovants.



### ROAD-AI

Routes et Ouvrages d' Art Diversiformes, Augmentés & Intégrés

<https://team.inria.fr/roadai/fr/>

#### Project lead: Inria

Nathalie Mitton (EP FUN, LNE)  
Christophe Biernacki (EP DATAVERS, LNE)

#### Project lead: Cerema

Pierre Marchand (DTEC ITM)  
André Orcési (DTEC ITM)

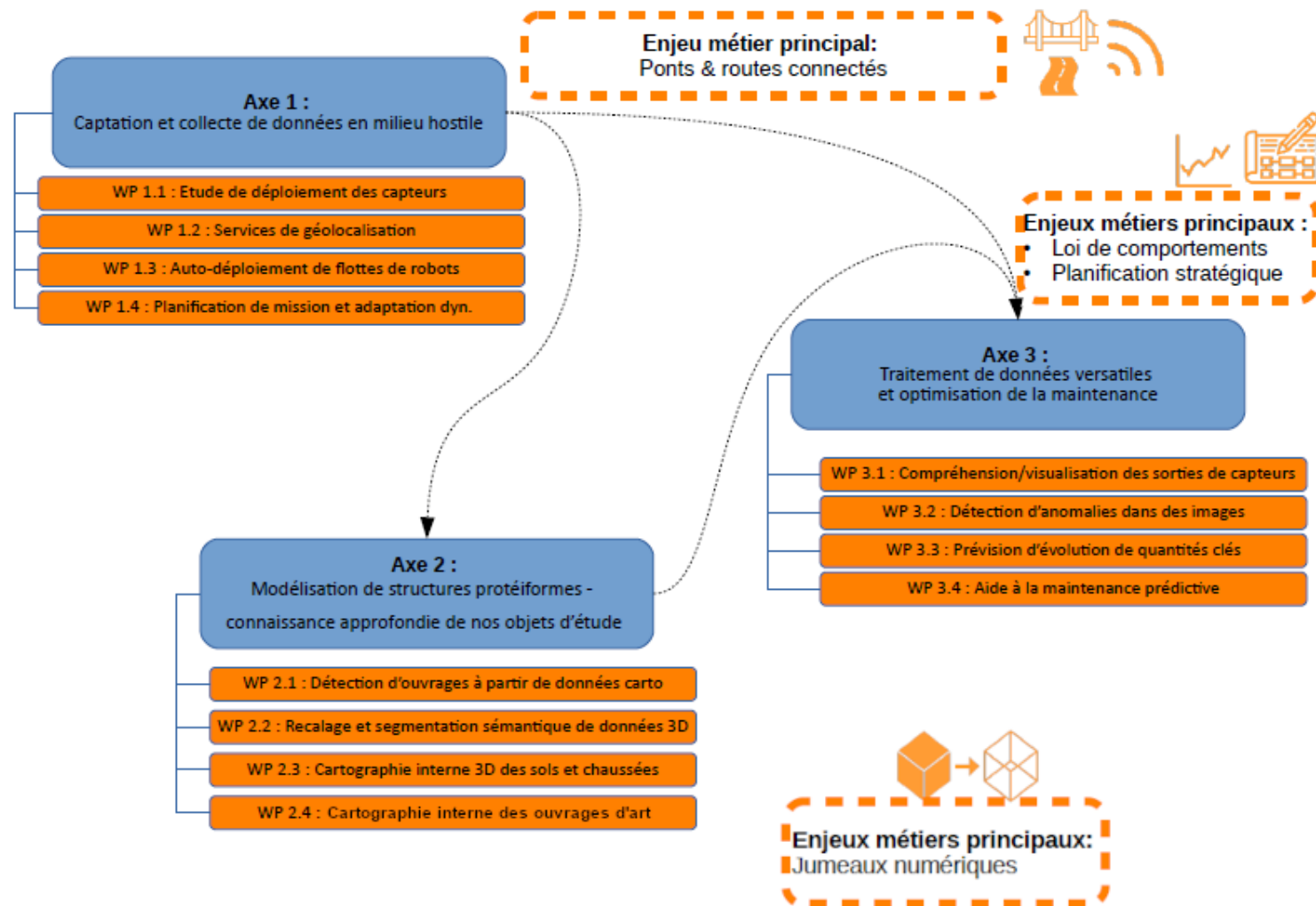
# Un gros investissement en recherche (et en ingénierie)

