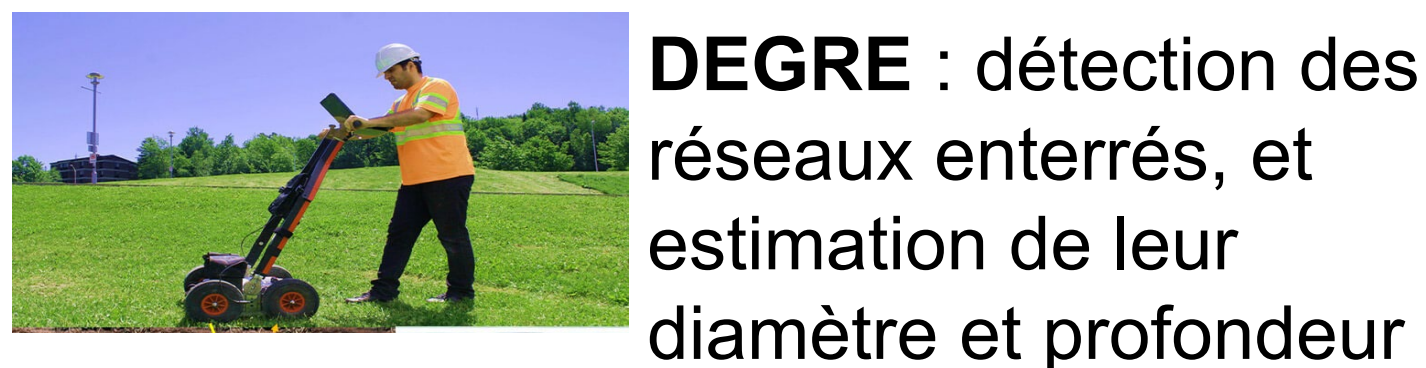


# Analyse de données GPR (Ground Penetrating Radar) par machine learning : trois projets sur les infrastructures de transports

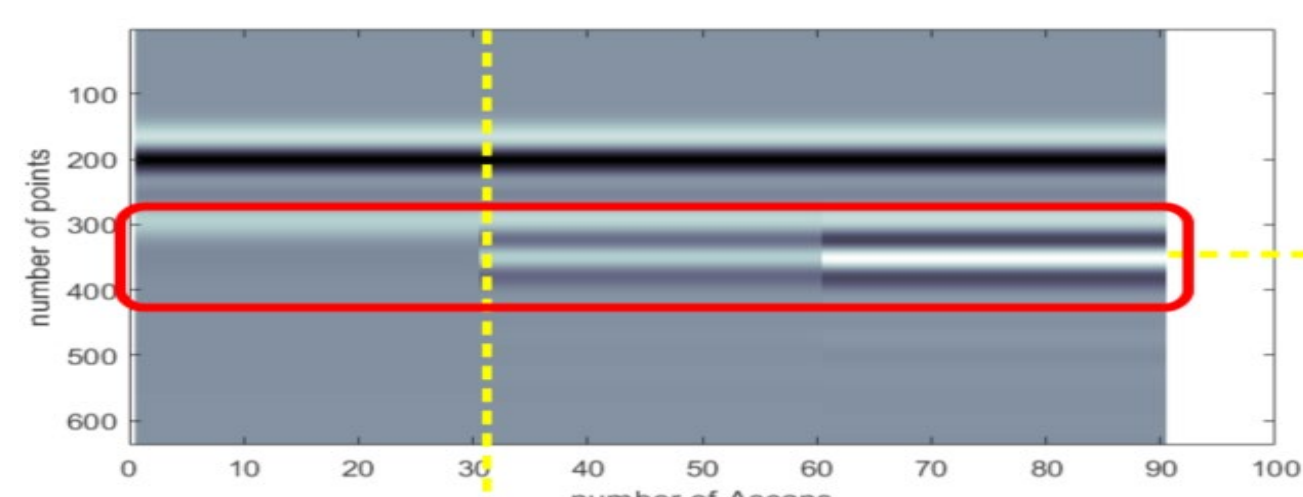
Grégory Andreoli, Philippe Foucher, David Guilbert, Cyrille Fauchard, Christophe Heinkelé, Rakeeb Jaufer  
Équipe de recherche ENDSUM, Cerema

## Introduction

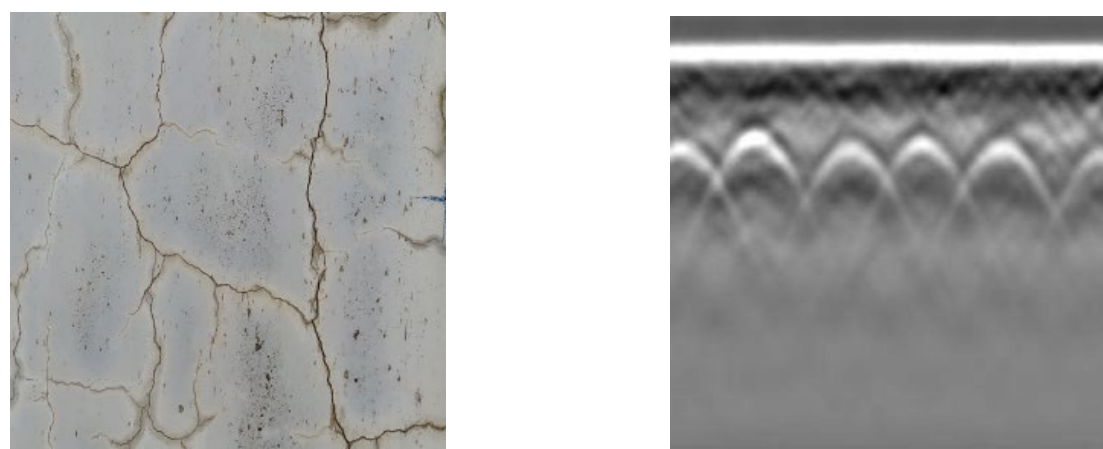
- GPR → Radar : visualisation en sub-surface d'une structure sous forme d'images (B-Scans)
- Apprentissage automatique
- Financements FEREC



**DEGRE** : détection des réseaux enterrés, et estimation de leur diamètre et profondeur



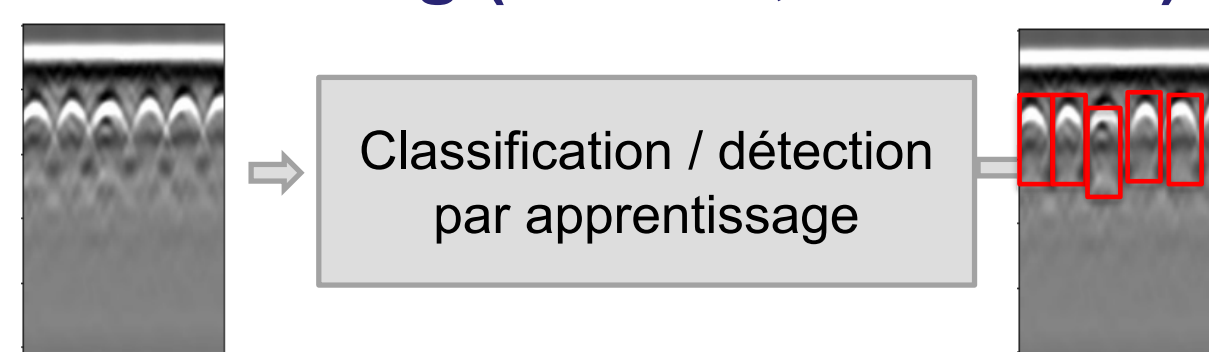
**SmartTCscan** : détection et estimation de l'épaisseur d'une couche d'accrochage



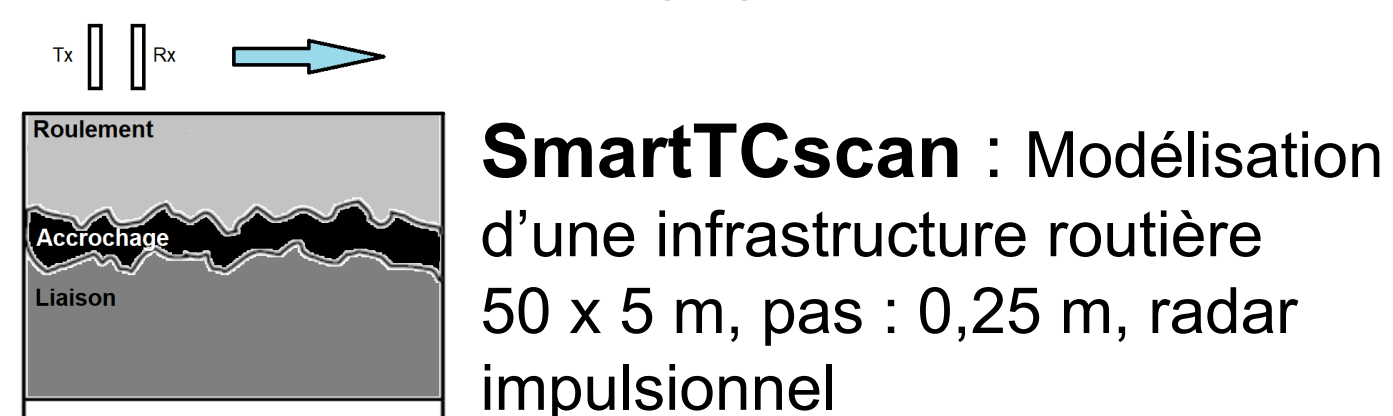
**ADOUCIR** : Classification binaire d'images de ponts en sain / défaut à partir d'images et GPR. Segmentation d'images GPR

## Méthodologie

- SVM (SmartTCscan), deep learning (DEGRE, ADOUCIR)



- Bases de données
  - Simulation (GPRmax)
  - Vérité-terrain (VT) directe

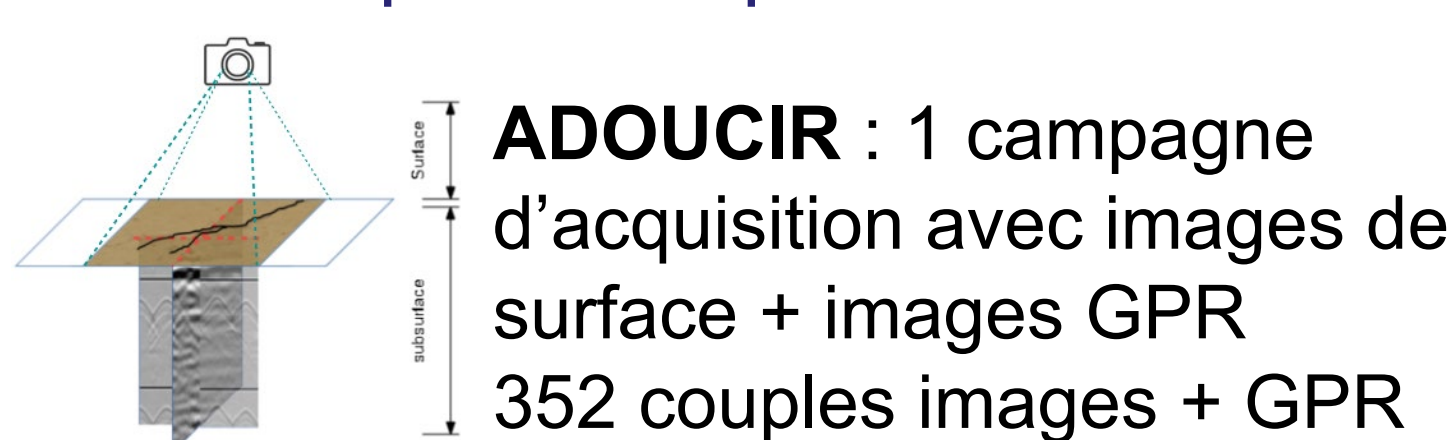


**SmartTCscan** : Modélisation d'une infrastructure routière 50 x 5 m, pas : 0,25 m, radar impulsif

**DEGRE** : 3 types de réseaux (métal, PVC avec eau ou air) 200 B-scans pour apprentissage 100 B-scans pour test

- Images réelles

Expertise métier pour VT



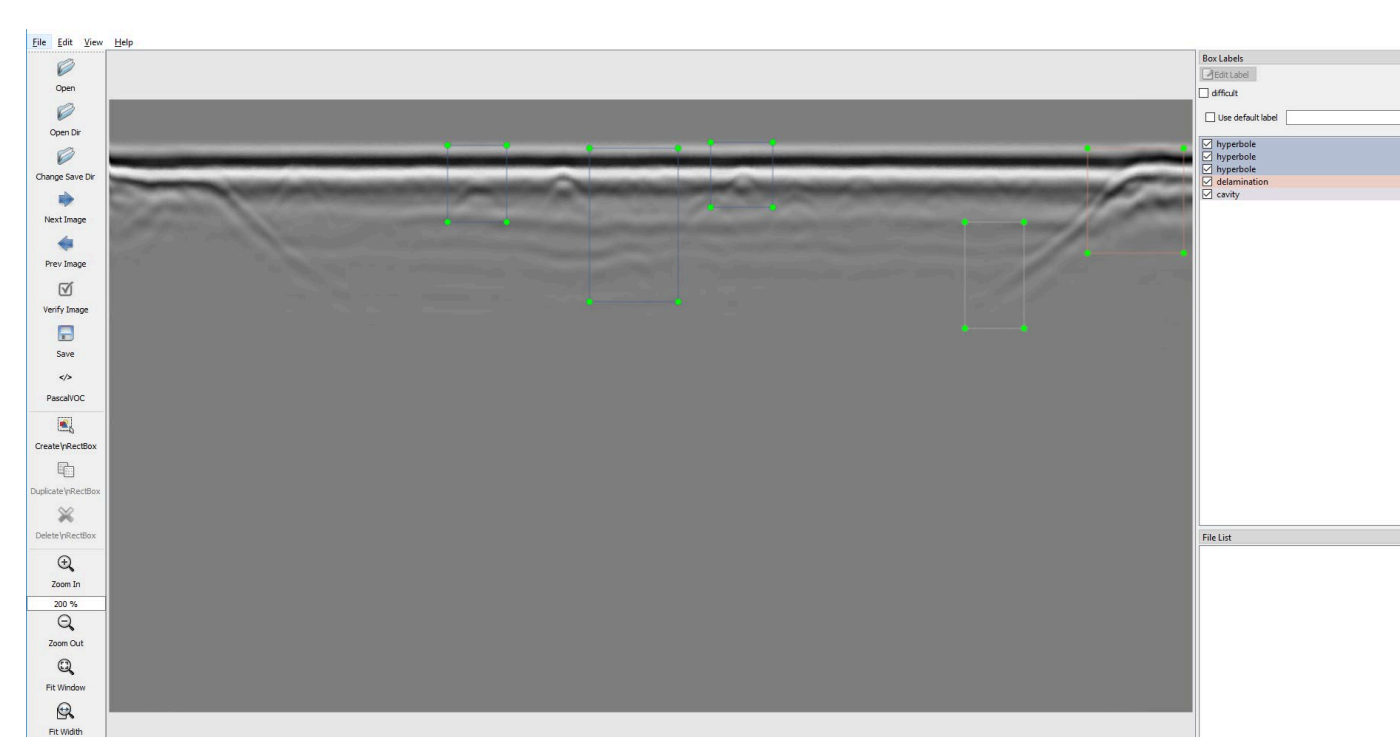
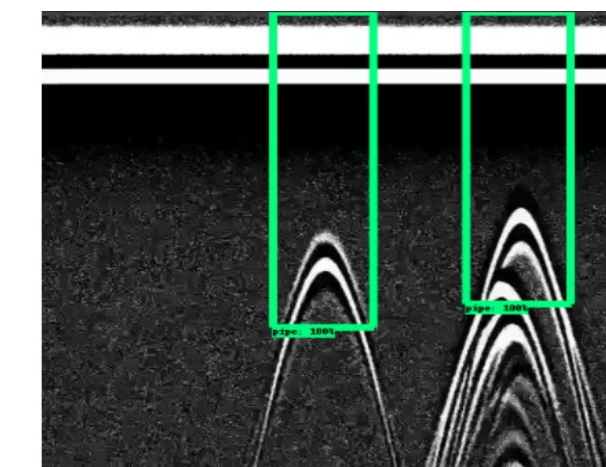
**ADOUCIR** : 1 campagne d'acquisition avec images de surface + images GPR 352 couples images + GPR

## Résultats

### DEGRE

- Très bonnes performances en simulation
- Méthodes de Classification (diamètre des réseaux) et Régression (profondeur des réseaux)

	Vrai Positifs	Faux négatifs	Faux Positifs	Précision	Rappel
Scénario 1	270	2	8	97,1 %	99,2 %
Scénario 2	262	10	3	98,1 %	95,8 %

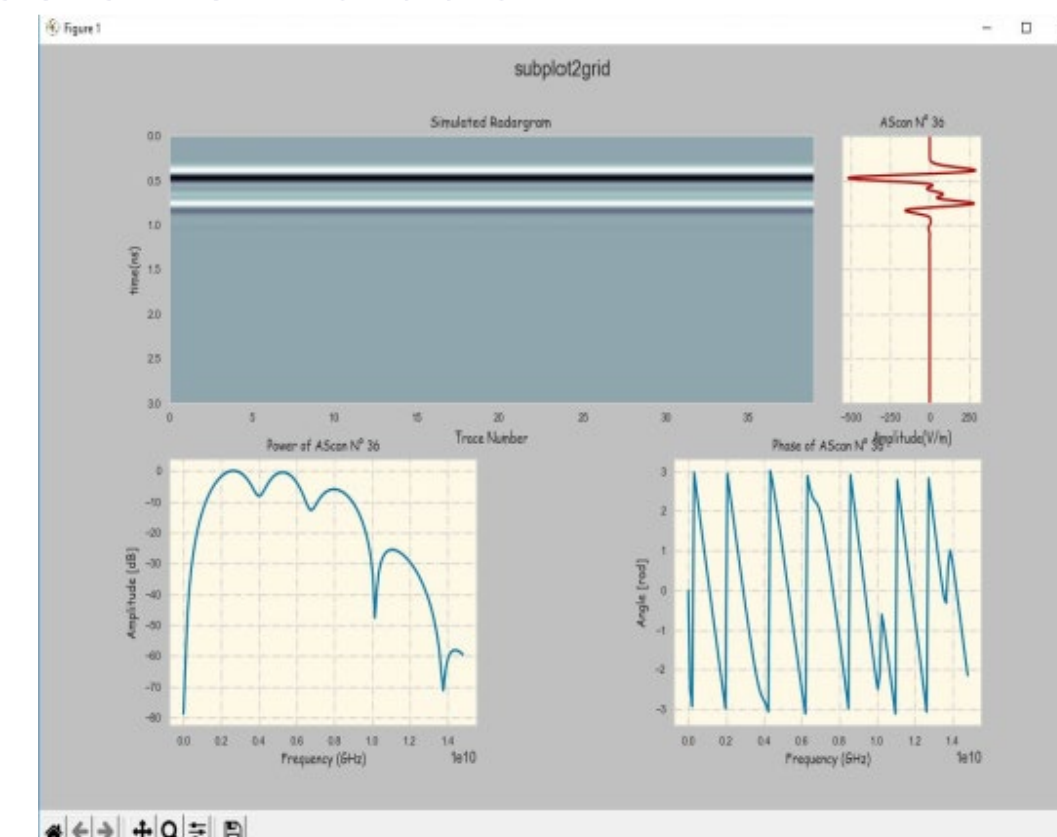


Interface de labellisation

### SmartTCSCAN

- Très bonnes performances en simulation
- 4 Classes d'épaisseur

TP 99,83 %	FP 0,17 %
FN 0,31 %	TN 99,69 %



- Estimation de l'épaisseur
- Logiciel de visualisation et génération de données

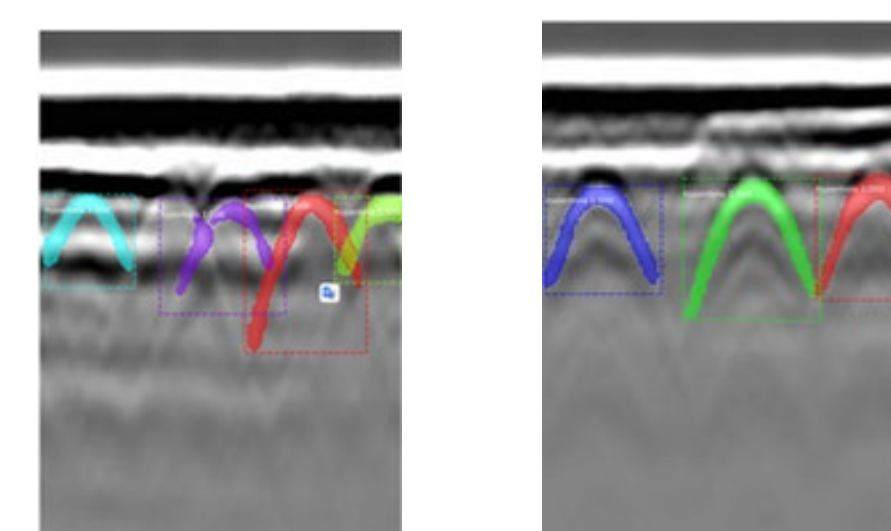
### ADOUCIR

Intérêt de coupler images + GPR pour la classification binaire de zones de parois de ponts

	Mono-input (pas de fusion)		Dual-input (fusion)
	images GPR	Images visibles	Images GPR + visibles
Taux de bonnes Classifications	25/50	38/50	47/50

- Méthodes de segmentation d'instances d'hyperboles
- Mesure automatique de l'écartement entre armatures

	Résultats
VP	141
FP	1
FN	18



## Conclusions

### BILAN

- Bons résultats des outils de machine learning appliqués à des besoins sur les infrastructures
- Moyens de calcul pour apprendre
- Images annotées
  - Intérêt de la simulation
  - Évaluation sur images réelles

### PERSPECTIVES

- Construction de bases de données = enjeu important en machine learning
  - Mesures *in situ*
  - Moyens de recueil
  - Expertise indispensable



- Lien entre data science et propriétés physiques
- Poursuite du projet SmartTCscan : thèse G. Andreoli
- Poursuite du projet DEGRE : projet ANR
- Poursuite du projet ADOUCIR : thèse proposée en 2021

## Références scientifiques

Todkar, S. S., Le Bastard, C., Baltazart, V., Ihamouten, A., & Dérobert, X. (2019). Performance assessment of SVM-based classification techniques for the detection of artificial debondings within pavement structures from stepped-frequency A-scan radar data., NDT & E International, 107, 102128.

Kaiming He, Georgia Gkioxari, Piotr Dollar and Ross Girshick, Mask R-CNN, Proceedings of the IEEE international conference on computer vision, 2017, pp. 2961-2969.

Giannakis, I., Giannopoulos, A., & Warren, C., 2021. A machine learning scheme for estimating the diameter of reinforcing bars using ground penetrating radar, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 18(3), 461-465.

## Remerciements



- À la Fondation FEREC pour l'aide financière apportée pour les 3 projets
- À tous les stagiaires (Amine, Camille, Makhtar, Nasr, Tarun Teja, Youssef) pour leur travail, leur investissement et leur bonne humeur pour mener ces projets

## Contacts

**DEGRE** :  
David.Guilbert@cerema.fr  
rakeeb.jaufer@cerema.fr  
Christophe.Heinkele@cerema.fr

**SmartTCscan** :  
gregory.andreoli@cerema.fr

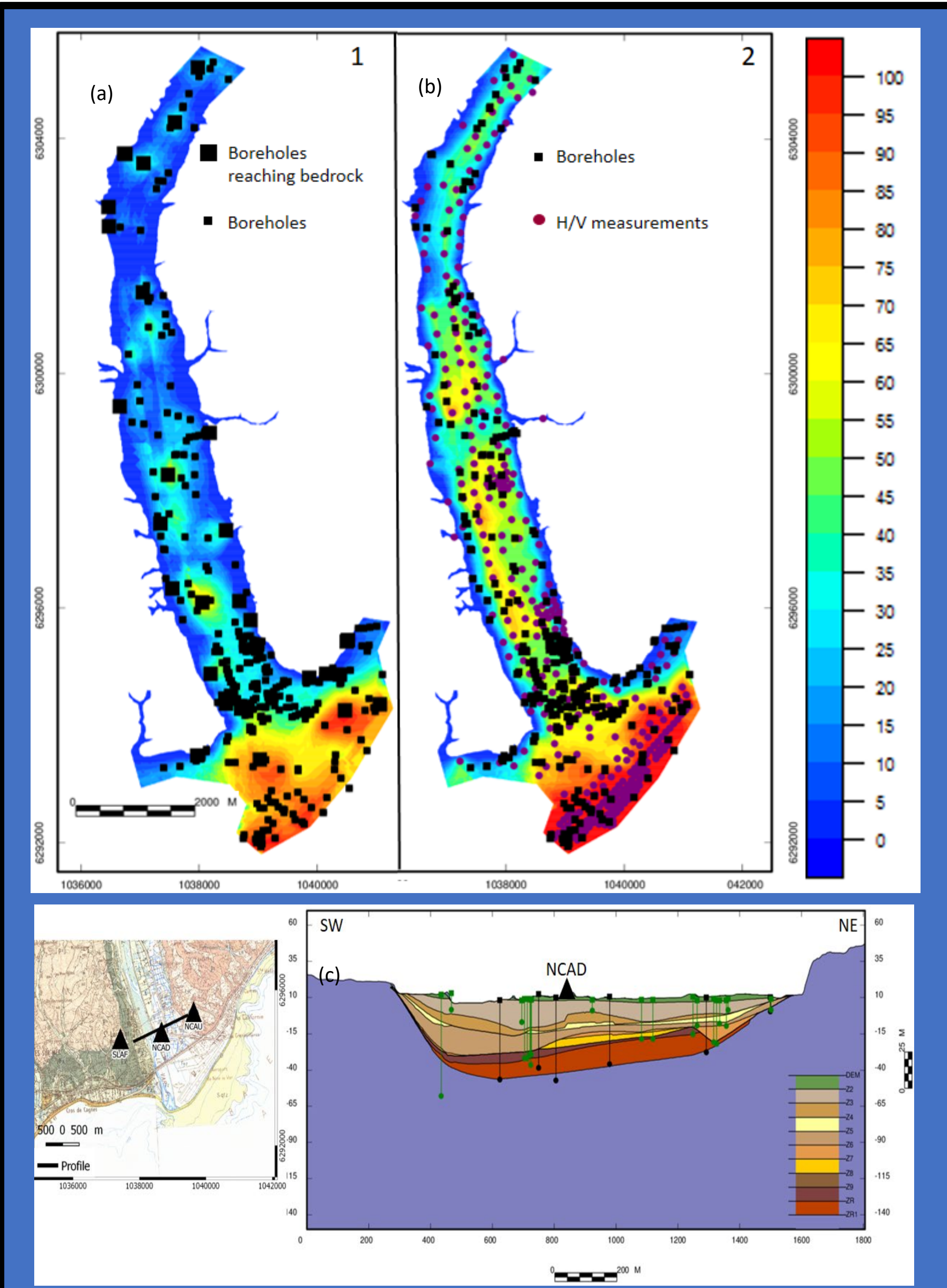
**ADOUCIR** :  
Philippe.Foucher@cerema.fr  
Cyrille.Fauchard@cerema.fr

# REPSODY : la basse vallée du Var, le laboratoire naturel pour l'étude du risque sismique

Équipe de recherche REPSODY, Cerema

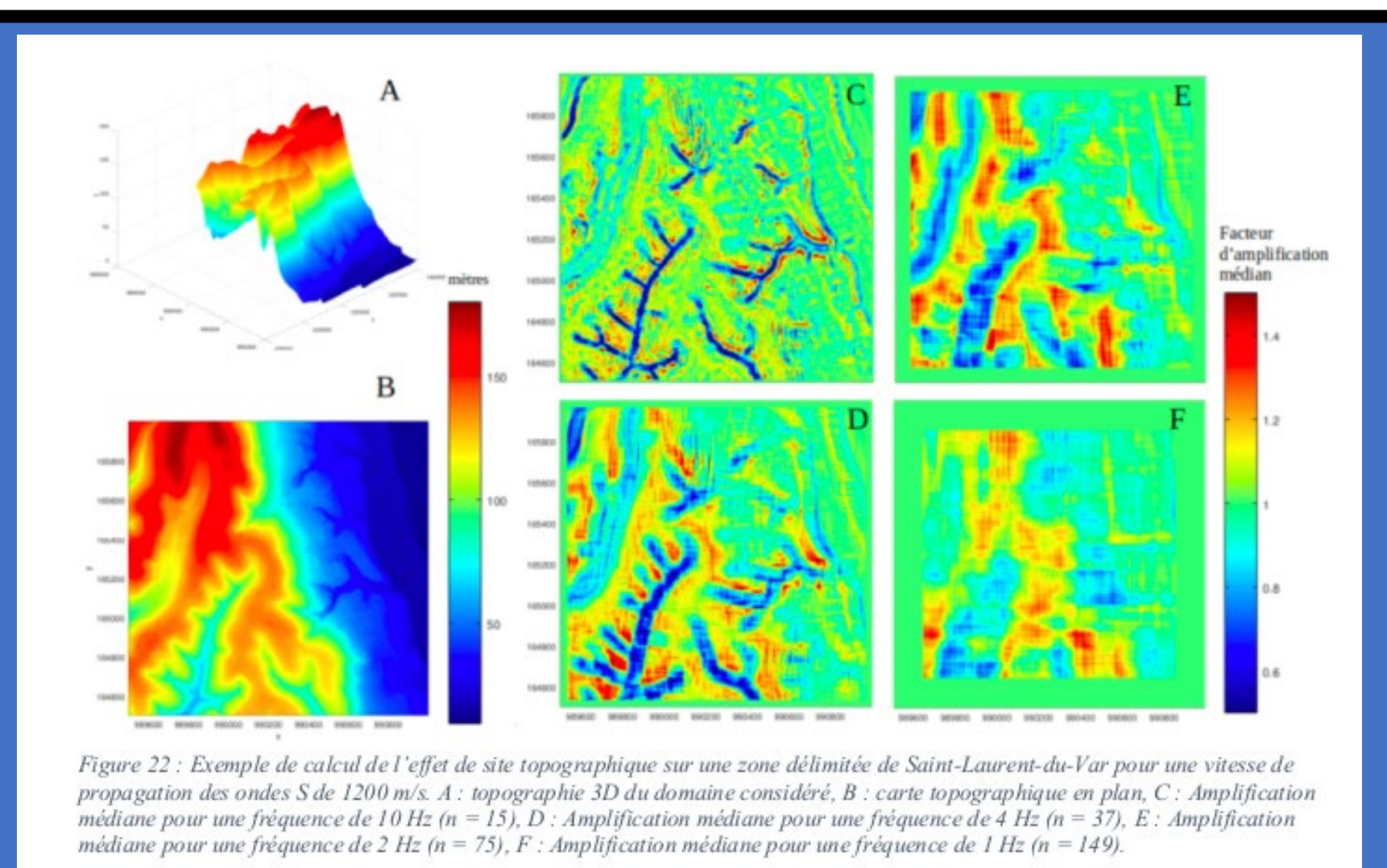
Participation au projet Ritmica  
(Risques Telluriques Multiples Intégrés sur la Côte d'Azur)  
Idex UCA Jedi 2017-2021

Modèle 3D géotechnique de la vallée du Var



Analyse combinée de données géophysiques, géotechniques. Cartes de profondeurs de sédiments dans la basse vallée du Var issue des informations de forage (a) ou issue de l'inversion courbes H/V obtenues par mesures de vibrations ambiantes. (c) coupe du modèle de sol complexe incluant la définition de la profondeur des horizons lithologiques. (O. Rohmer et al 2020).

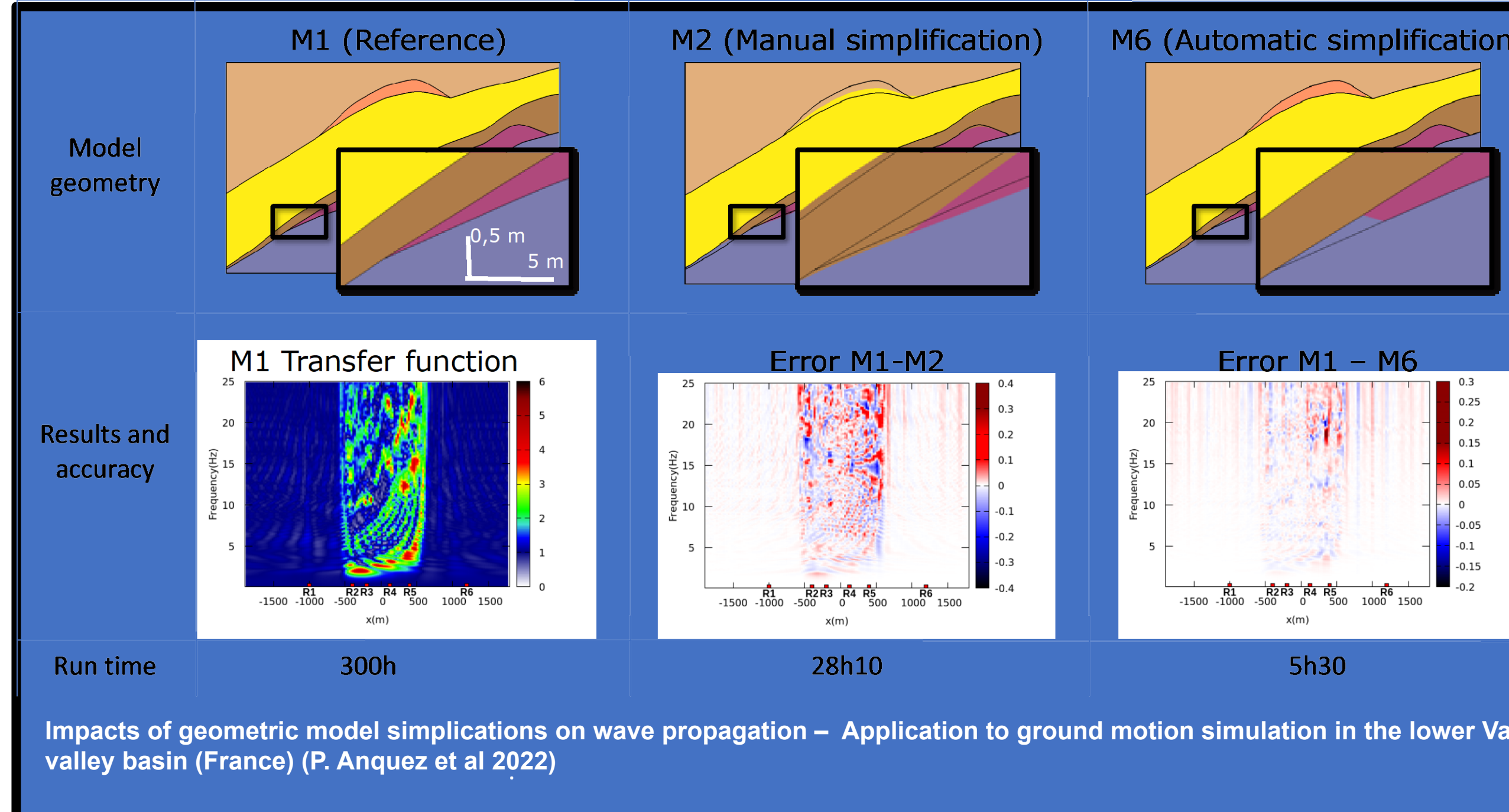
Méthode rapide d'estimation de l'amplification topographique



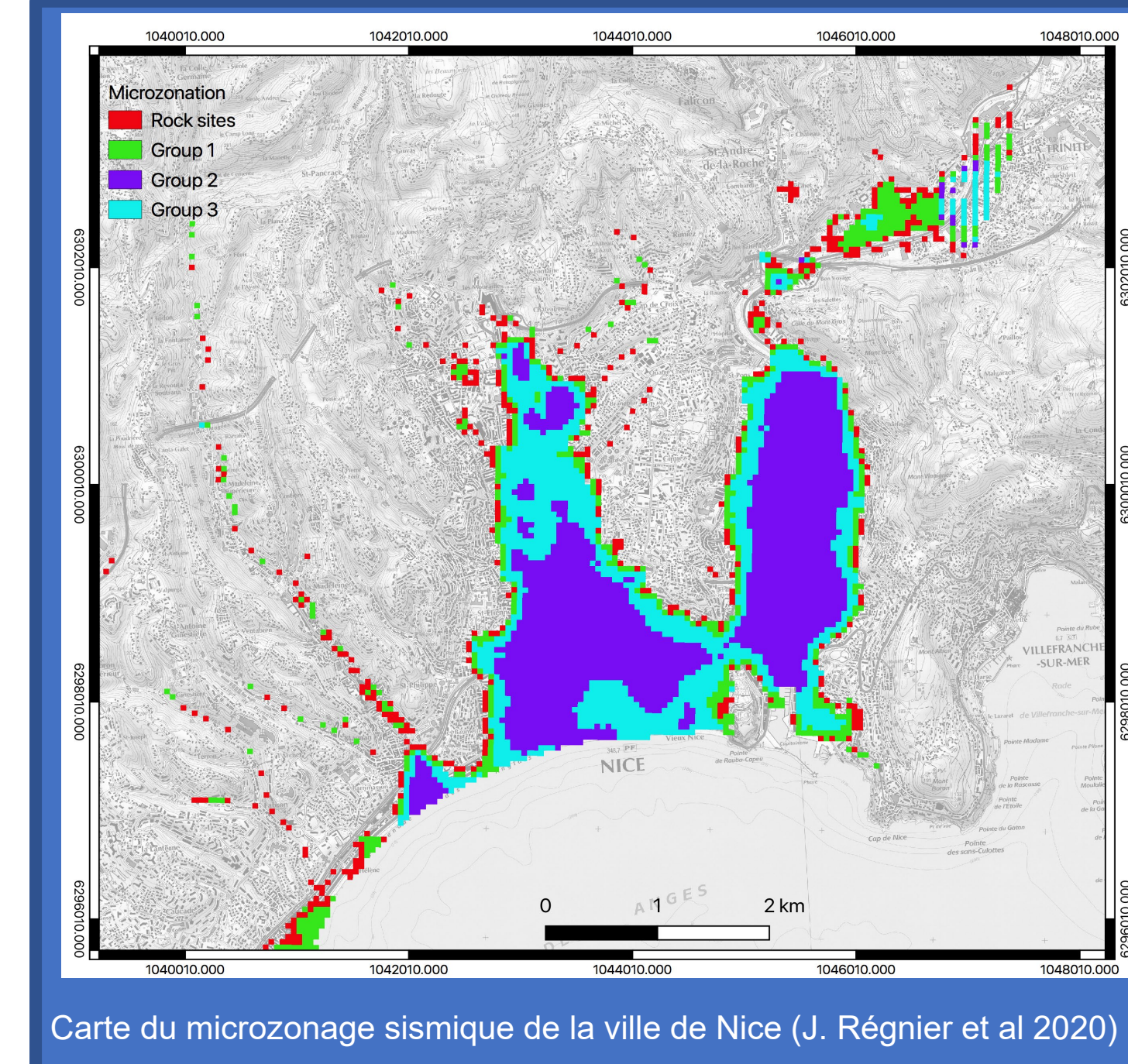
Méthode FSC (Frequency-Scaled Curvature, *Maufray et al. 2012, 2015, 2018*)  
Nécessite peu de données : MNT (courbure), lissage de la courbure selon la longueur d'onde  
Fournit un coefficient moyen d'amplification en fonction de la fréquence  
Application à Saint-Laurent du Var (Etudes préalables au PPR volet sismique, stage de Lucile Dodier, 2019)

Poursuite des travaux de recherche sur la méthode FSC  
→ Projet RAP Efftop 2019-2020, stage de Léna Pellorce (site de Rognes, 2020)  
→ Stage de Mathieu Allimant (site de Menton, 2021)  
→ Projet RAP Efftop2 2021-2022  
→ Thèse Cerema-Uni. Eiffel (2021-2024) de M. Allimant : Simulations numériques et analyse d'enregistrements sismologiques pour la mise au point d'un outil d'estimation rapide de l'amplification topographique

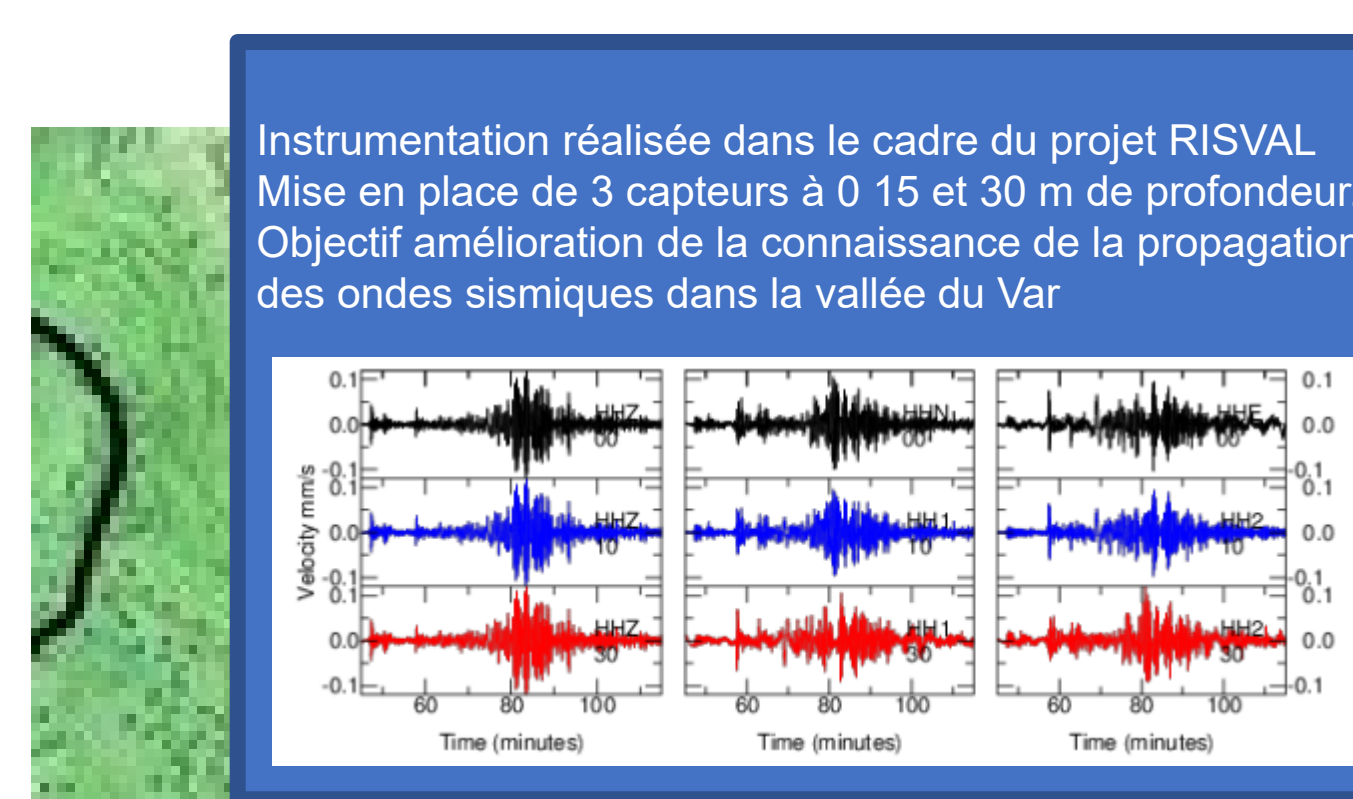
Impact de la simplification géométrique d'un modèle sur la propagation des ondes sismiques



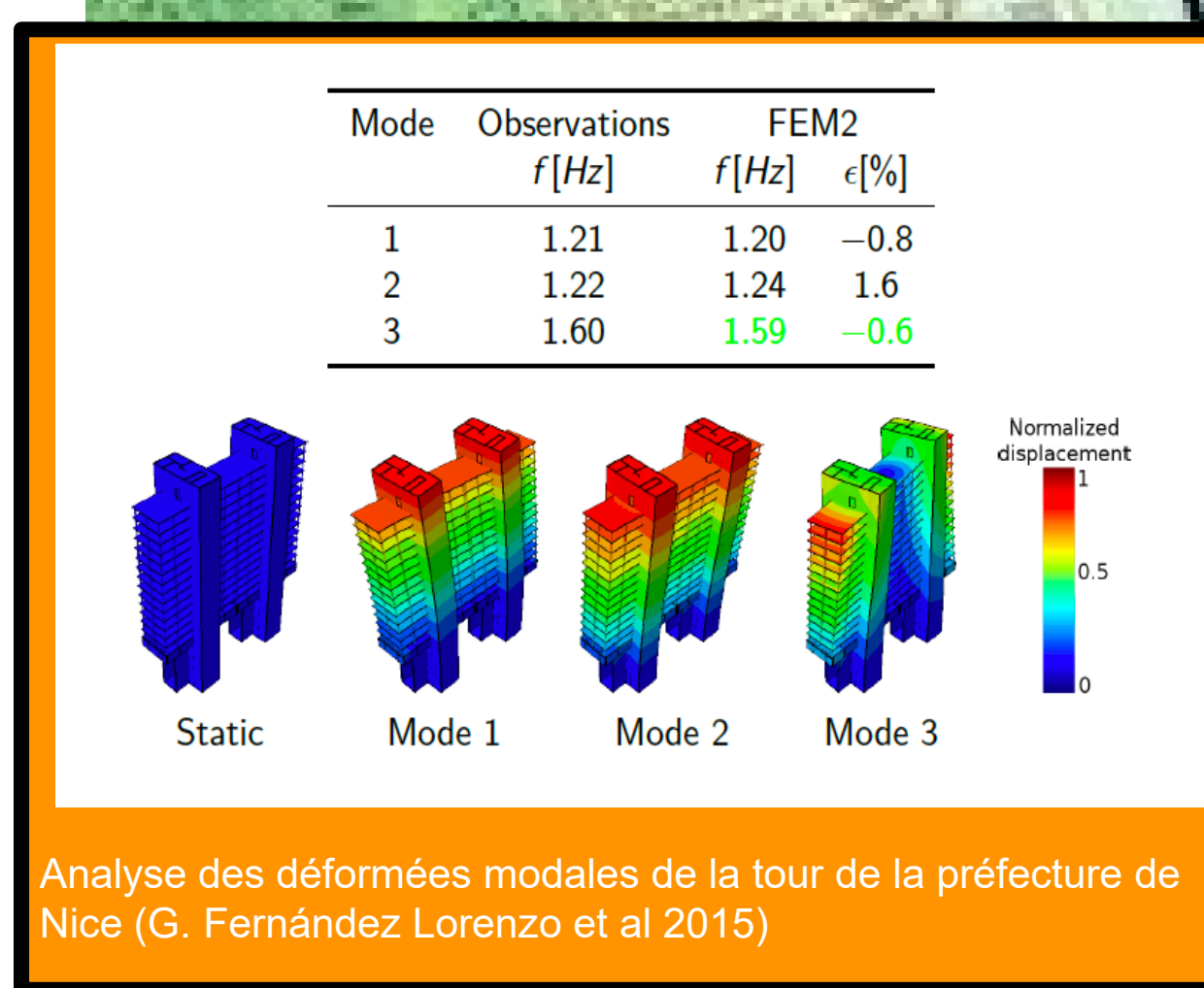
PPR sismique de Nice : méthodologie de microzonage