- **5 ans (2021-2025)**
- **6 thèses** : 1 financée par Inria, 3 par le Cerema (dont une par l'Institut Carnot Clim'adapt), 2 par BPI (projet SIRCAPASS avec la société Silmach)
- **2 post-docs de 18 mois** financés par Inria (1 non recruté...)
- **2 ingénieurs de deux ans chacun** un financé par Inria un par le Cerema + **1 poste d'ingénieur de la durée de 6 mois** financé par le Cerema (Institut Carnot Clim'adapt) en début de défi
- **Du budget de fonctionnement des deux tutelles**

- Inria: ACCENTAURI, COATI, DATAVERS (ex-MODAL), I4S†, STATIFY, TITANE
- Cerema: DTec ITM, DTer Est/SO, ENDSUM
- External: Silmach company† (<https://www.silmach.com>)

† *Partners added during the project*

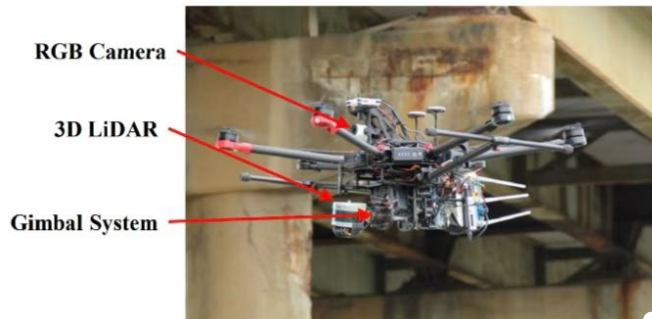
# Structuration en 3 axes



## Zoom sur axe 1 : Localisation précise de drones pour l'inspection d'ouvrages en proche paroi

Thèse de Diego Navarro (2021-2024)  
ENDSUM/Cerema, ACENTAURI&FUN/Inria

### CONSTAT ET OBJECTIFS



*Detection de défauts  
[Yan et al. 2021]*

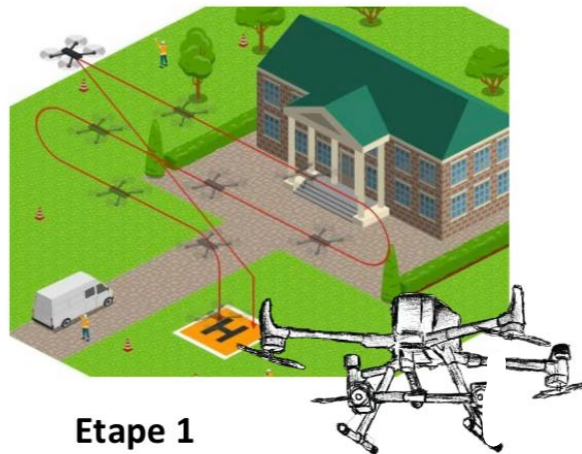


*Radar embarqué sur drone pour  
l'inspection de parois verticales  
[Esposito et al. 2023]*

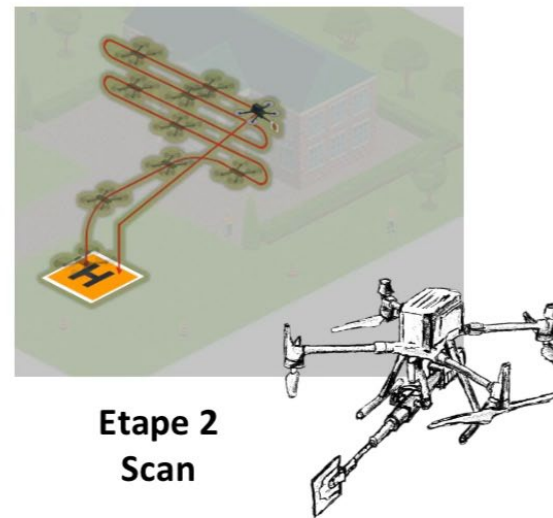


## Zoom sur axe 1 : Localisation précise de drones pour l'inspection d'ouvrages en proche paroi

### SOLUTION PROPOSÉE



**Etape 1**  
**Cartographie**



**Etape 2**  
**Scan**

#### Résultats principaux :

- Conception d'un logiciel complet permettant l'implémentation des deux phases
- Précision similaire au GPS RTK à 2 m de la structure