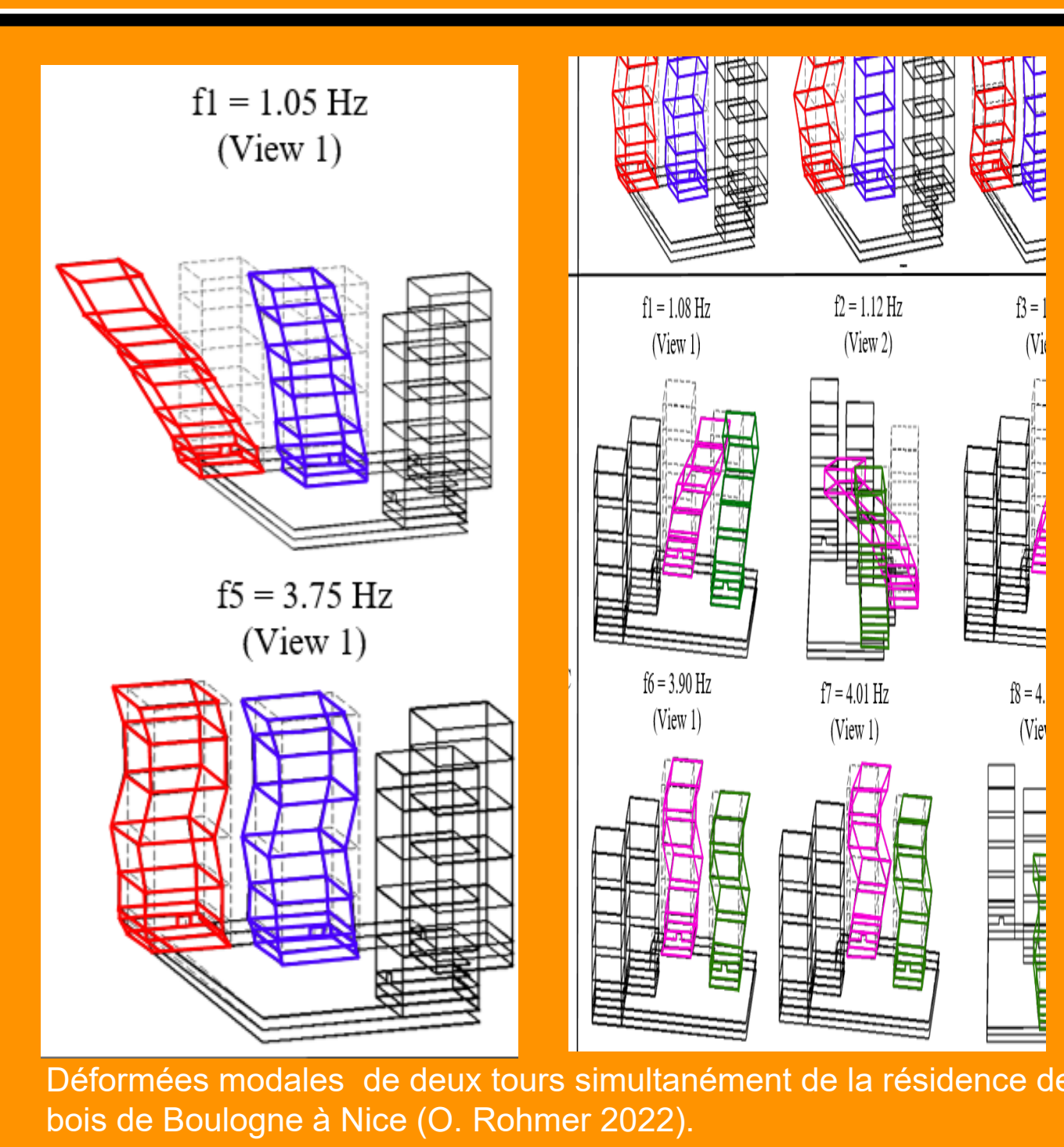
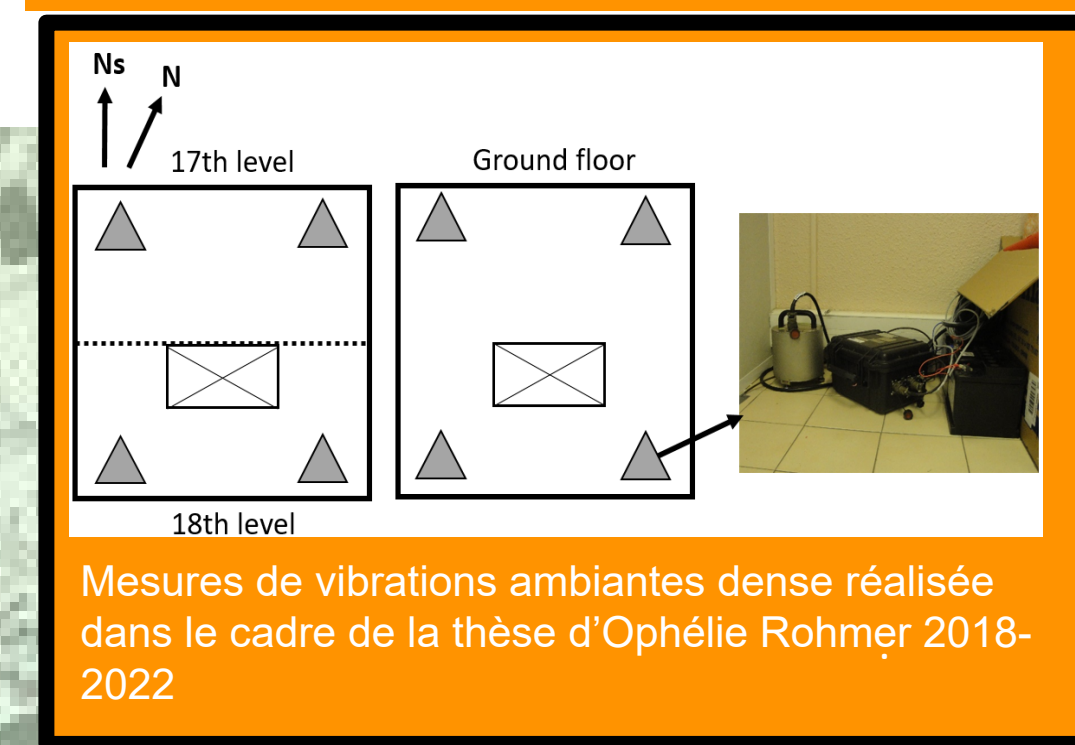
Instrumentation sismologique forage à l'IMREDD



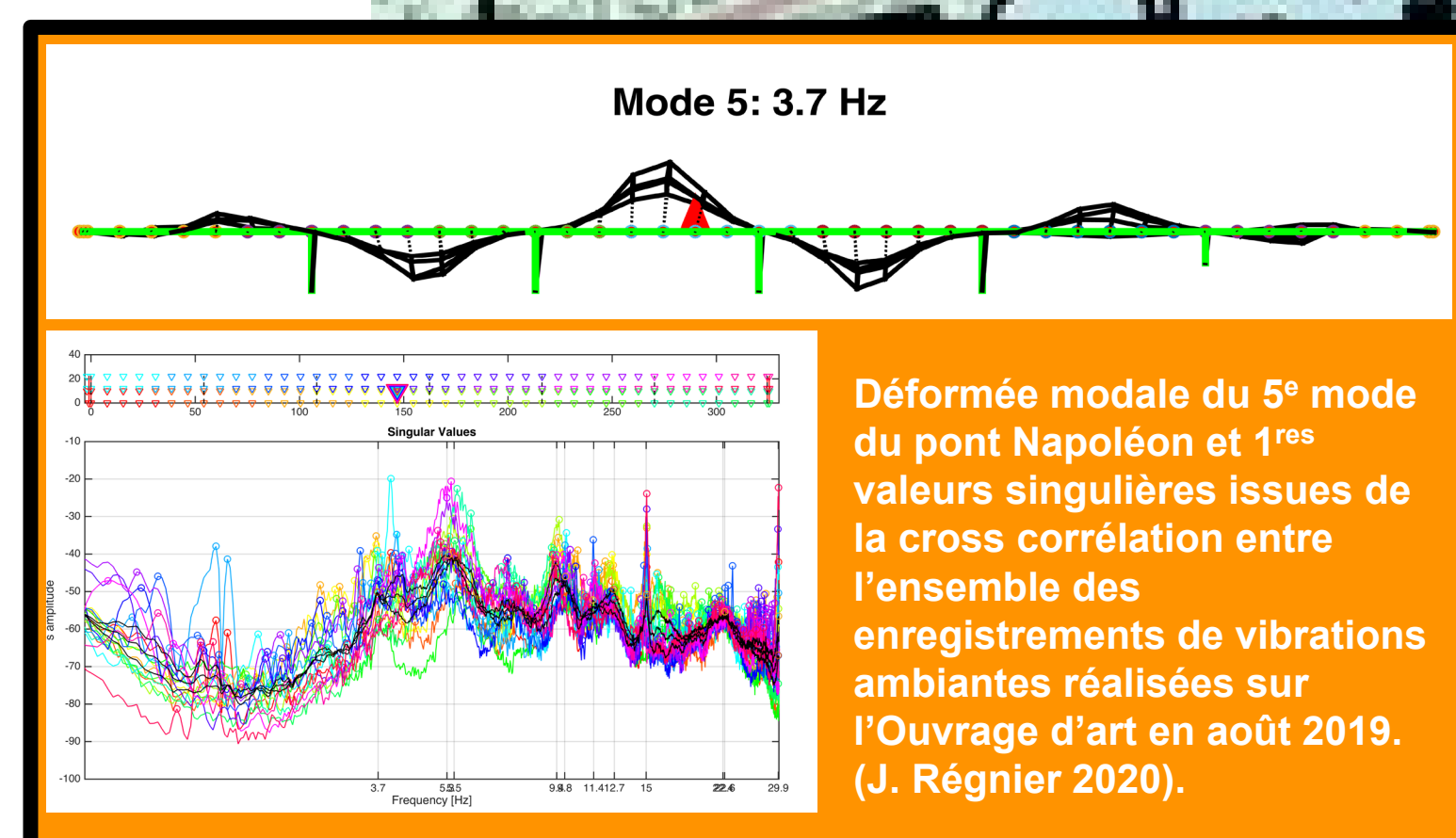
Instrumentation de la tour de la préfecture du CADAM



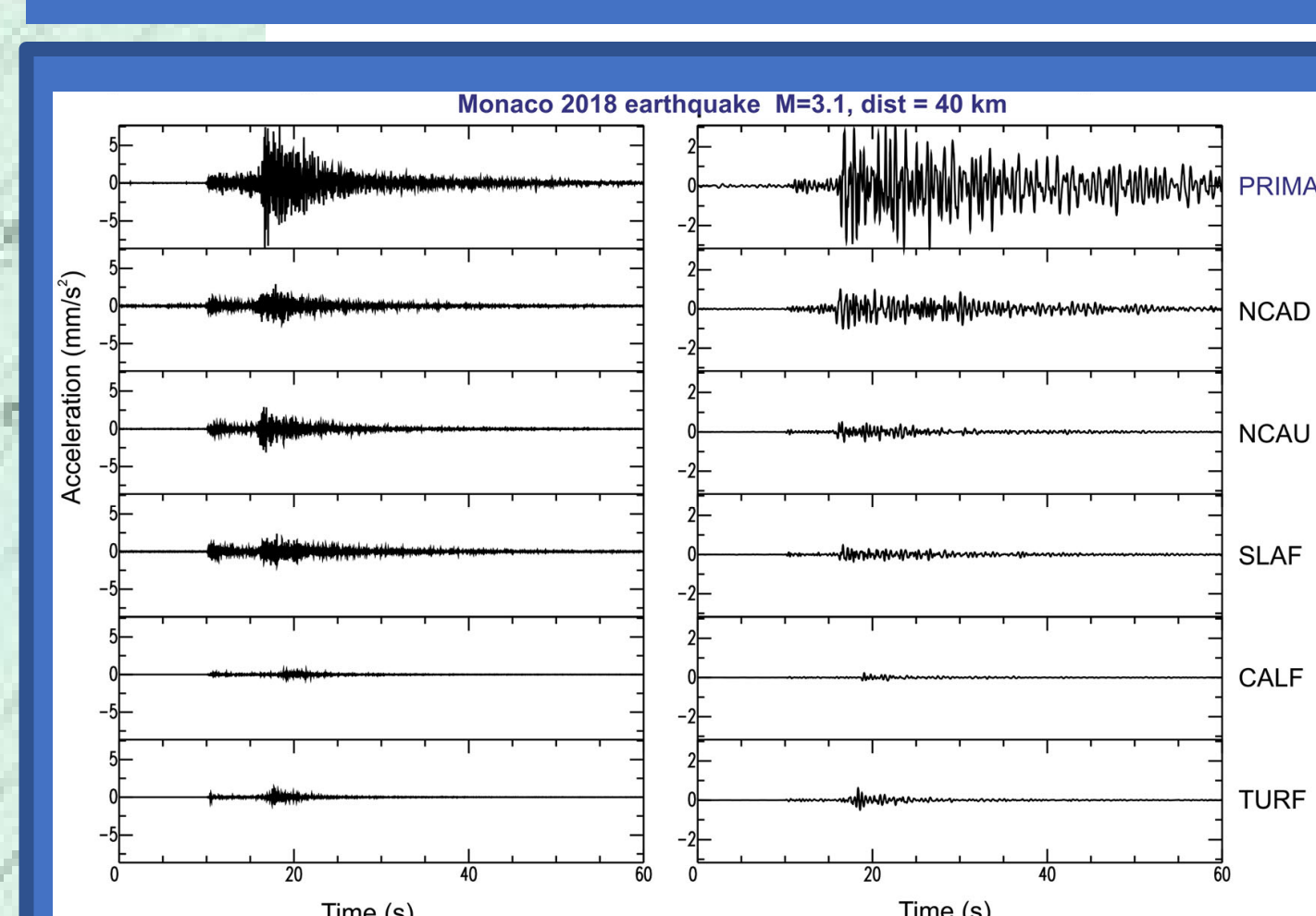
Instrumentation de bâtiments pour la caractérisation de l'Interaction-Sol-Structure



Instrumentation du pont Napoléon III à Nice



Effet de site et mouvement gravitaire sur la pente sous-marine de l'aéroport



## Références scientifiques

Anquez, P., N. Glinsky, P. Cupillard, G. Caumon. 2022. « Impacts of geometric model simplifications on wave propagation – Application to ground motion simulation in the lower Var valley basin (France) ». *Geophysical Journal International*, DOI:10.1093/gji/ggab447

Courboux, F., E. D. Mercerat, A. Deschamps, S. Migeon, M. Baques, C. Larroque, D. Rivet, et Y. Hello. 2020. « Strong Site Effect Revealed by a New Broadband Seismometer on the Continental Shelf Offshore Nice Airport (Southeastern France) ». *Pure and Applied Geophysics* 1-20.

Fernández Lorenzo, G., E. D. Mercerat, M-P. Santisi D'Avila, E. Bertrand, et A. Deschamps. 2015. « Operational Modal Analysis of a high rise RC building and modelling ». In *The 6th International Operational Modal Analysis Conference*. Gijón, Spain.

Régnier, J., E. Bertrand, et H. Cadet. 2020. « Repeatable process for seismic microzonation using 1-D site-specific response spectra assessment approaches. Application to the city of Nice, France ». *Engineering Geology* 105569.

Régnier, J.. 2020. *SISMET: Rapport d'instrumentation pont Napoléon III à Nice Campagne 2019*. Cerema.

Rohmer, O.. 2022. « Influence combinée des effets de site et du bâti sur le champ d'ondes sismiques en surface ». Thèse de l'Université Côte d'Azur (bourse Cerema).

Rohmer, O., E. Bertrand, E. D. Mercerat, J. Régnier, M. Pernoud, P. Langlaude, et M. Alvarez. 2020. « Combining borehole log-stratigraphies and ambient vibration data to build a 3D Model of the Lower Var Valley, Nice (France) ». *Engineering Geology* 105588.

Pour plus d'informations  
<https://www.cerema.fr/repsody>

# Potentiel de valorisation des sédiments fluviaux dans le béton

Hamza Beddaa<sup>1,2</sup>, Amor Ben Fraj<sup>1</sup>, Francis Lavergne<sup>1</sup> et Jean Michel Torrenti<sup>3</sup>

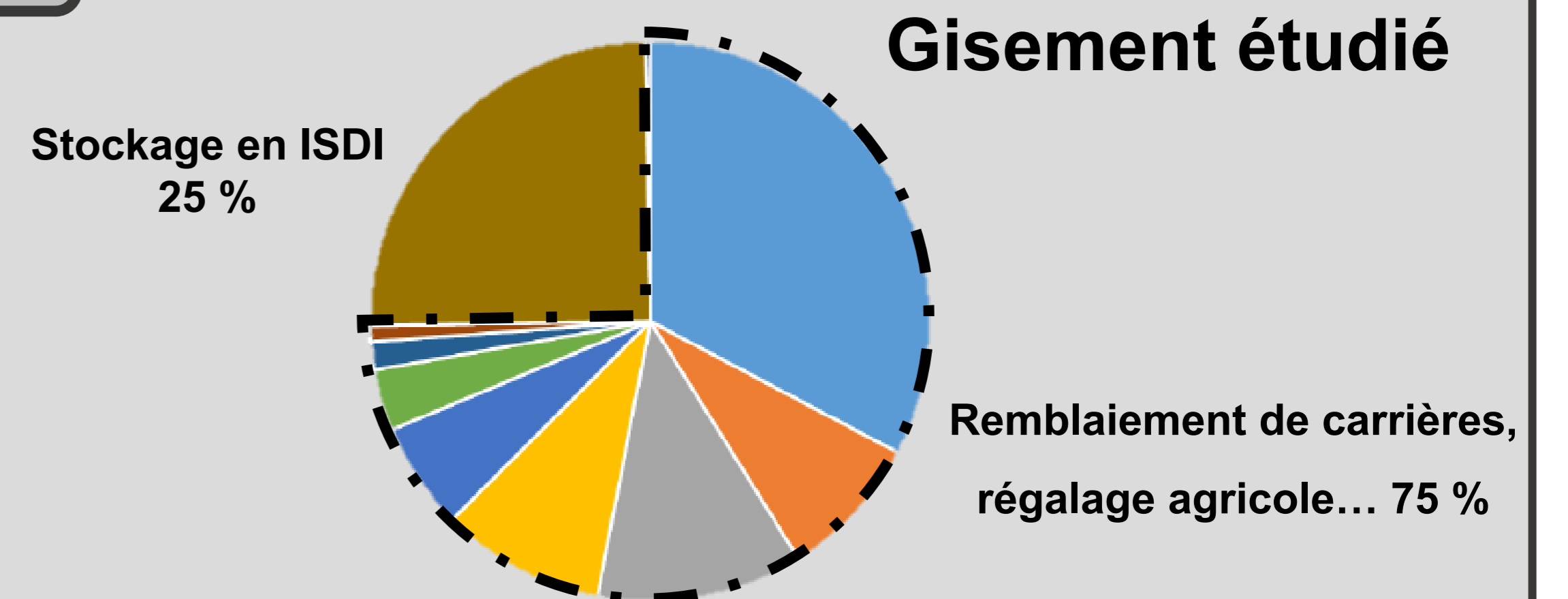
<sup>1</sup> UMR MCD (Cerema, Université Gustave Eiffel), F-77171 Sourdun, France

<sup>2</sup> Clamens, Rue des Carrières Z.I. SUD, 77270 Villeparisis, France

<sup>3</sup> Université Gustave Eiffel, 14 Boulevard Newton, Champs-sur-Marne F-77455

## Introduction

- Le réseau navigable d'**Île-de-France** représente près de **1 400 km**. Le volume annuel de sédiments dragués (classés comme **déchets**) est d'environ **150 000 m<sup>3</sup>**.
- La région Île-de-France connaît un **déficit en granulats** d'environ **45 %**.
- Les réglementations nationales** concernant les sédiments sont **de plus en plus exigeantes**. Ceci a un impact sur les filières de valorisation et **augmente les prix de stockage**.
- Le projet **SEDIFLUV** a pour but d'évaluer le **potentiel de valorisation des sédiments franciliens**, qui semblent être une **bonne source locale** de matériaux pouvant remplacer les granulats, ainsi que le ciment.



## Variabilité du gisement

### Étapes

1) **Analyse des données** des campagnes de dragage de 2015, 2016 et 2017, fournies par la Direction territoriale du bassin de la Seine (DTBS / VNF).

2) • **Étude des corrélations** entre les différentes variables.  
• Compte tenu des **fortes corrélations** entre certains paramètres, **seules trois variables** sont nécessaires pour définir les propriétés du gisement.

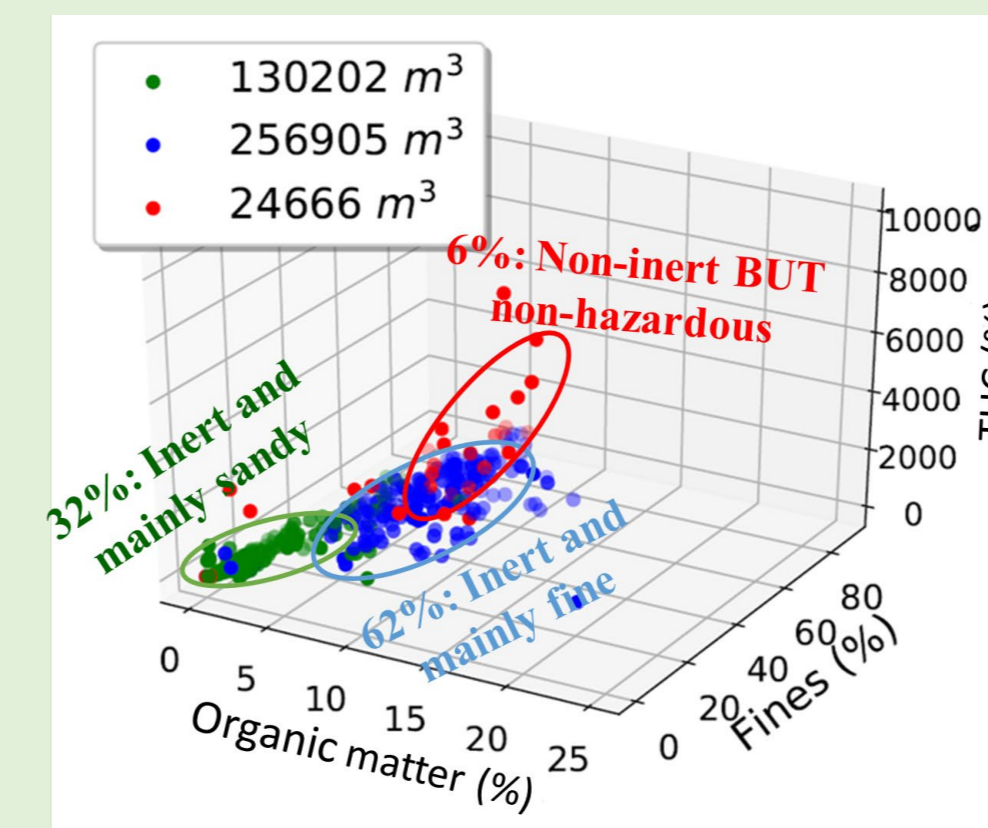
3) La compilation des données à l'aide de l'**algorithme des K-moyennes** a permis de **classer** les sédiments franciliens en **trois groupes**.

### Sorties

- ✓ Les propriétés du gisement sont **stables** d'une année à l'autre.
- ✓ **Métaux lourds** : plus de 90 % des points de dragage présentent des concentrations négligeables.
- ✓ **Statut inerte** : 90 % des points de dragage sont inertes.
- ✓ **Granulométrie** : 50 % des points de dragage contiennent moins de 40 % de fines.

	Sb	Pb	Zn	Hg	PCB	Fines	Sable	Graviers
THC			+++			+		-
Fines			+			+++		---
Matière organique			+			++		--

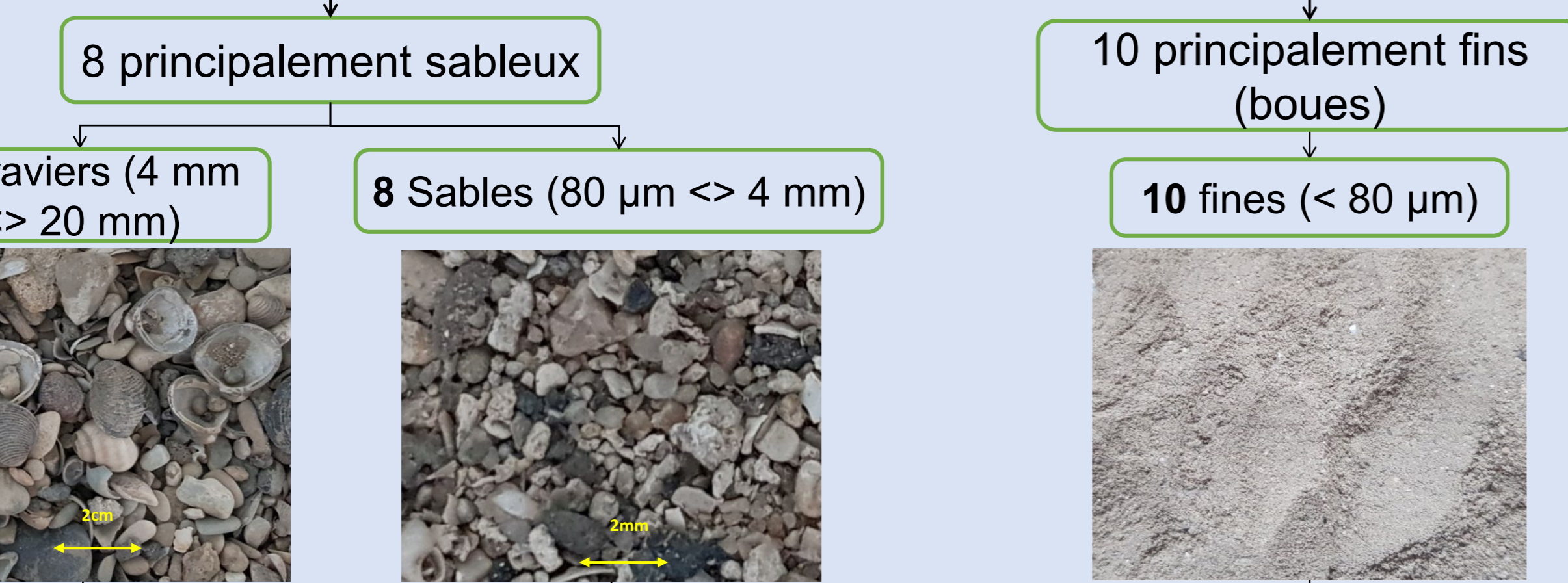
Forte corrélation négative -1 à 1 Forte corrélation positive



**Un gisement prometteur pour la valorisation dans le béton**

## Matériaux

### Matériaux : 18 sédiments



### Formules de béton

Ingrédients (kg / m <sup>3</sup> )	Ciment	Graviers	Sable	Graviers des sédiments	Sable des sédiments	Fines des sédiments
Béton de référence	335	881,1	814,4	-	-	-
BG (2)	335	570,1	881,1	30 % vol.	-	-
BS (8)	335	814,4	616,8	-	30 % vol.	-
BF (10)	301,5	881,1	814,4	-	-	10 % vol.

### Méthodes

#### Hydratation



#### Résistance à la compression

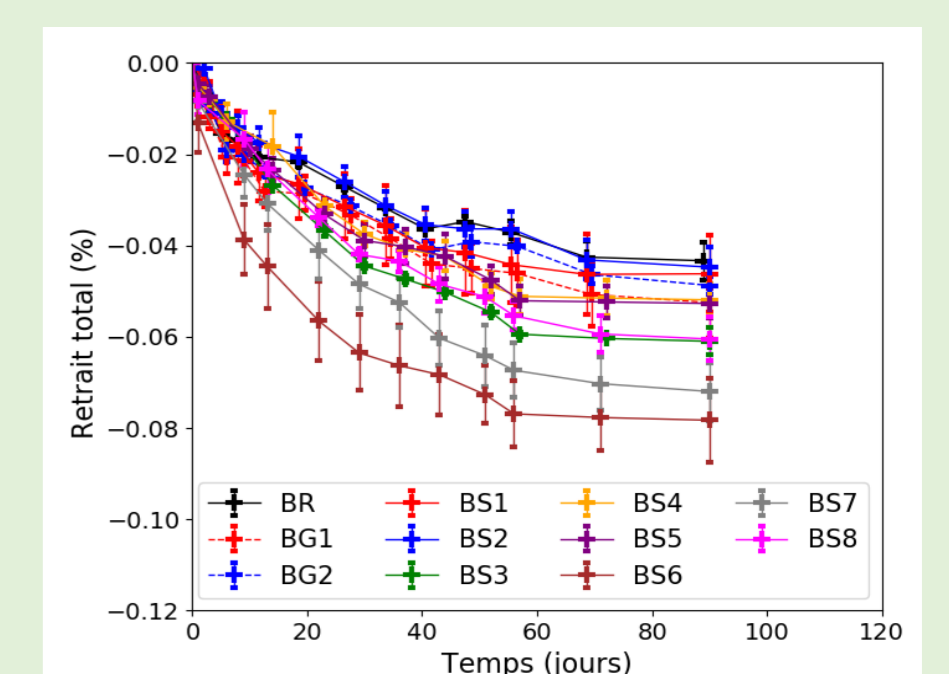
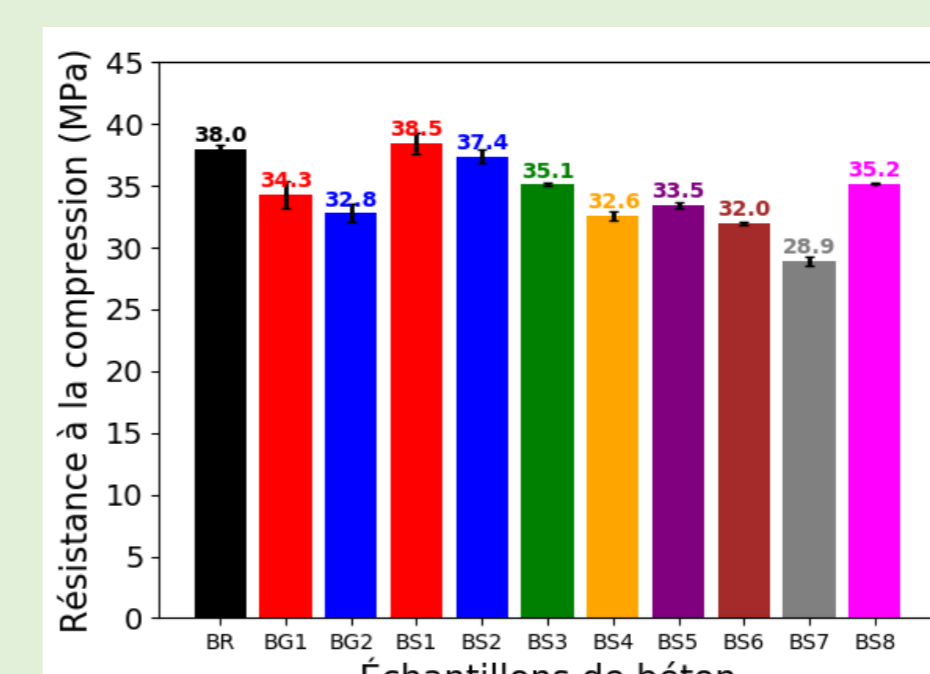
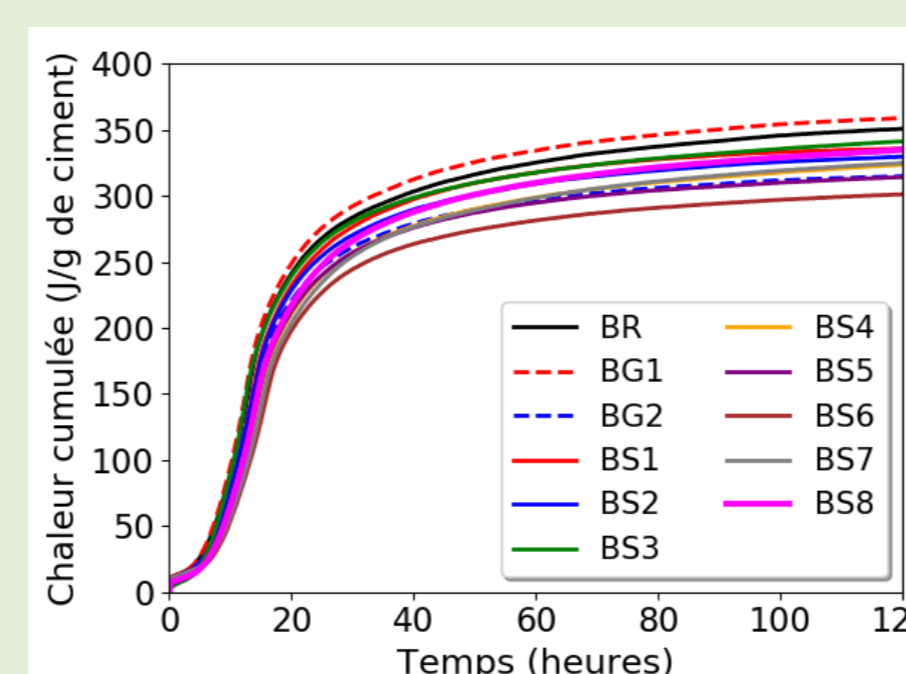


#### Retrait



## Résultats

### Sédiments comme granulats



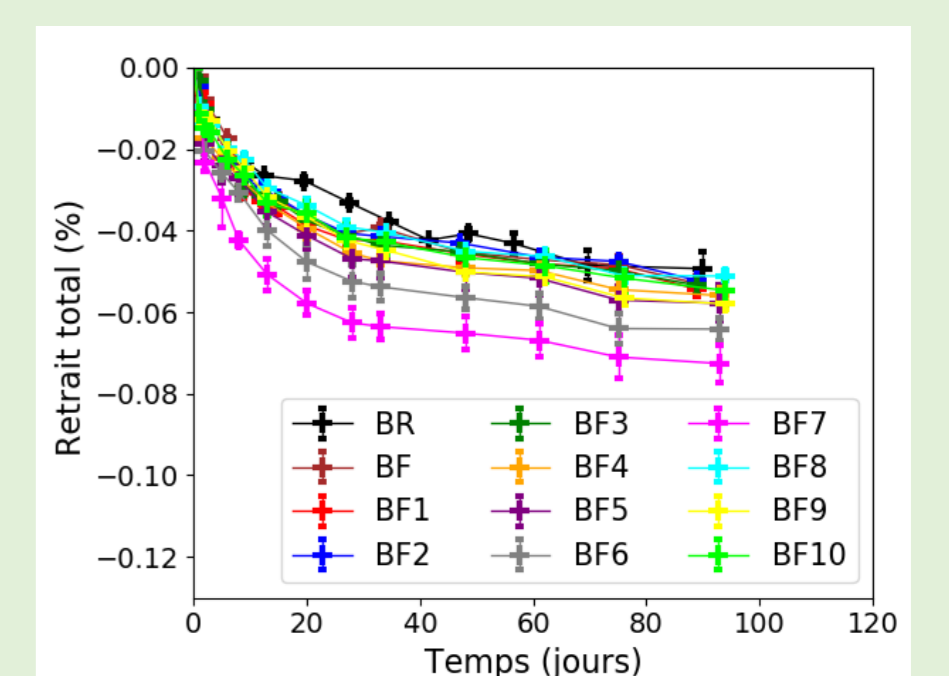
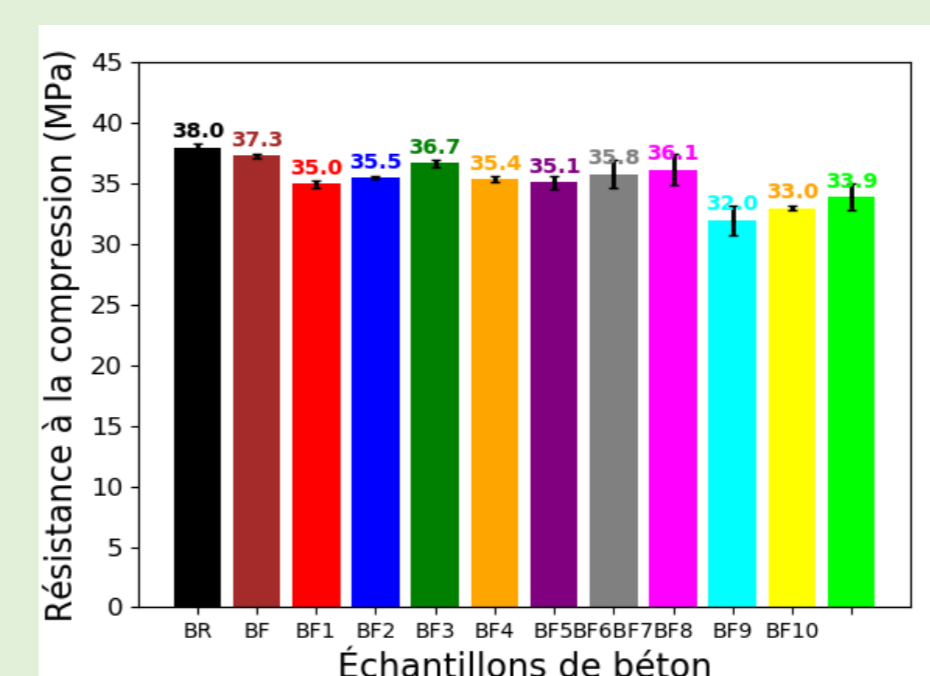
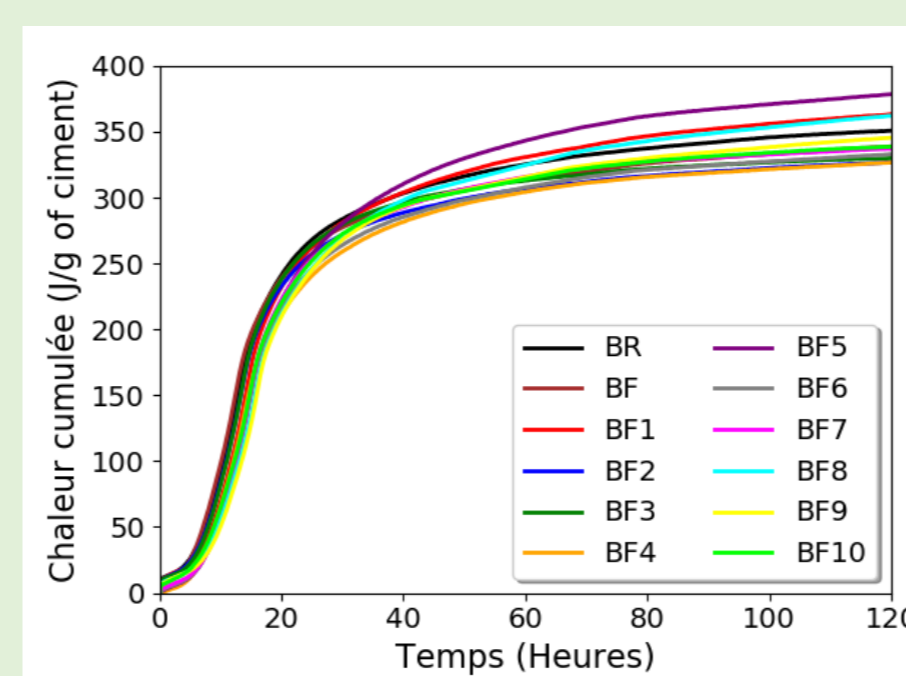
Retard d'hydratation de moins de 3 heures

Une diminution de la résistance à la compression de 10 % en moyenne

Absorption des sédiments  
Retrait du béton

**La fraction granulaire des sédiments peut être valorisée jusqu'à 30 % comme granulats dans le béton.**

### Sédiments comme addition au ciment



Retard d'hydratation de moins de 4 heures

Une diminution de la résistance à la compression de 8 % en moyenne

Une augmentation du retrait du béton de 17 % en moyenne

**La fraction fine des sédiments pourrait être valorisée comme ajout au ciment jusqu'à 10 %.**

## Conclusion

- Les propriétés des bétons à base de sédiments présentées ci-dessus correspondent à des bétons de structure.
- L'incorporation de sédiments comme granulats ou comme ajout de ciment affecte légèrement la cinétique d'hydratation, la résistance à la compression et le retrait.
- Les sédiments d'Île-de-France pourraient être valorisés in situ par la construction de plateformes multimodales.

## Projet SEDIFLUV



# Utilisation de l'intelligence artificielle (IA) pour la prédiction des chutes de blocs lors de pluies intenses

Marie-Aurélié Chanut<sup>1</sup>, Clara Lévy<sup>2</sup>, Lucas Meignan<sup>3</sup>, Muriel Gasc<sup>1</sup>, Abdourrahmane Atto<sup>4</sup>, Nickolas Stelzenmuller<sup>3</sup>, Guilherme Cunha de Barros-Santos<sup>1,2,3</sup>, Hermann Courteille<sup>4</sup>, Emmanuel Trouvé<sup>4</sup>, Sylvie Galichet<sup>4</sup>, Nicolas Meger<sup>4</sup>

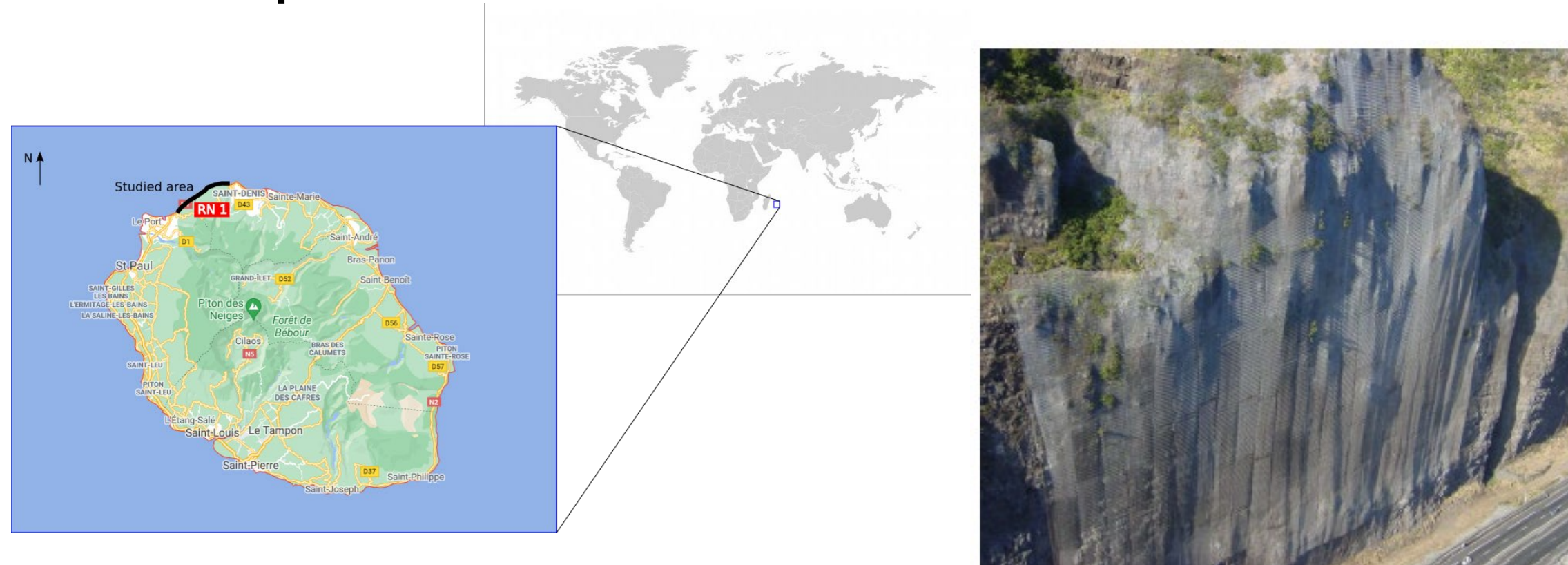
<sup>1</sup> Cerema, Équipe de recherche GéoCoD ; <sup>2</sup> BRGM ; <sup>3</sup> Géolithe ; <sup>4</sup> LISTIC, Université de Savoie Mont-Blanc