## Zoom sur axe 1 : Localisation précise de drones pour l'inspection d'ouvrages en proche paroi

### IMPACTS DE LA THESE

- Ouvre la voie à l'autonomie des drones pour l'inspection, indépendamment du GPS
- Surveillance des routes, ponts et bâtiments, tunnels → réduction drastique des coûts et amélioration de la durée de vie des infrastructures publiques.
- **Logistique urbaine** : Livraison autonome en zones denses (parcs, rues étroites)
- **Cartographie 3D urbaine et jumeau numérique** : Modèles détaillés de villes
- **Résilience et robustesse** : Navigation en condition de GPS brouillé (conflits, gestion de crise)

**Financement d'une année de prématuration (Sci-Ty) pour la création d'une startup  
(Dépôt du code, optimisation)**



## Zoom sur axe 1 : Localisation précise de drones pour l'inspection d'ouvrages en proche paroi

### PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES

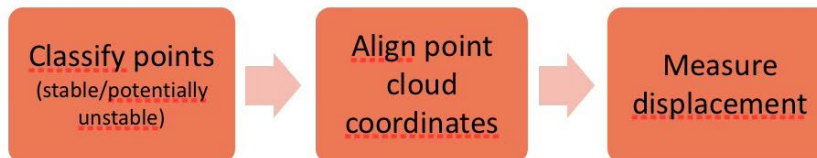
- Fusion multi-capteurs pour rendre le système plus robuste
- Implémentation du radar sur le drone et test de localisation de la mesure
- Conception d'un système à deux drones + radar pour la réalisation de tomographies radar (pile de ponts...)
- Recalage géométrique de ces données dans un environnement de type Ceremap 3D
- Faisabilité en exploration de zones intérieures (cavités, tunnels,...)
- Utilisation de cet outil en gestion de crise (véhicule de l'Inria)

## Zoom sur axe 2 : Relevé de nuages de points 3D pour le suivi des mouvements de terrain ou chutes de blocs

Postdoctorat de Roberto Dyke  
(GEOCODE/Cerema, TITANE/Inria)

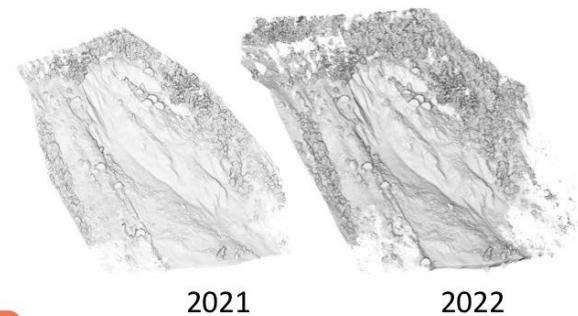
- **Aim:** monitor cliff walls and rocky slopes for the precursors of rockfalls and large mass movements using periodic LiDAR scans.

- **Pipeline:**

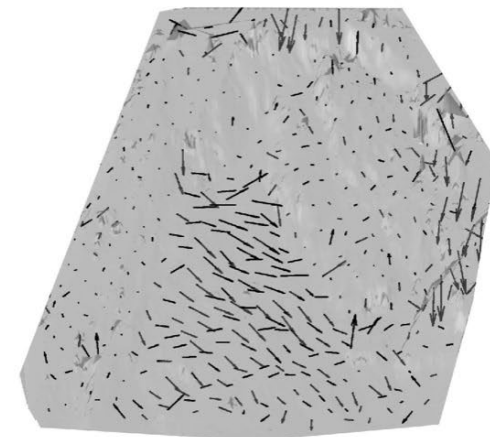


- **Challenges:**
- Measure displacements  $< 1\text{cm}$
- Global coordinates differ between point clouds
- Presence of unreliable geometry (e.g., vegetation, unstable debris) that may negatively contribute to the registration