## Introduction

- Les facteurs climatiques déclenchent des chutes de blocs
- La prédiction des chutes de blocs pendant des événements climatiques majeurs est un challenge pour la gestion opérationnelle des infrastructures exposées
- L'approche IA en complément des modèles multi-échelles et multi-physiques est prometteuse

## Site d'étude et données

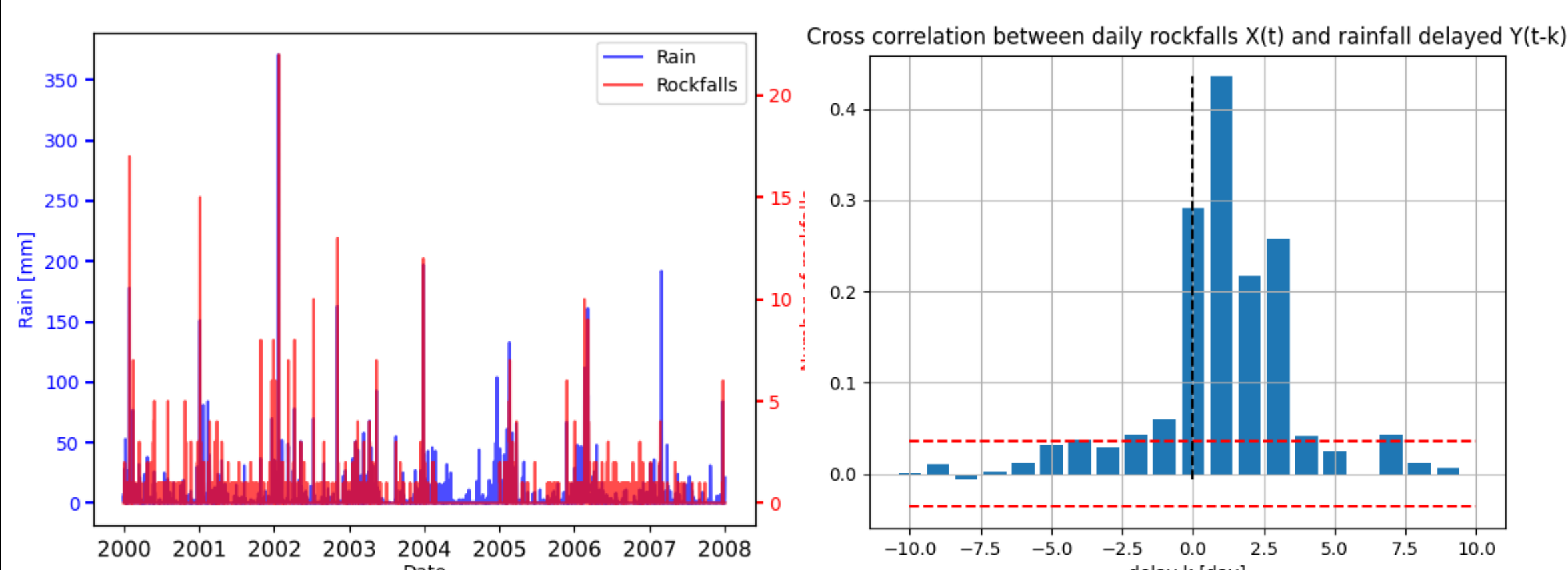
- La Route Nationale 1 à la Réunion, exposée aux chutes de blocs



Localisation de l'île de la Réunion et de la RN1

Falaise surplombant la RN1

- Base des données quotidiennes des précipitations et chutes de blocs atteignant la RN1 recueillies par le Service des Routes (2000-2007)

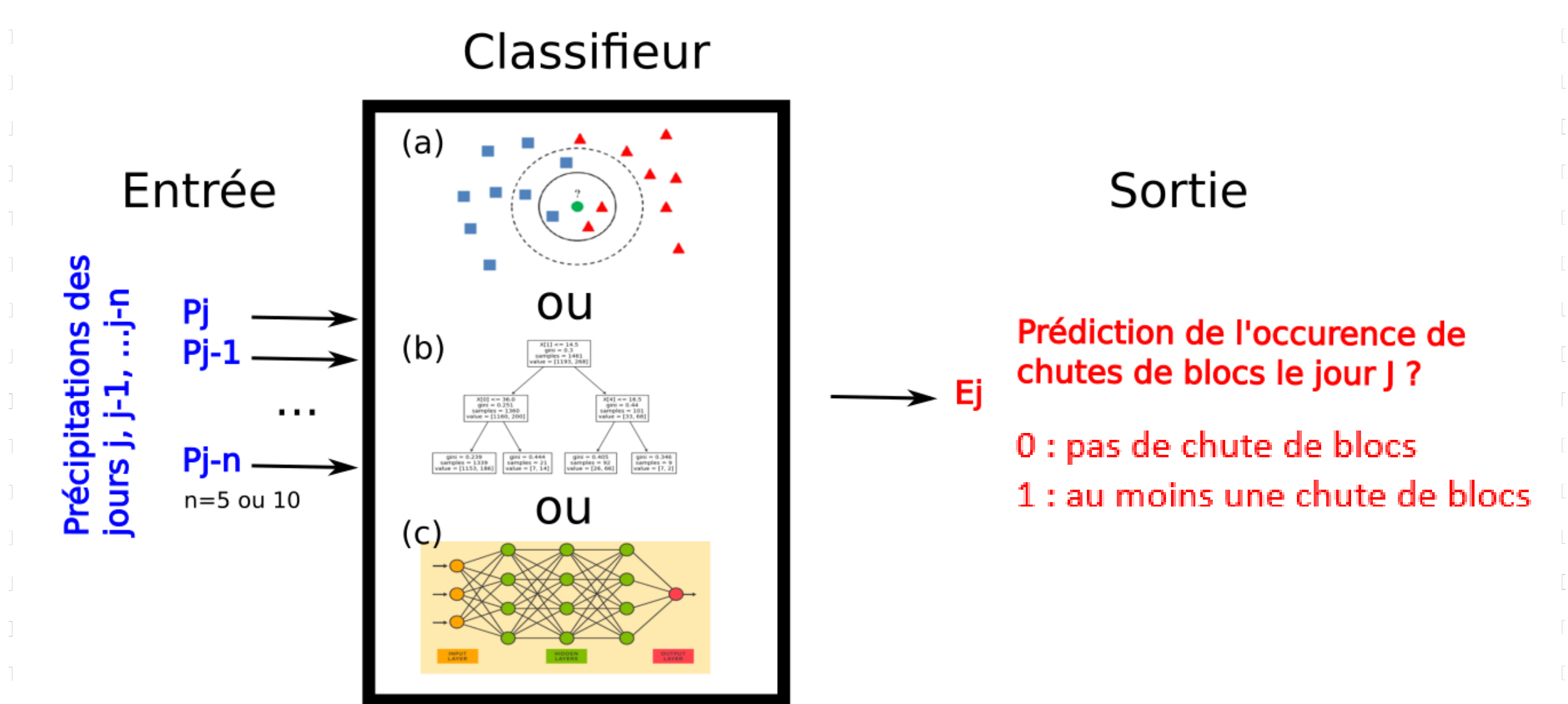


Pluie et chutes de blocs quotidiennes entre 2000 et 2007

Coefficient d'intercorrélation entre chutes de blocs et précipitations

## Modèles testés et résultats

- Trois modèles de machine learning : plus proches voisins (a), arbres de décision (b), réseaux de neurones (c)

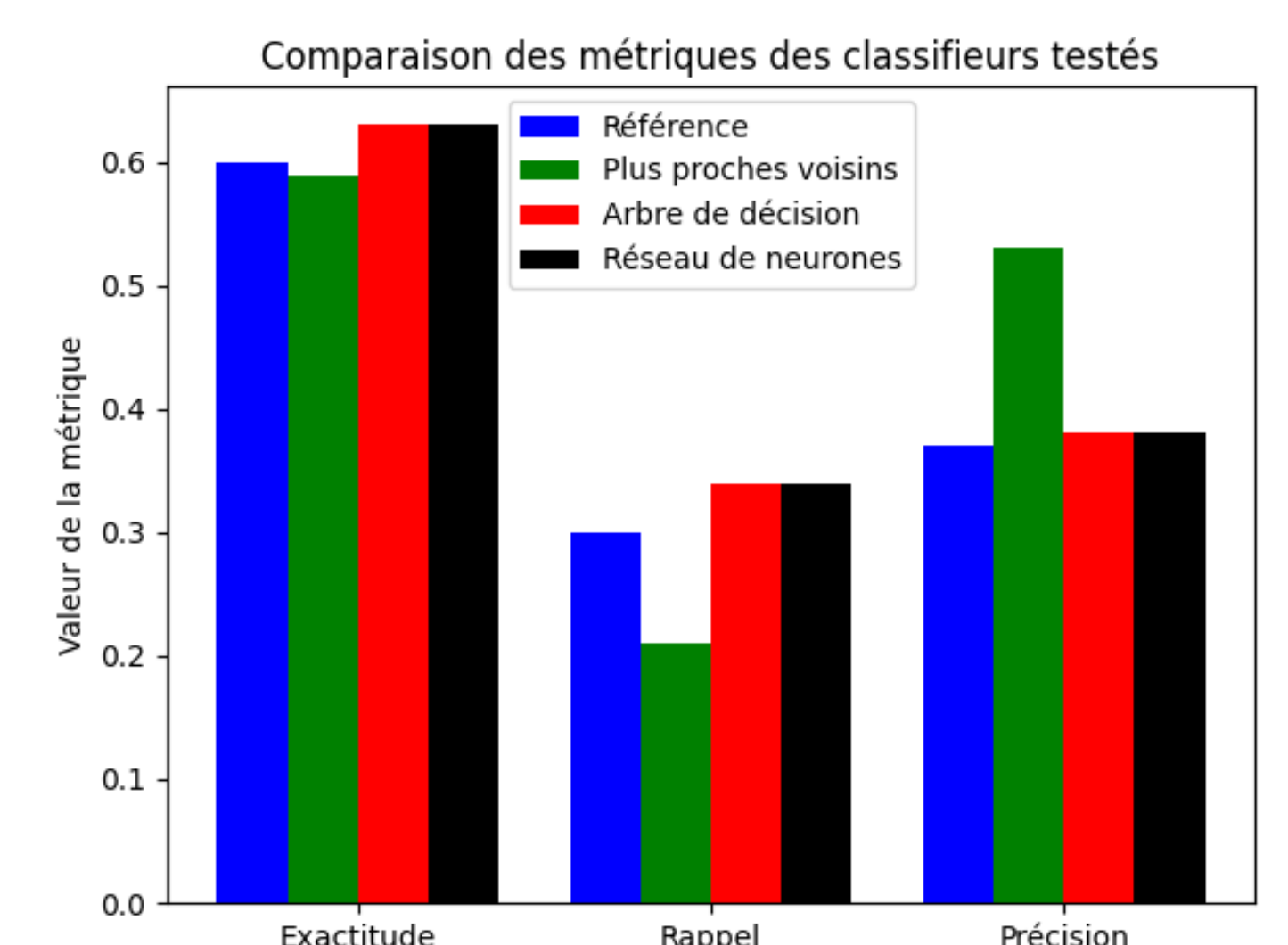


- Entraînement sur les données entre 2000 et 2004
- Test sur les données entre 2005 et 2007
- Évaluation des performances avec trois métriques :

- Exactitude :  $\left( \frac{VN}{VN+FP} + \frac{VP}{VP+FN} \right) / 2$
- Rappel :  $\frac{VP}{VP+FN}$
- Précision :  $\frac{VN}{VN+FP}$

		Réalité	
		0	1
Prédiction	0	VN	FN
	1	FP	VP

- Modèle de référence : règle de gestion opérationnelle de la RN1  
Si  $P_{j-1} \geq 15 \text{ mm}$  ou  $P_{j-2} \geq 30 \text{ mm}$  ou  $P_{j-3} \geq 30 \text{ mm}$ , alors  $E_j = 1$  (prédiction de chutes de blocs)



## Conclusions

- Les modèles d'arbres de décision ou les réseaux de neurones fournissent des **résultats similaires** à ceux de la règle experte avec des compromis différents entre rappel et précision

## Perspectives

- Développer l'explicabilité des modèles machine ou deep learning
- Développer la transférabilité des modèles d'un site à un autre à moindre coût

## Remerciements

Les auteurs remercient :

- la fondation FEREC pour avoir subventionné ce travail
- le Conseil Régional de la Réunion pour la mise à disposition des données
- le Projet National C2ROP, IREX et INDURA pour avoir soutenu le projet

## Informations complémentaires

Voir <https://www.cerema.fr/fr/innovation-recherche/recherche/projets/demonstrateur-utilisation-intelligence-artificielle-gestion>

E-mails : [marie-aurelie.chanut@cerema.fr](mailto:marie-aurelie.chanut@cerema.fr), [muriel.gasc@cerema.fr](mailto:muriel.gasc@cerema.fr)

# Projet Cibelius : exposition de la population de France métropolitaine au bruit des éoliennes

David Ecotièrre, UMR AE (Cerema, Université Gustave Eiffel)

Anne-Sophie Evrard, UMR ESTTE (Université Gustave Eiffel, Université Claude Bernard Lyon 1)

## Introduction

Interrogations de la population sur l'impact du bruit des éoliennes sur la santé

mais...

Peu ou pas d'informations fiables disponibles sur la réalité de cet impact

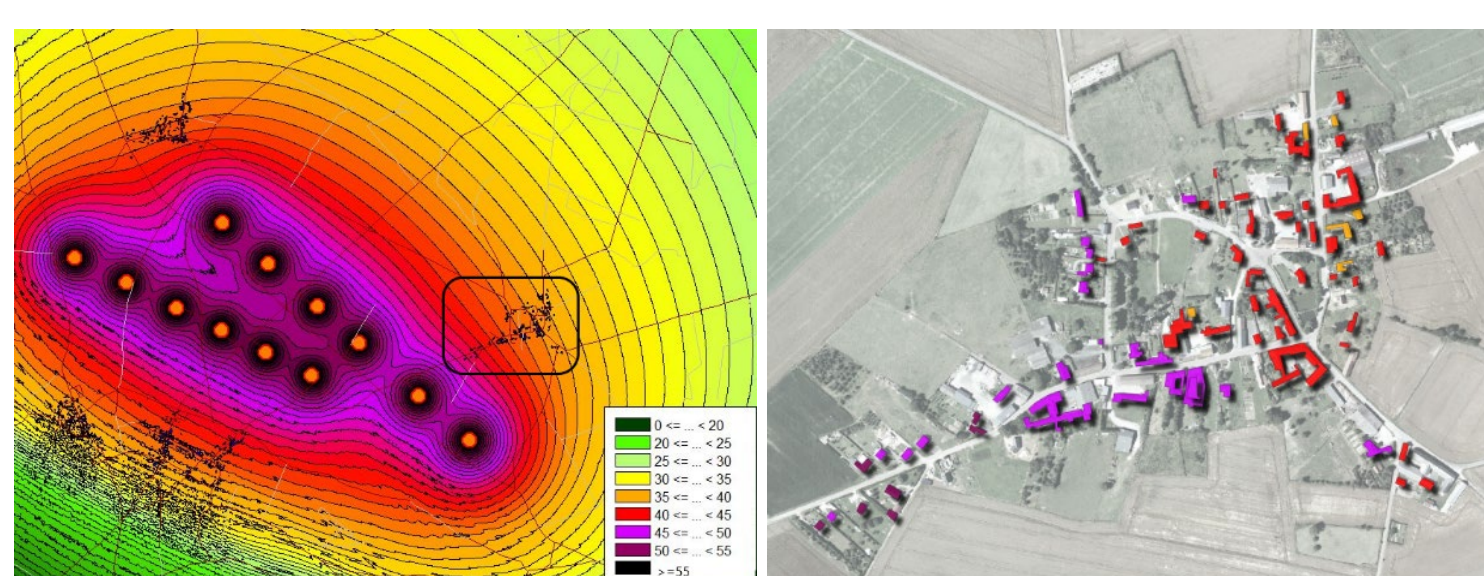
→ Faisabilité d'une étude épidémiologique à l'échelle nationale

**Projet Cibelius :**  
Évaluation des enjeux en terme d'exposition de la population

## Approche

Validation d'une méthode de calcul d'exposition au bruit des éoliennes

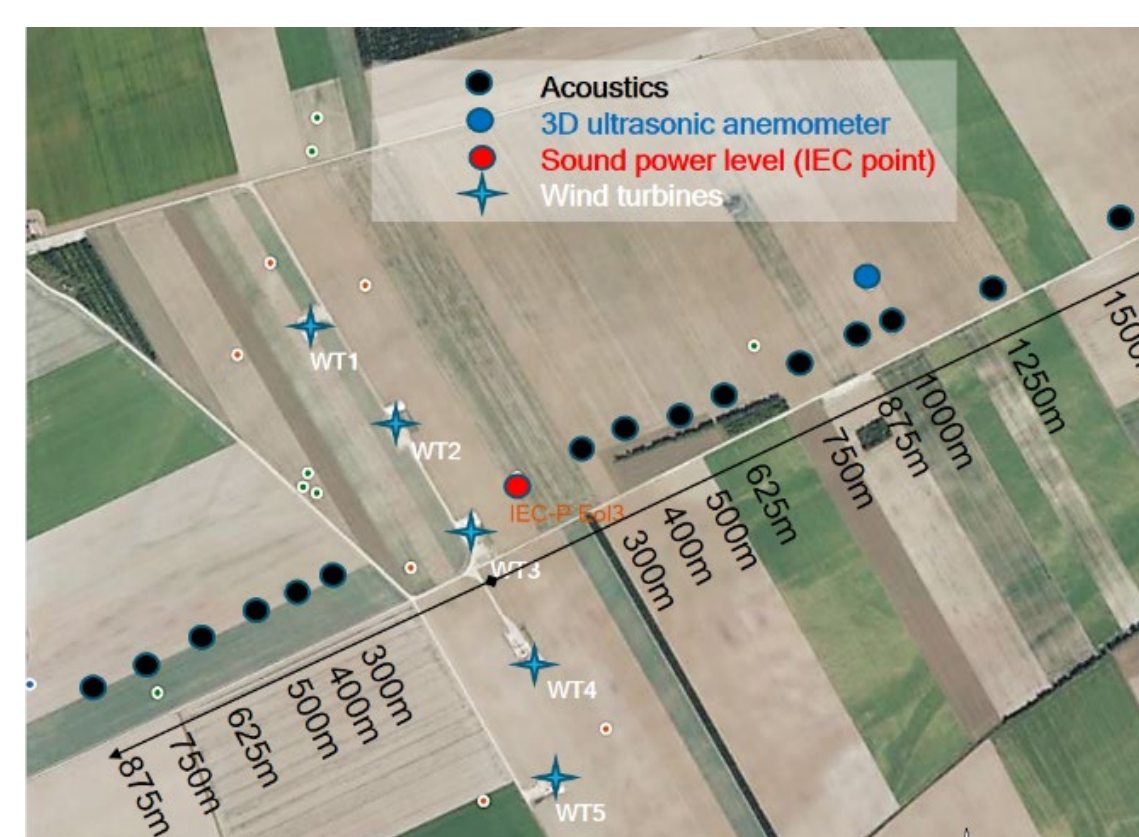
Calcul de l'exposition de la population métropolitaine au bruit des éoliennes (données : 2017)



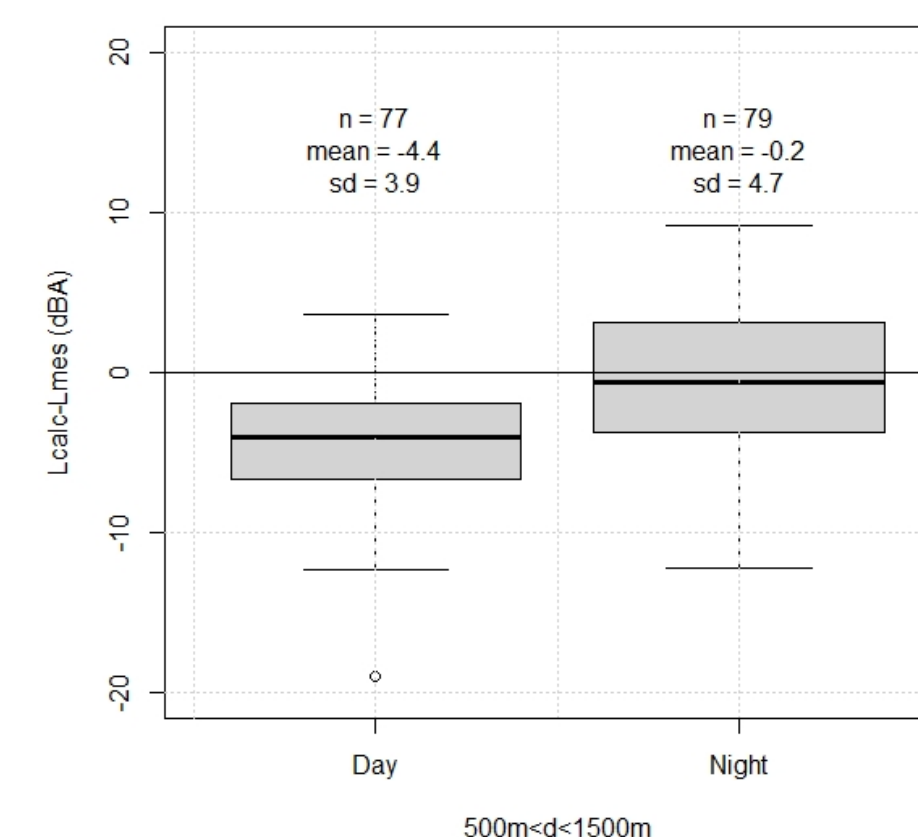
Exemple de calcul d'exposition sonore de riverains d'un parc éolien