Input point clouds



Displacement vector field

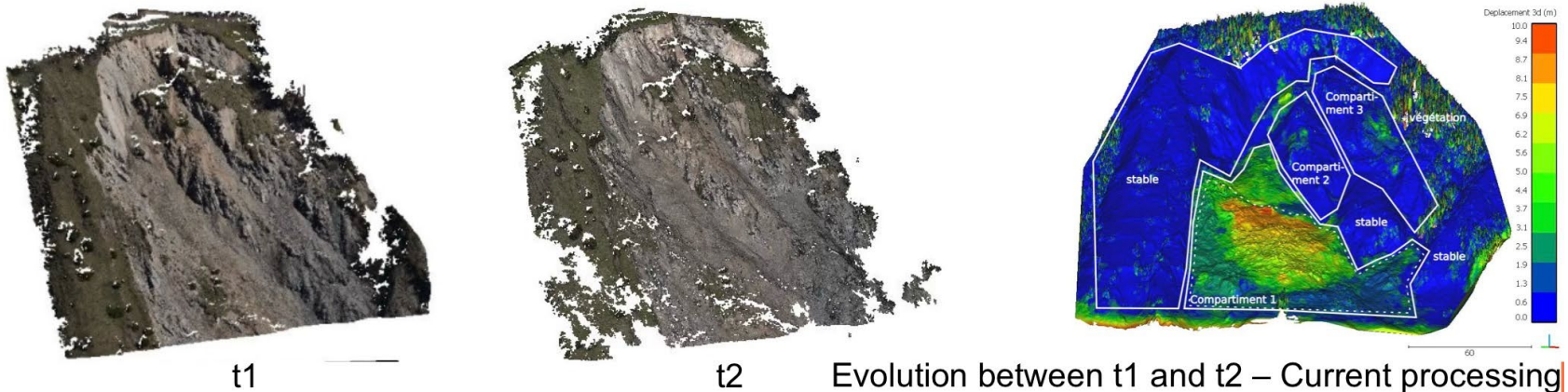


## Zoom sur axe 2 : Relevé de nuages de points 3D pour le suivi des mouvements de terrain ou chutes de blocs

Expected results for the study of gravity hazards (slopes, cliffs, unstable slopes) that can threaten infrastructures and structures:

- Progress on the registration of a series of point clouds (more automatic than current methods and without pre-alignment)
- New methods of change detection and quantification (powered by semantic segmentation)

Chambon landslide

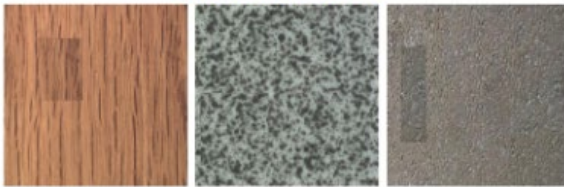


# Zoom sur axe 3 : Détection d'anomalies pour l'auscultation des ouvrages à grand rendement à parties de données faiblement ou non annotées

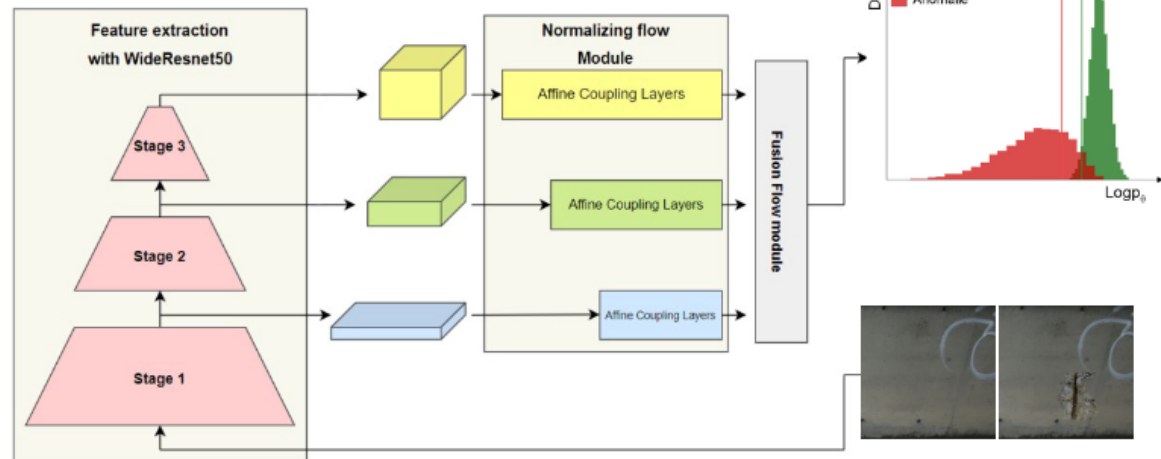
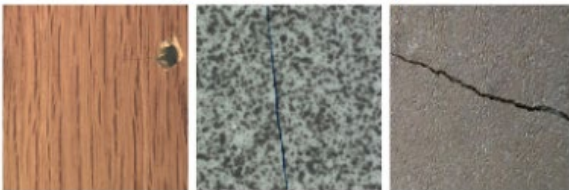
thèse de Brice Marc (2023-2026)  
ENDSUM/Cerema STATIFY/Inria

Méthode avec deux types d'anomalies synthétiques :

**Anomalies CutPaste**  
(Li et al., 2021)



**Anomalies par Interpolation de Poisson**  
(Pérez et al., 2003)



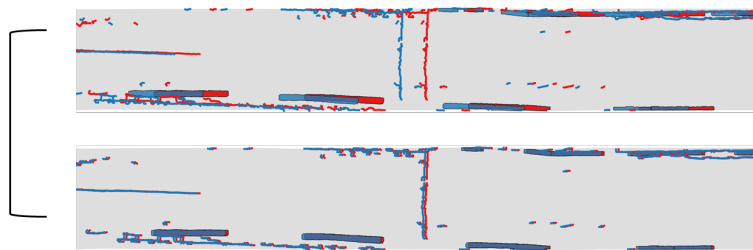
Les Normalizing Flows se sont démarqués des autres méthodes sur les images d'ouvrages d'art



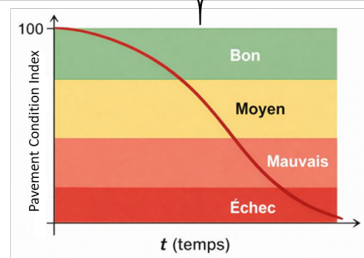
# Thèse « bonus n°1 » : Etablissement de lois d'évolution et/ou survie du réseau routier secondaire à partir de relevés périodiques d'images de surface de chaussées

Thèse de Zakariae Moutaouakil (2024-2027)  
ENDSUM/Cerema, I4S/Inria-UGE

Partie 1:  
Recalage



Partie 2:  
Loi  
d'évolution



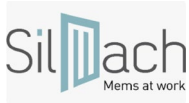
Appareil Aigle3D du Cerema équipé de deux LCMS

Segmentation guidée (travaux Arthur Kittler)



- Recalage inter-annuel des données
- Modélisation spatio-temporelle
- Modélisation de l'évolution temporelle (modèles physiques vs. modèles ML)

# Thèse « bonus n°2 » : Traitement statistique des «Low data» issus de capteurs passifs



**Thèse de Mustapha Atmani (2024-2027)**  
**ENDSUM/Cerema, DATAVERS/Inria**

## DÉTECTION ET COMPTAGE

CHOC/ACCELERATION

CHARGEMENT MÉCANIQUE

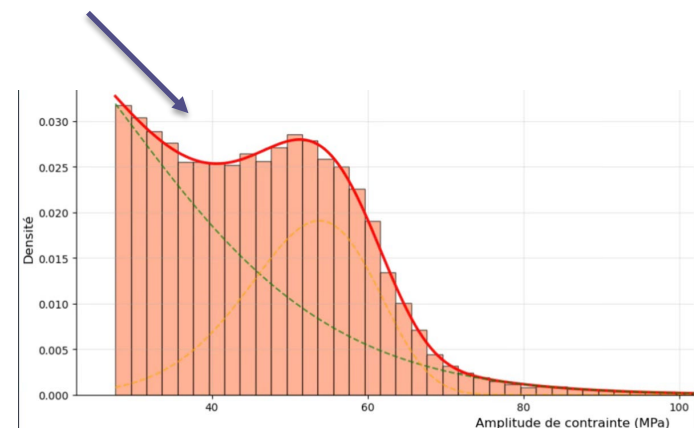


COMPTAGE DE CYCLES

ONESHOT (DÉPASSEMENT DE SEUIL)

$$D = n \int_{\Delta\sigma_L}^{\infty} \frac{f(x; \theta)}{N(x)} dx$$

- Capteurs de la société Silmach, données réelles d'OA
- Verrou : données faiblement informatives
- Problématiques :
  - Capacité à produire une estimation effective de la durée de vie d'un OA
  - Comparaison de la qualité de ces estimateurs avec ceux issus de capteurs traditionnels
  - Calibration optimale des capteurs passifs (niveau conception) pour minimiser cet écart de qualité et donc aider à proposer des capteurs passifs optimaux
- Piste principale : considérer les données continues sous-jacentes (inconnues) comme tronquées/ censurées





## Perspectives

- **Fin de ROAD-AI (principe des Défis Inria)**
- **Finalisation des thèses en cours**
- **Partenariats recherche effectifs Cerema-Inria**

# Merci de votre attention

**C. Biernacki**

Inria

[christophe.biernacki@inria.fr](mailto:christophe.biernacki@inria.fr)

**A. Hebting**

Cerema

[alain.hebting@cerema.fr](mailto:alain.hebting@cerema.fr)