## Résultats

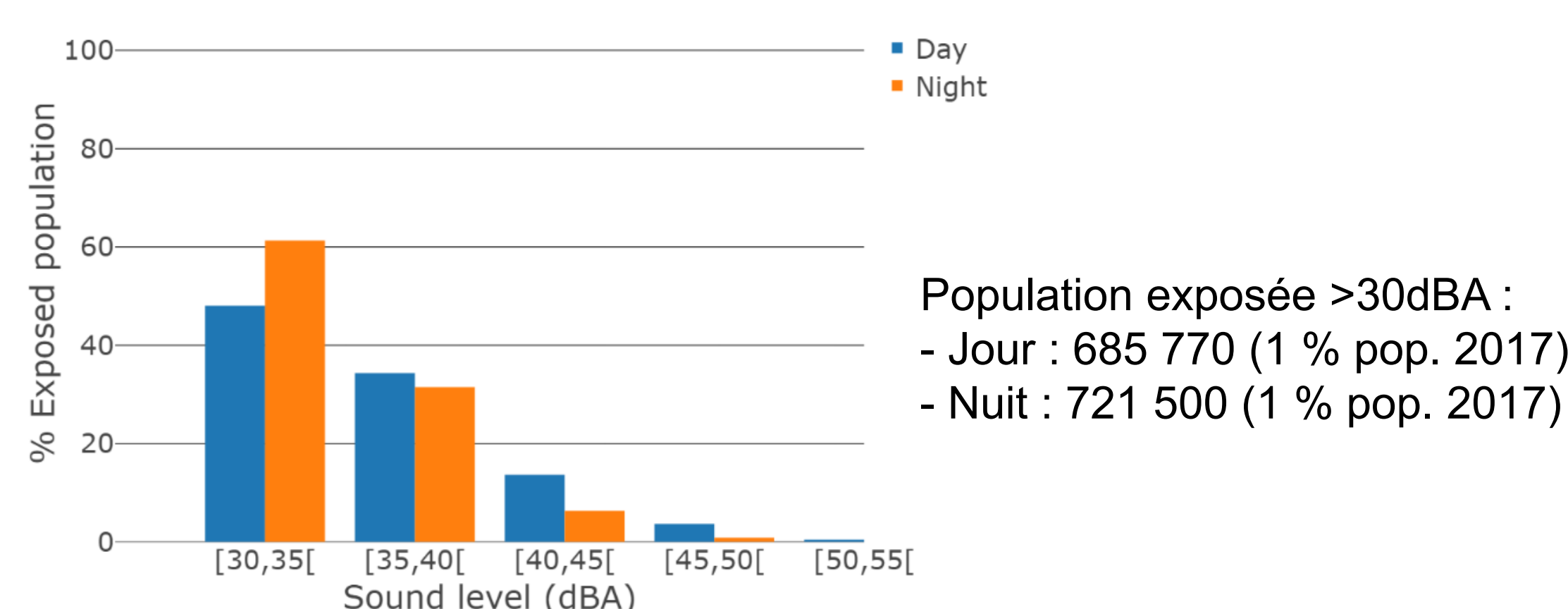
Validation de la méthode *Harmonoise* pour le calcul de l'exposition sonore au bruit des éoliennes



Campagne expérimentale > écarts calculs / mesures

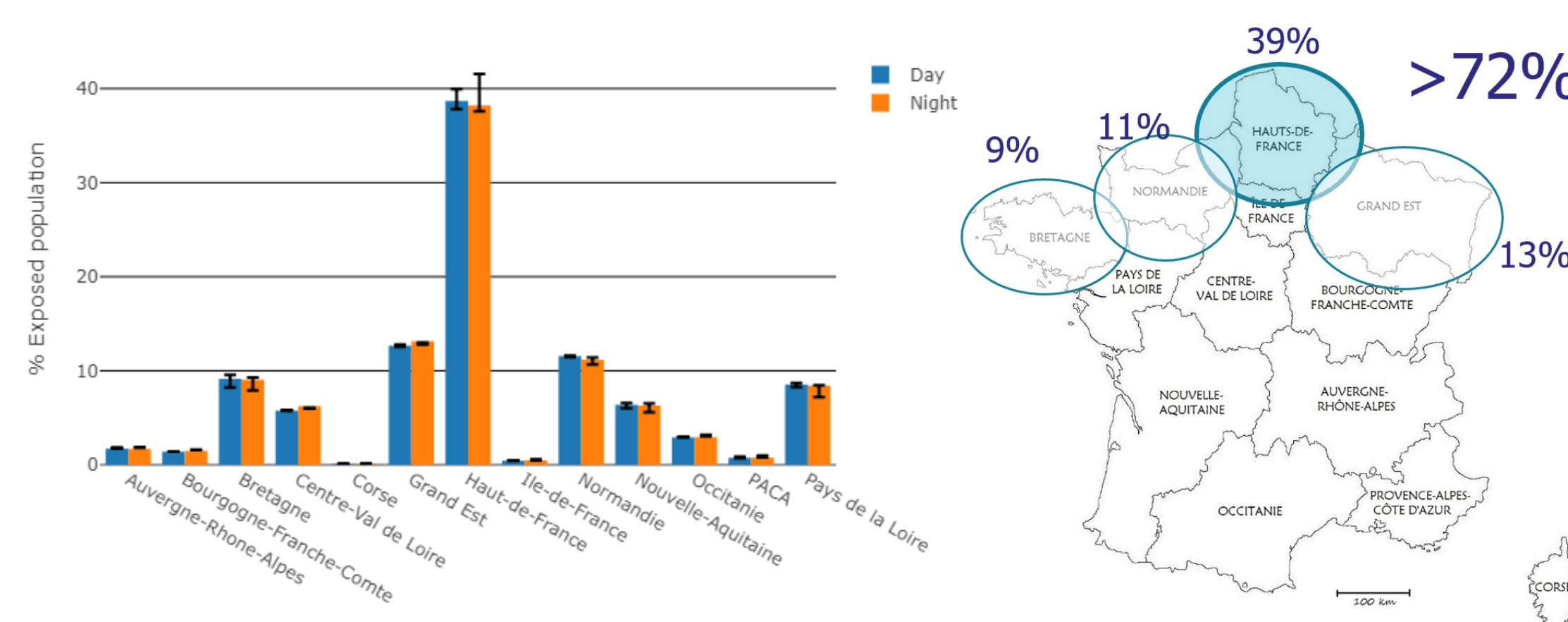


Exposition de la population métropolitaine au bruit des éoliennes



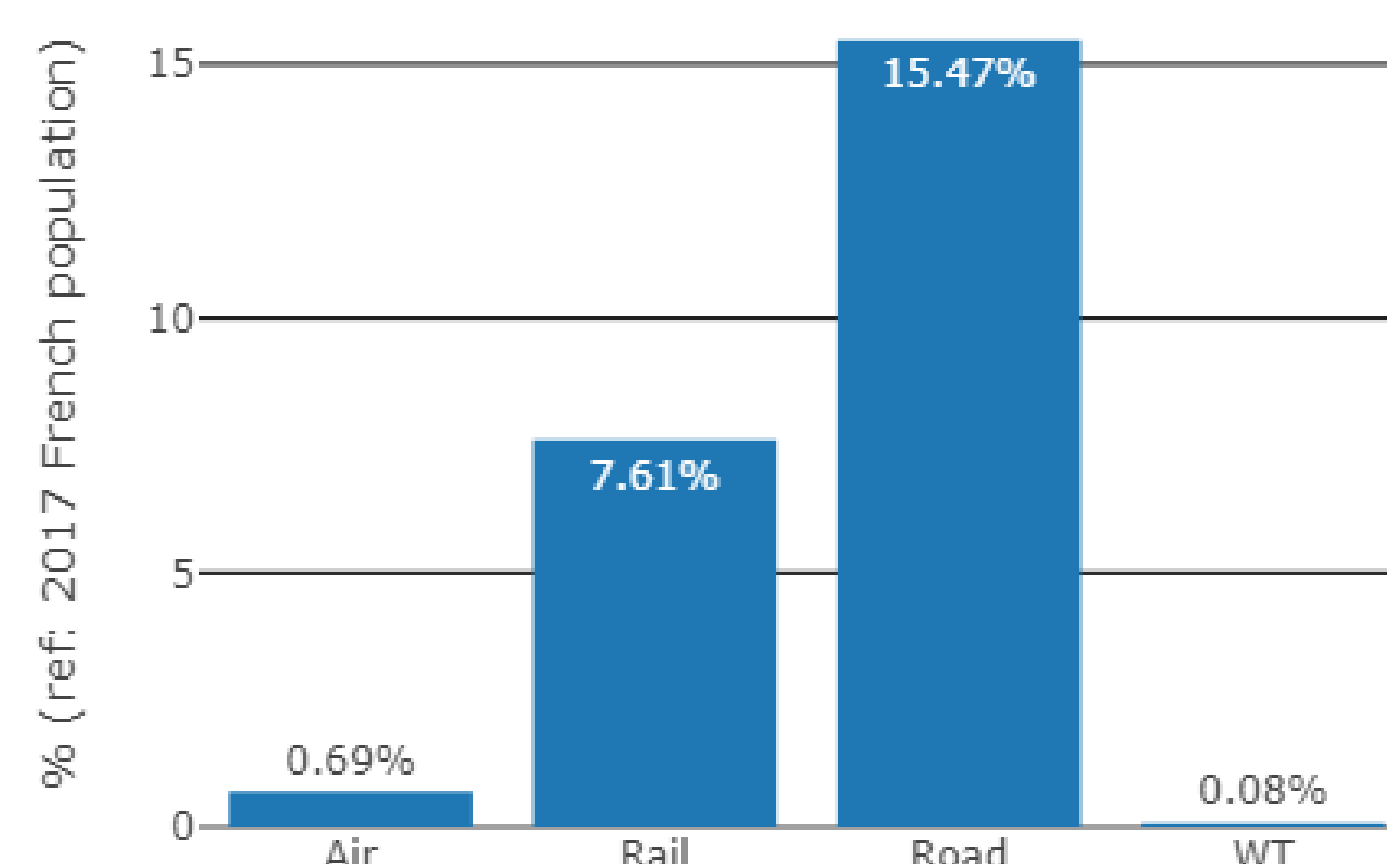
Population exposée >30dBA :  
- Jour : 685 770 (1 % pop. 2017)  
- Nuit : 721 500 (1 % pop. 2017)

Répartition de l'exposition sonore de la population française exposée au bruit des éoliennes



Répartition régionale de la population exposée au bruit des éoliennes

Night exposure >40dBA



Population (France 2017) exposée à différentes sources de bruit environnemental (WT = éoliennes)

## Conclusions

Validation d'une méthodologie d'estimation de l'exposition au bruit des éoliennes à l'échelle nationale

Exposition modérée au bruit des éoliennes (90 % pop. exposée < 40 dBA)

Population exposée essentiellement localisée dans quatre régions du nord de la France

## Perspectives

**Enjeux de santé publique =** Population exposée x Impact sur la santé

**Population exposée :** projet Cibelius

**Impact sur la santé :** Projet Ribeolh (ANR 2020-2025) : étude épidémiologique



## Référence scientifique

Ecotièrre, D., Demizieux, P., Guillaume, G., Giorgis-Allemand, L., Evrard, A.-S., 2022.

Quantification of Sound Exposure from Wind Turbines in France. International Journal of Environmental Research and Public Health 19, 23.

<https://doi.org/10.3390/ijerph19010023>

## Remerciements

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) pour le cofinancement de ce projet.

## Pour aller plus loin

Projet Ribeolh (suite du projet Cibelius) : <https://ribeolh.univ-gustave-eiffel.fr>. Contact : [david.ecotiere@cerema.fr](mailto:david.ecotiere@cerema.fr)

# De la complémentarité des méthodes dans la prise en compte du facteur humain

## L'exemple du déploiement des systèmes de transports intelligents coopératifs

Lara Désiré & Stéphanie Bordel, Équipe de recherche Psychologie appliquée (PsyCAP), Cerema  
Mehdi Chahir & Alain Somat, Laboratoire de Psychologie : Cognition Comportement Communication (LP3C), Université Rennes 2

### Introduction

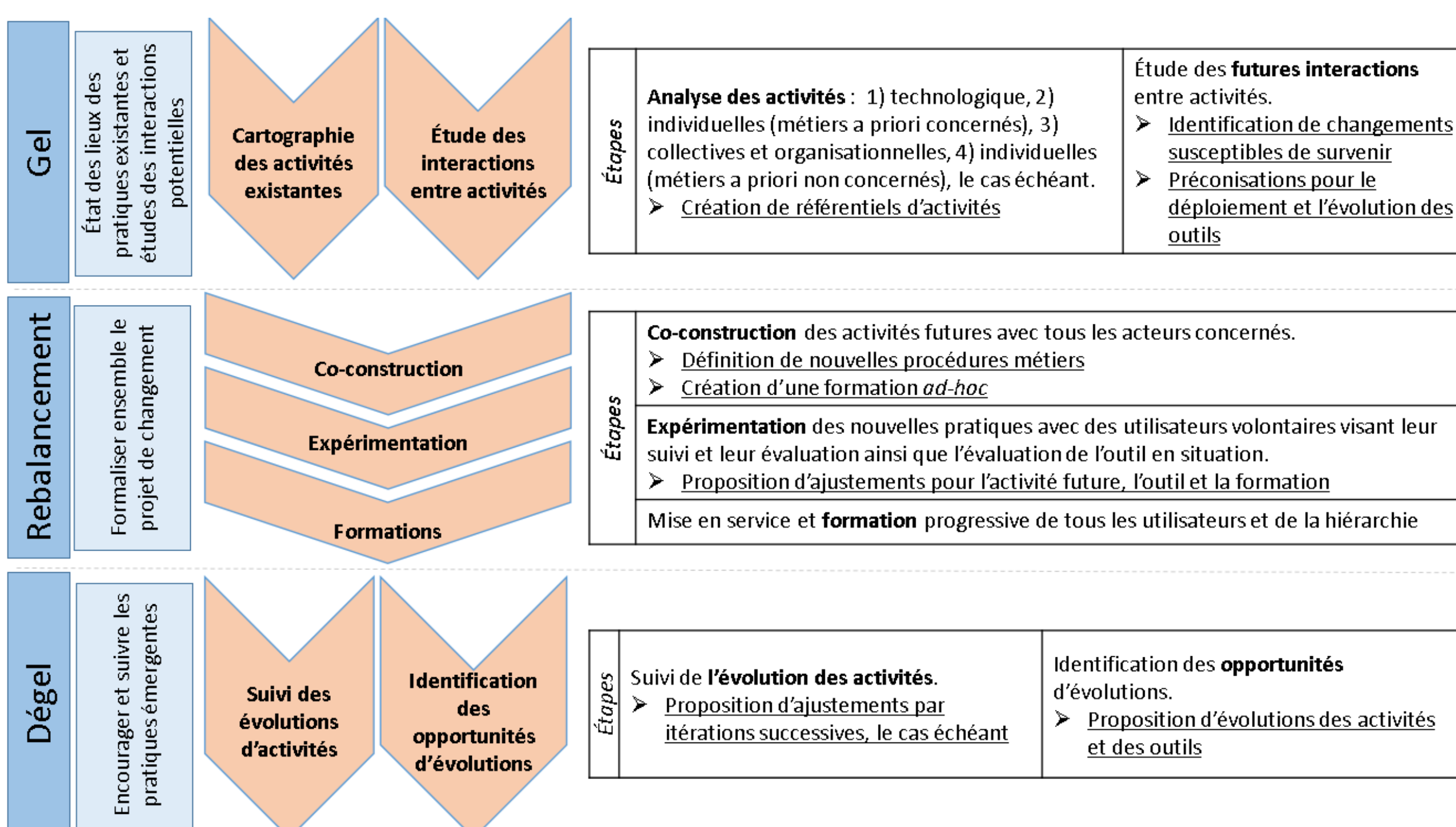
C-Roads : projet européen de déploiement des systèmes de transports intelligents coopératifs (C-ITS)

Quelle acceptabilité des C-ITS par les gestionnaires de la route et par les usagers ?

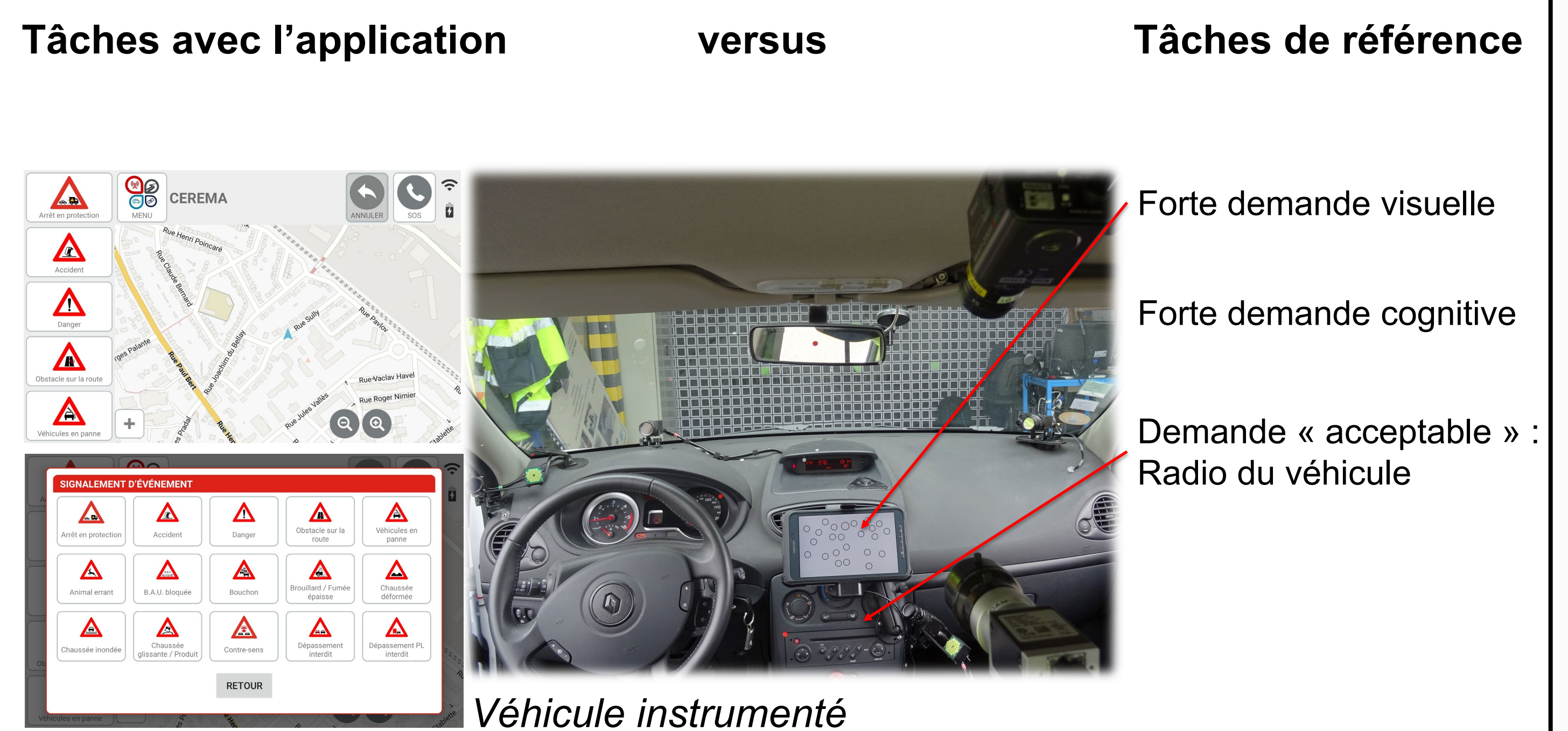
- **Accompagnement au changement : Thèse de M. Chahir (2021) ; Dir. : S. Bordel (Cerema) et A. Somat (Université de Rennes 2)**
  - Acceptabilité de l'application Smartphone (Coopits) à destination des usagers (Bordel et al., 2021)
  - Ergonomie de l'application embarquée gestionnaire (Bordel & Chahir, 2021)
  - **Distraction liée à l'utilisation de l'application embarquée gestionnaire (Désiré & Gritti, 2021)**
- Prendre en compte l'activité et l'acceptabilité des C-ITS pour réussir la conception et le déploiement
- Évaluer l'intensité de la demande attentionnelle liée aux interactions avec une application embarquée

### Matériels et méthodes

Accompagnement au changement : méthode basée sur l'analyse d'activité et la co-construction



Distraction : comparaison de la demande attentionnelle requise par différentes tâches secondaires



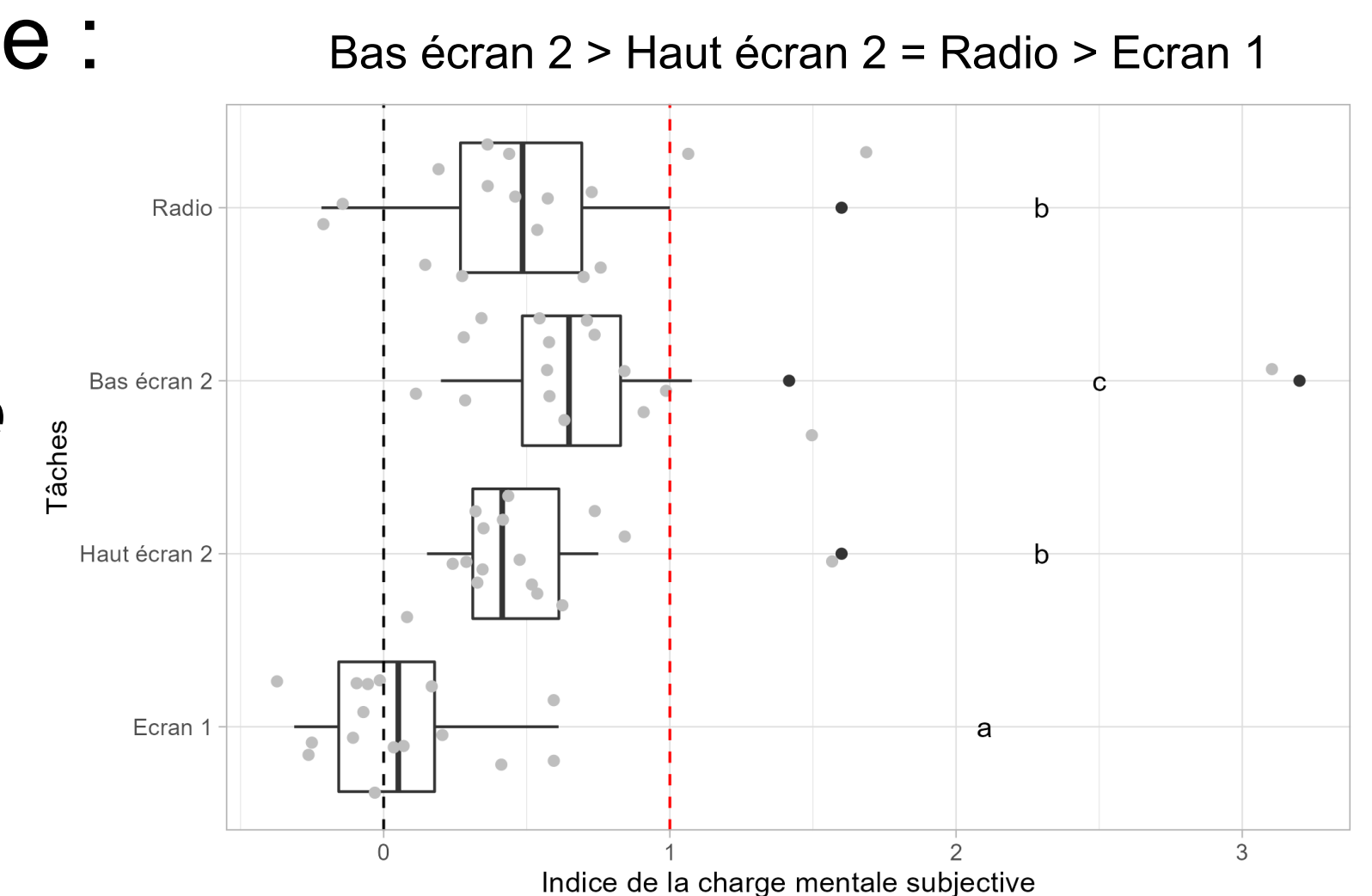
### Quelques résultats

- Identification de leviers au déploiement : sécurité routière, modernisation...
- ... et de freins : craintes de surveillance, craintes de distraction lors de la conduite...

- Demande subjective :

- *Demande visuelle*
- *Demande cognitive*
- *Durée de la tâche*

Travail en cours



### Conclusions

- Réussir le déploiement des C-ITS et des nouvelles technologies passe par la prise en compte du facteur humain
- Complémentarité des méthodes : des analyses « subjectives » et des analyses « objectives »

### Références scientifiques

Bordel, S., & Chahir, M. (2021). Évaluation de l'ergonomie de l'IHM gestionnaire embarquée (Projet C-Roads France - COCSIC Activité 2 Livrable 2.3.5.2-version 0.02; p. 54). Cerema.

Bordel, S., Bel, M., & Chahir, M. (2021). Étude de l'acceptabilité de l'application smartphone par les usagers. Pré-test Bordeaux (Projet C-Roads France - COCSIC Activité 2 Livrable 2.3.5.6b-version 0.01 ; p. 45). Cerema.

Chahir, M. (2021). Proposition et évaluation d'une méthode d'accompagnement du changement induit par le déploiement d'une nouvelle technologie dans les organisations [Thèse de doctorat]. Université de Rennes 2.

Désiré, L., & Gritti, R. (2021). Analyse de la demande attentionnelle lors des interactions avec l'application SCOOP chez les agents des services d'exploitation de la route (Projet C-Roads France - COCSIC Activité 2 Livrable 2.3.4.2-version 1.02 ; p. 37). Cerema.

### Remerciements

N. Chebassier, P. Ecobichon, K. Kerdudo, N. Le Goff, L. Lilas, G. Morvan, F. Talbourdet et les participants (DIROuest) ; X. Bertrand, H. Poirier (D2PN, Cerema) ; R. Gritti ; C. Bourgeois (équipe de recherche PsyCAP, Cerema) ; Y. Le Chanu (Viveris) ; A. Bousquié

### Informations complémentaires

Vous pouvez consulter la page Internet de l'équipe de recherche PsyCAP :

<https://www.cerema.fr/psycap>

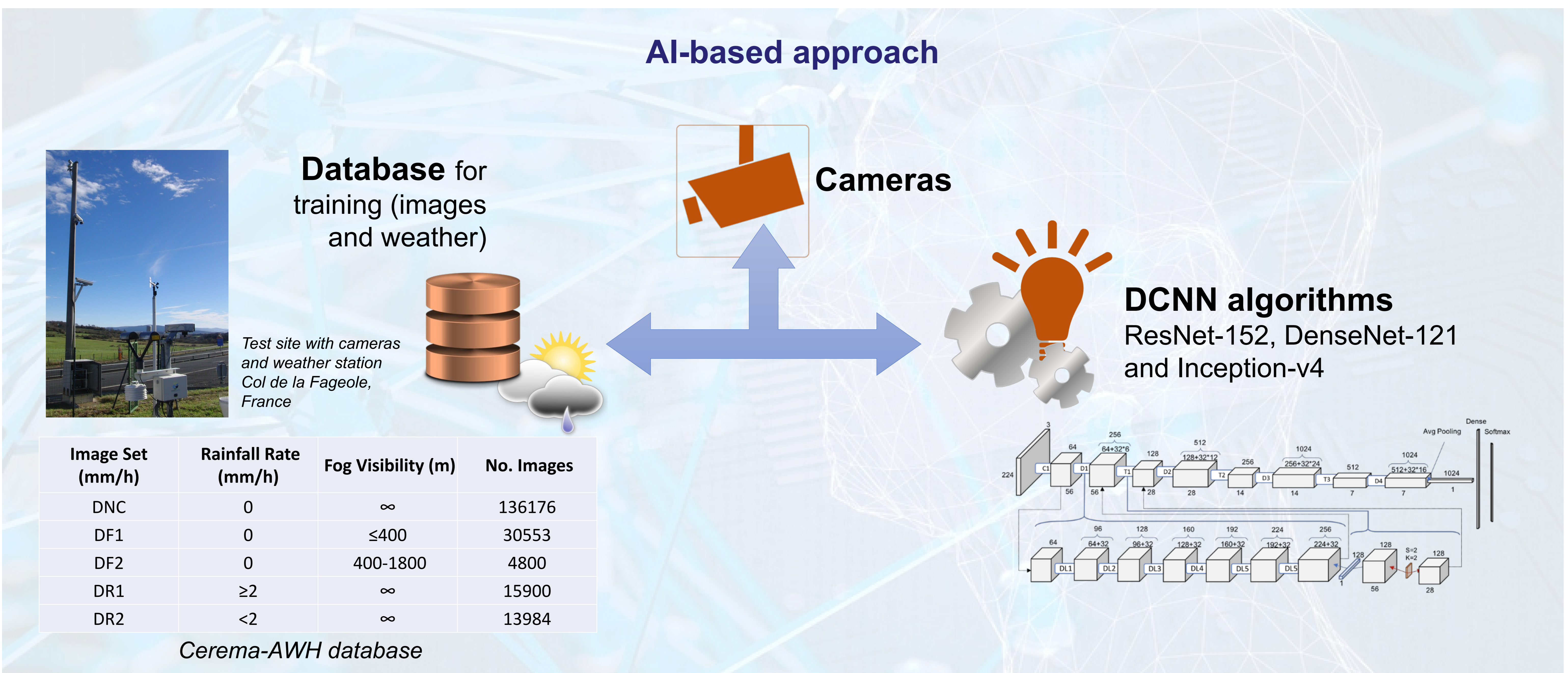
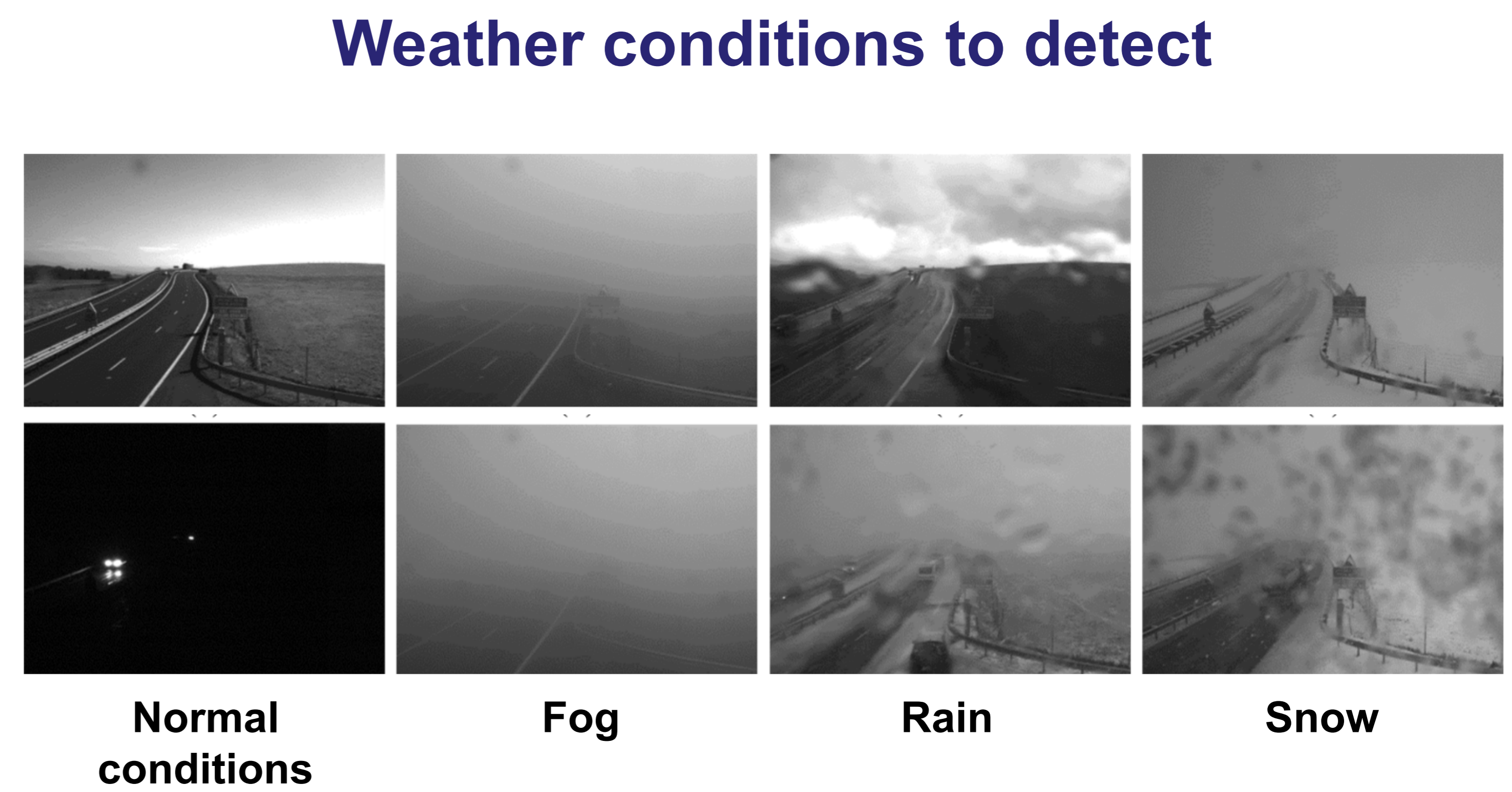
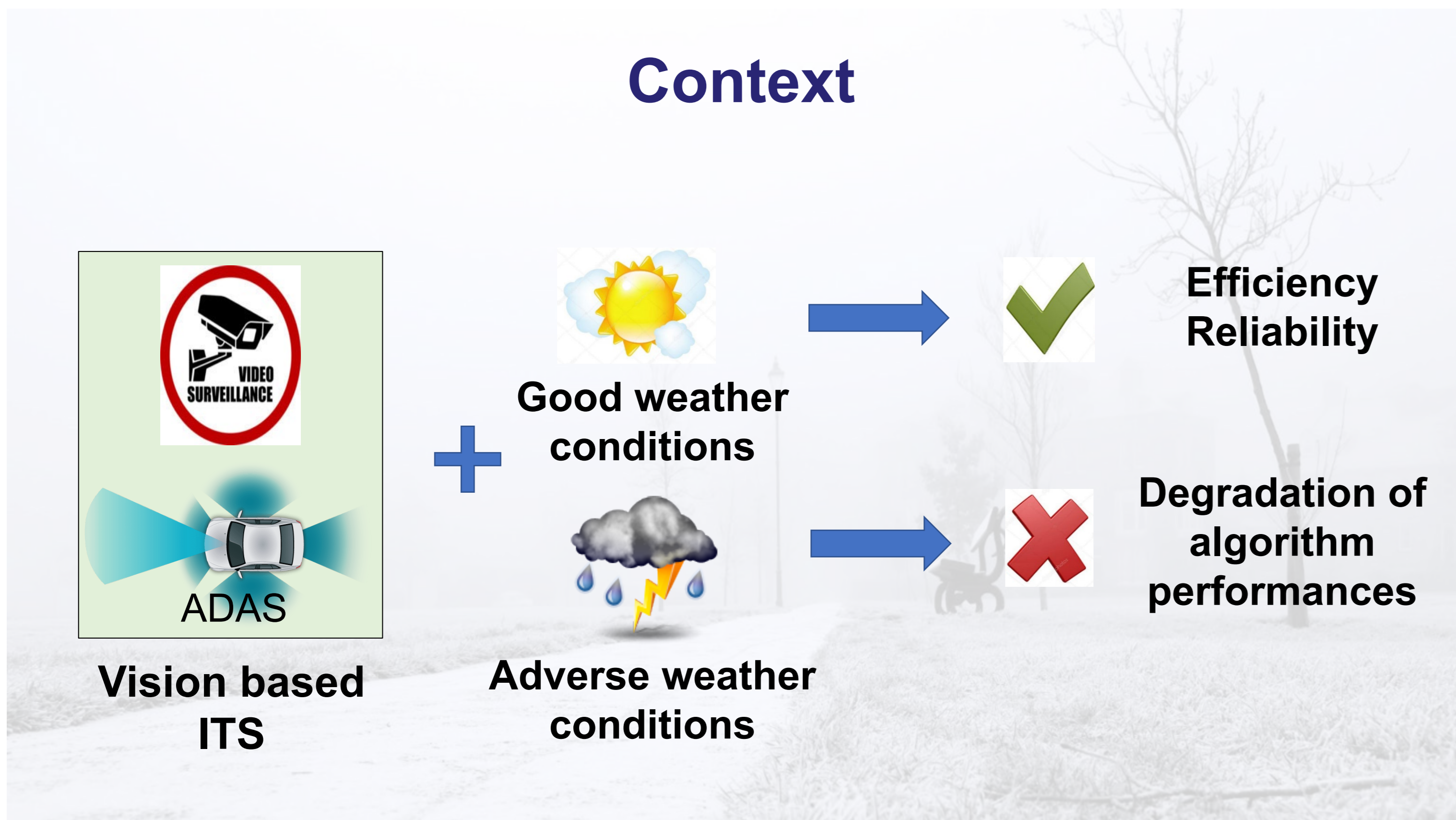
# WeatherEye: proposal of an algorithm able to classify weather conditions from traffic camera images

Khouloud Dahmane<sup>1</sup>, Pierre Duthon<sup>1</sup>, Frédéric Bernardin<sup>1</sup>, Michèle Colomb<sup>1</sup>, Frédéric Chausse<sup>2,3</sup> and Christophe Blanc<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Cerema, Équipe de recherche STI, 8-10, Rue, Bernard Palissy, CEDEX 2, F-63017 Clermont-Ferrand, France

<sup>2</sup>Institut Pascal, Université Clermont Auvergne, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand, France

<sup>3</sup>CNRS, UMR 6602, IP, F-63178 Aubière, France



## Results and future works

If the training is done on site, really good results...

Nb. Classes	ResNet-152	DenseNet-121	Inception-v4
3	0.99	0.99	0.98
5	0.83	0.81	0.81

Results of meteorological conditions classification into 3 and 5 classes\* with different architectures on the Cerema-AWH database.

\*3 classes: normal, fog, rain

5 classes: normal, heavy fog, light fog, heavy rain, light rain

... but we need to improve it for multi-site detection

Train	Test	ResNet-152	DenseNet-121	Inception-v4
MWD	MWD	0.76	0.77	0.75
I2W	I2W	0.75	0.76	0.75
MWD	AWH	0.63	0.59	0.54
I2W	AWH	0.33	0.36	0.42

Classification results from public databases (MWD, I2W and Cerema-AWH) with 3 meteorological classes



# How to implement an efficient and resilient multimodal traffic management?

Chloé Eyssartier, Marie Douet, Ludovic Vaillant, UMR MATRiS (Cerema, CY Cergy Paris Université)

## Introduction

Building a seamless multimodal transport network is one of the main European policy to reach a greener transport for passengers and freight by 2050.

Thus, the Orchestra project aims to define a Multimodal Traffic Management Ecosystem (MTME) and explore the conditions of its implementation and acceptance.

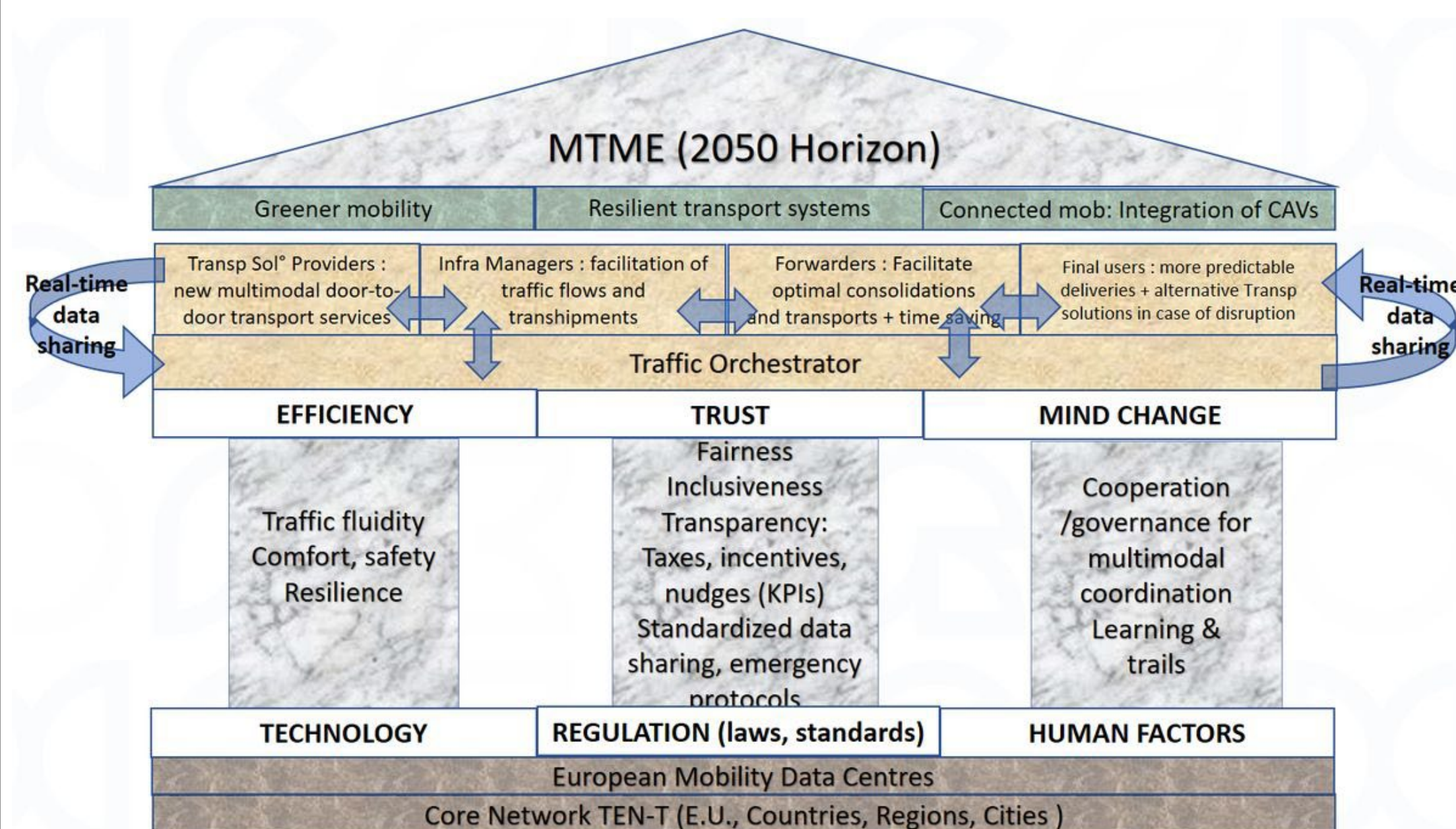
## Materials and methods

The method used to establish the MTME target vision and identify the barriers and enablers of its implementation is based on:

- a literature review;
- the expertise of the project participants;
- interviews with stakeholders;
- workshops: in Herøya Port (No) & Milano airport (It).

## Results (by the end of 2021)

The long-term (2050) vision of the Orchestra project is a future where it is easy to coordinate and synchronise the traffic management of all modes to cope with diverse demands and situations.



The 2050 target vision for Multimodal Traffic Management Ecosystem

The environment analysis identifies five main key-drivers of the MTME:

- the data sharing regulation;
- the standardization of data exchanges;
- transport and data infrastructures investments;
- disruptive situations should be prevented or efficiently handled (included cyber-attacks);
- CO<sub>2</sub> and pollutants emissions costs policies.

Regarding the stakeholders, their interactions and their needs in data exchanges for the traffic orchestration are very diverse.

In addition, the low compatibility and the difficult quantification of the benefits, as well as the implementation and maintenance costs are barriers.

## Conclusions

The implementation of MTME involves a combination of technological, environmental, organisational, and individual factors.

The acceptance of MTME mainly implies:

- the companies, which will have to decide whether or not they have an interest in MTME itself;
- the individual, who will use the technical tool and who will be able to judge the usability difficulties that it represents.

The design aspect of the MTME concept will be developed during the next stage of the project through a functional approach. MATRiS will lead the designing of the scenarios of its implementation and the assessment of its acceptability, particularly by the people that could use the tool.

## Main literature cited

Godet, M., 2007, *Manuel de prospective stratégique*, Tomes 1 & 2, *Une indisciplinée intellectuelle, L'art et la méthode*, 3<sup>e</sup> édition, Ed Dunod.

Venkatesh, Morris, Davis, Davis (2003). *User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View*, MIS Quarterly, 27, p.425-478.

## Acknowledgments

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No 953618. This document reflects only the author's view and the Agency is not responsible for any use that may be made of the information it contains.

## Further information

<https://orchestra2020.eu/> ; [chloe.eyssartier@cerema.fr](mailto:chloe.eyssartier@cerema.fr)

# Projet ECO-TERRA : Une grande avancée dans la compréhension des mécanismes de dissipation acoustique au sein des bétons végétaux

Philippe Glé, UMR AE (Cerema, Université Gustave Eiffel)

## Introduction

Vers des réductions de l'impact environnemental du bâtiment...

Tout en recourant aux ressources locales

### Projet ECO-TERRA



➔ Objectif : développer la terre allégée comme isolant thermique et acoustique pour le bâtiment

## Approche

Une logique de recherche participative incluant chercheurs et acteurs de l'éco-construction

Développement à l'échelle du Perche puis transfert et valorisation sur d'autres territoires

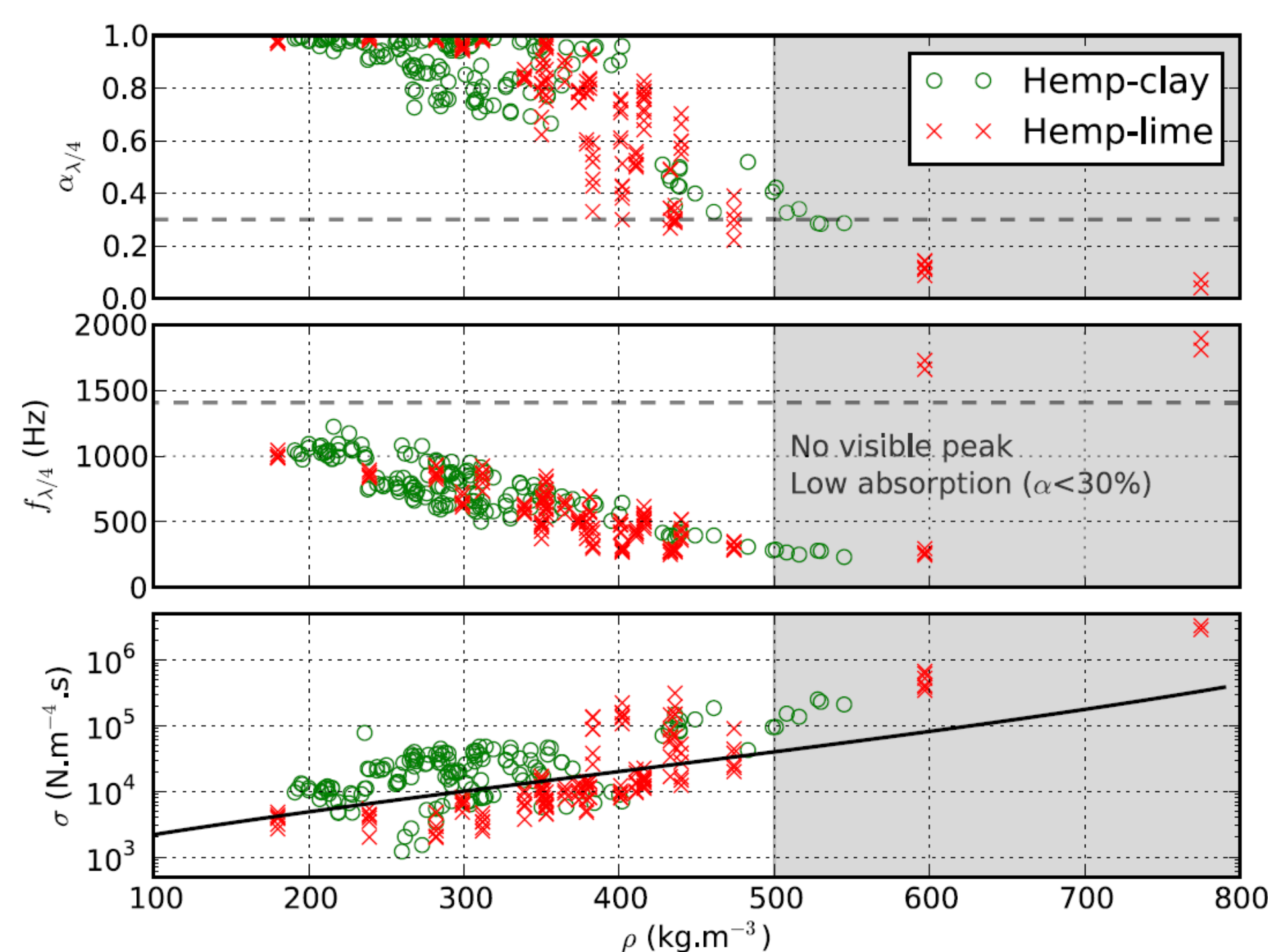
Utilisation de ressources locales non standardisées et présentant une certaine variabilité



## Résultats acoustiques

Trois comportements identifiés sur le terre-chanvre selon sa densité  $\rho$  :

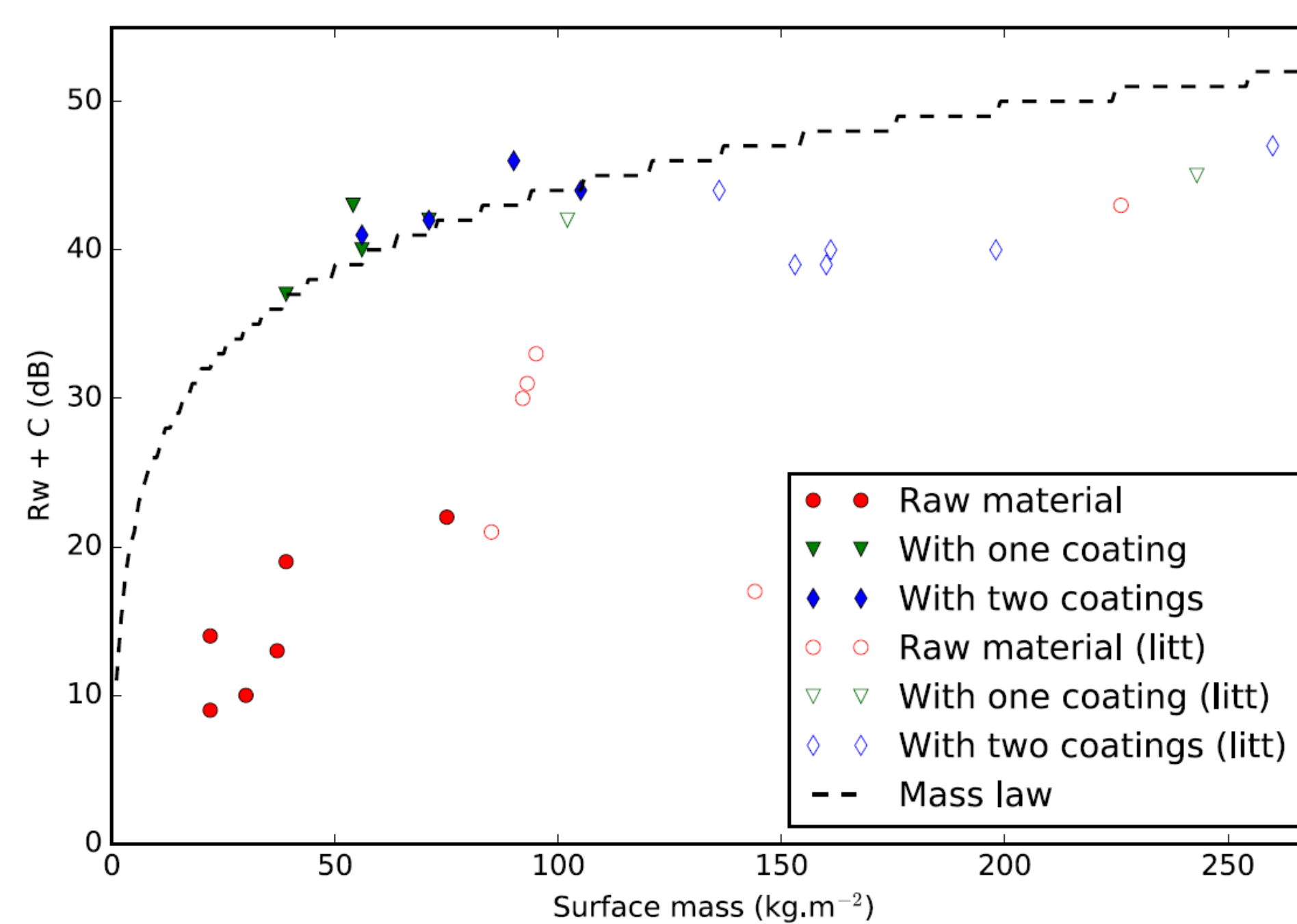
- $\rho < 375 \text{ kg.m}^{-3}$  : matériaux très absorbants ;
- $375 < \rho < 500 \text{ kg.m}^{-3}$  : performances très variables selon le process de fabrication ;
- $\rho > 500 \text{ kg.m}^{-3}$  : faible absorption et perte par transmission (TL) augmentant avec la densité.



Caractéristiques acoustiques du chanvre-chaux et du terre-chanvre en fonction de la densité.

Modélisation satisfaisante par matrice de transfert des parois terre-chanvre à l'aide de couches élastiques et poreuses isotropes

L'approche simplifiée de la loi de masse simplifiée semble uniquement satisfaisante pour estimer les performances des parois enduites.



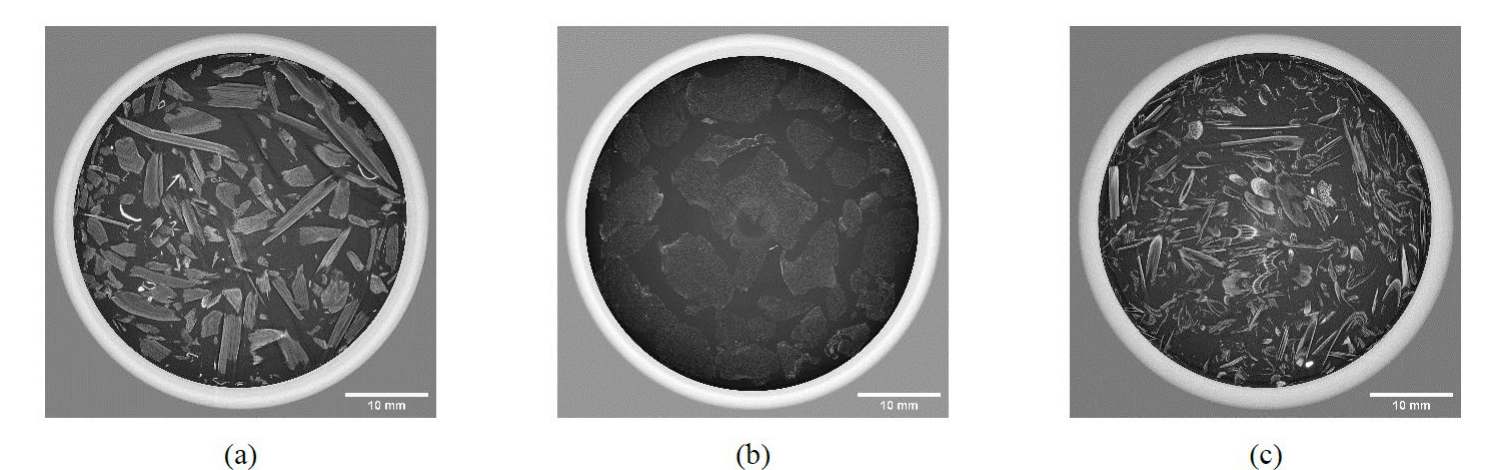
Comparaison entre l'indice d'isolation acoustique  $R_w + C$  mesuré et les estimations basées sur la loi de masse

## Conclusions et perspectives

Une meilleure compréhension des phénomènes acoustiques se produisant au sein des bétons végétaux à l'échelle du matériau et de la paroi

Des travaux de modélisation supplémentaires nécessaires pour étendre nos conclusions aux autres liants et particules disponibles

Travail en cours sur la caractérisation de la microstructure des particules végétales et du comportement des empilements granulaires associés afin de progresser dans cette direction



Vues en coupe horizontale d'empilements de particules de (a) chanvre, (b) moelle de tournesol et (c) roseau obtenues par microtomographie sur la ligne Anatomix (Synchrotron Soleil, sept. 2021).

## Bibliographie

- Degrave-Lemeurs et al., *Acoustical properties of hemp concretes for buildings thermal insulation: Application to clay and lime binders*, Cons Build Mat 160, 2017.
- P. Glé et al., *Characterization and modelling of sound reduction of hemp-clay in buildings*, J Build Eng, 2021.
- P. Glé et al., *Densities of hemp shiv for building: from multiscale characterisation to application*, Ind Crop Prod 164, 2021.

## Remerciements

Merci aux financeurs pour leur soutien et en particulier à l'ADEME dans le cadre de l'AAP Graine 2016

## Pour aller plus loin

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/ecoterra-projet-recherche-performances-betons-terre-chanvre>

Pour toute information complémentaire, n'hésitez pas à contacter par e-mail : [philippe.gle@cerema.fr](mailto:philippe.gle@cerema.fr)

# Improving the knowledge of complex media composed of cracks and multi-parameter inversion

David Guilbert

Équipe de recherche ENDSUM, Cerema

## Introduction

Sustainable infrastructure management

Proposal of methods and tools for auscultation, inspection, monitoring  
Improvement of road maintenance and management policies

Indicator: fine non-emerging cracks in pavements

## Materials and methods

Detection and evaluation of debonding by radar methods

Frequency spectrum wider than that used in the literature

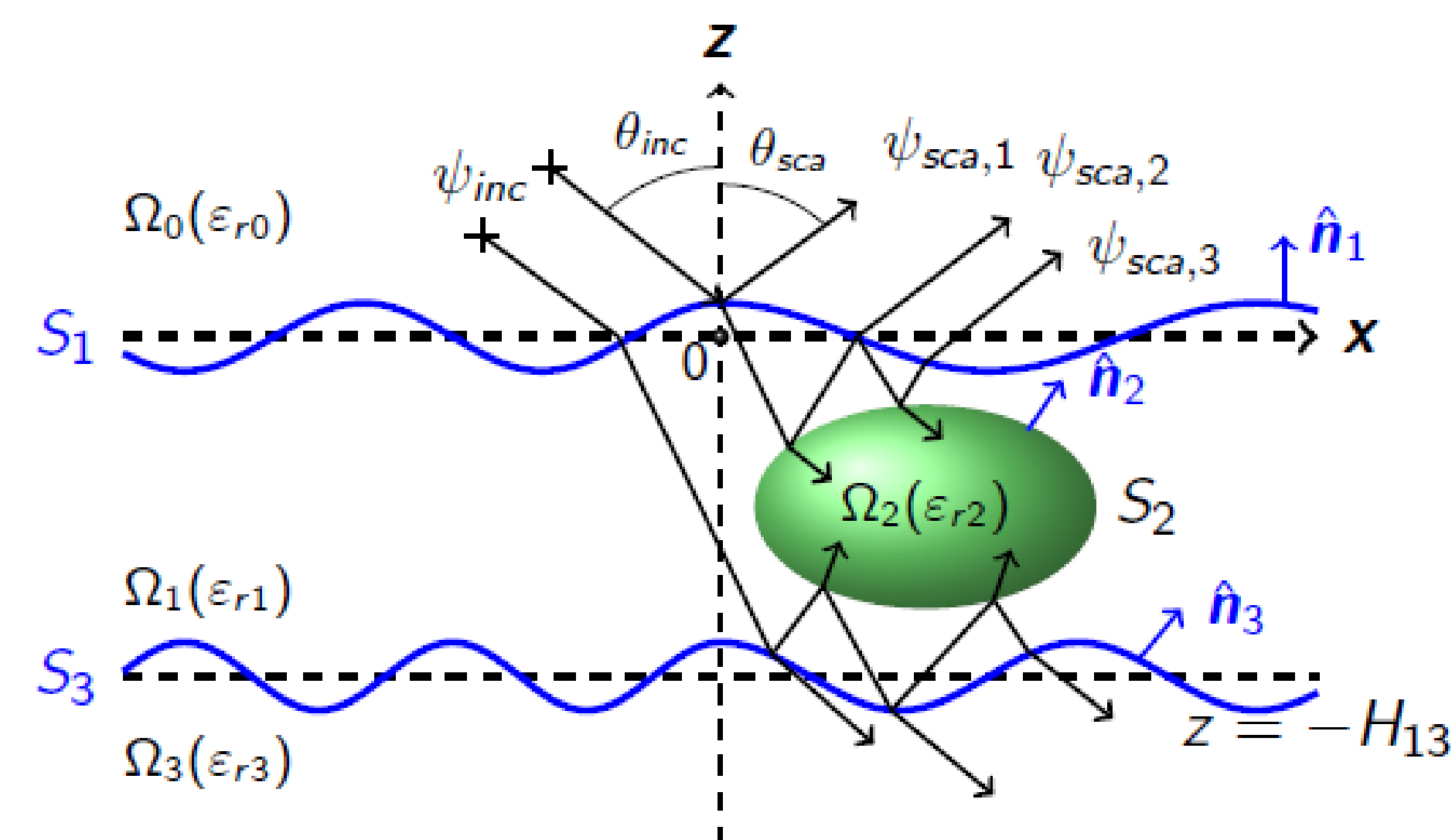
Extension of GB-SAR to this "pavement" application

Development of high resolution processing methods for geophysical radar and GB-SAR

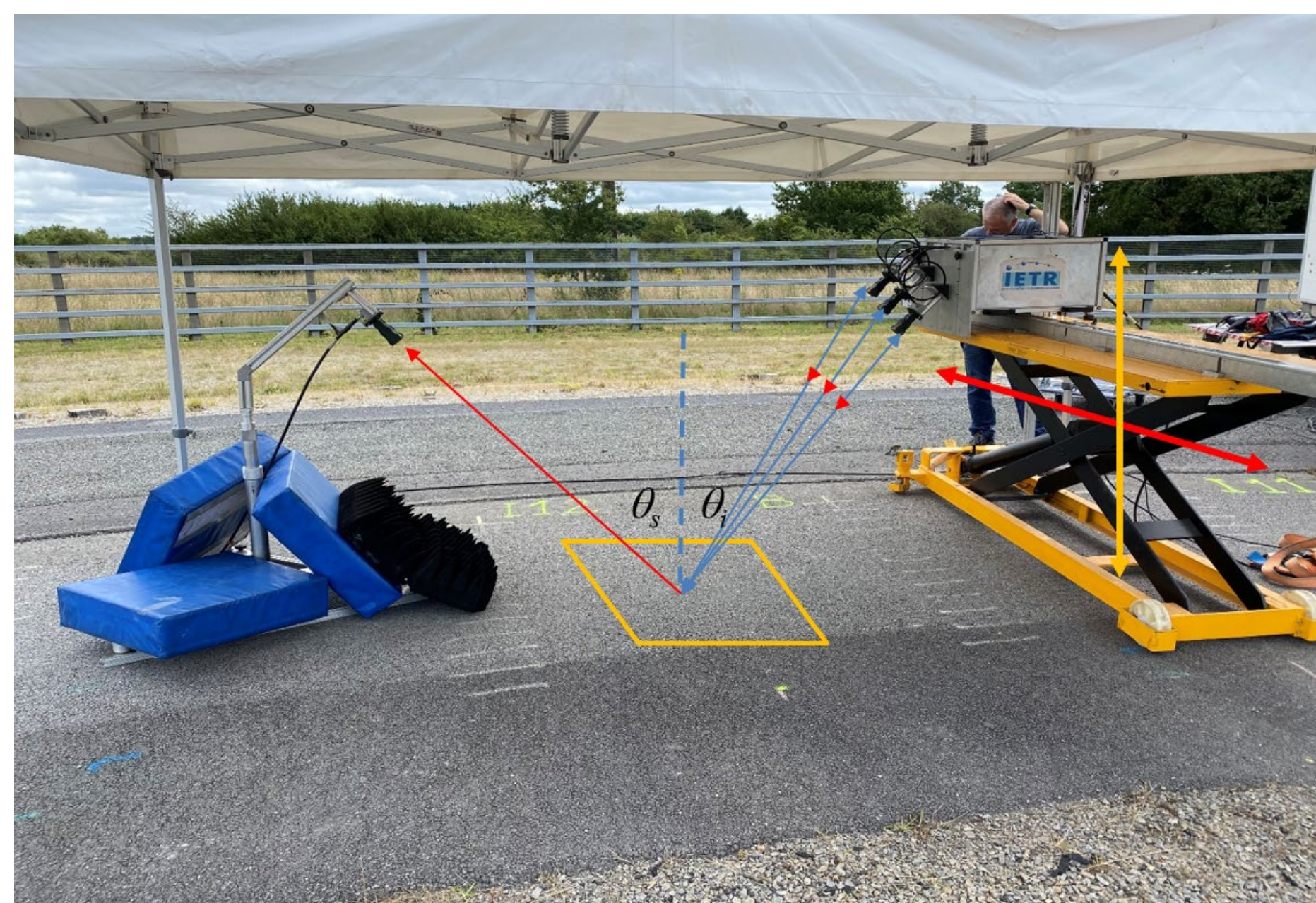
## Acknowledgments

This work is part of the research project ACIMP (ANR-18-CE22-0020) funded by the French National Research Agency (ANR).

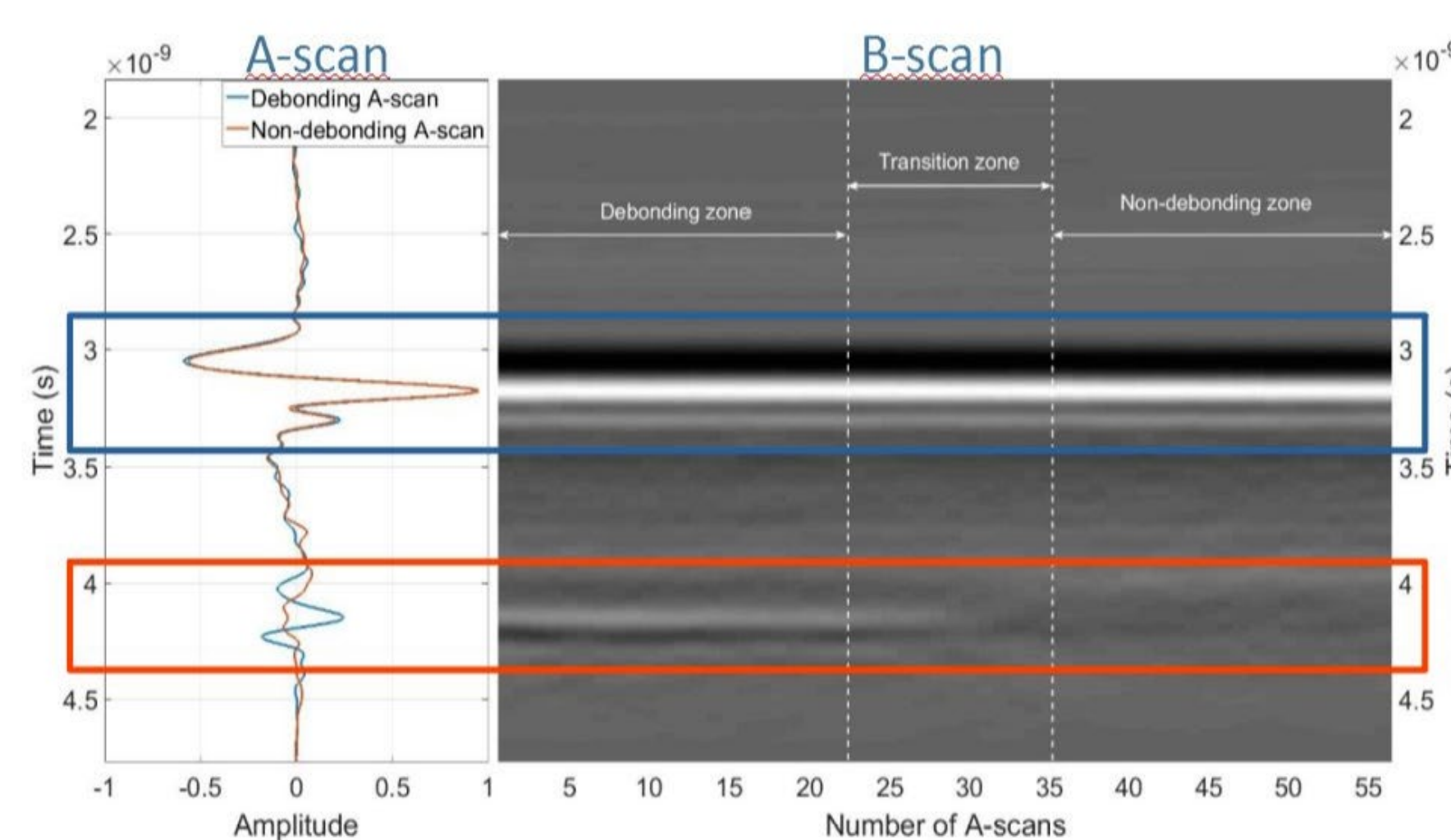
## Results



Rigorous mathematical model  
Discretization by MoM: taking into account roughness  
Theoretical and numerical validation  
Rapid Methods (GPiLE)



## Monostatic and bistatic SAR



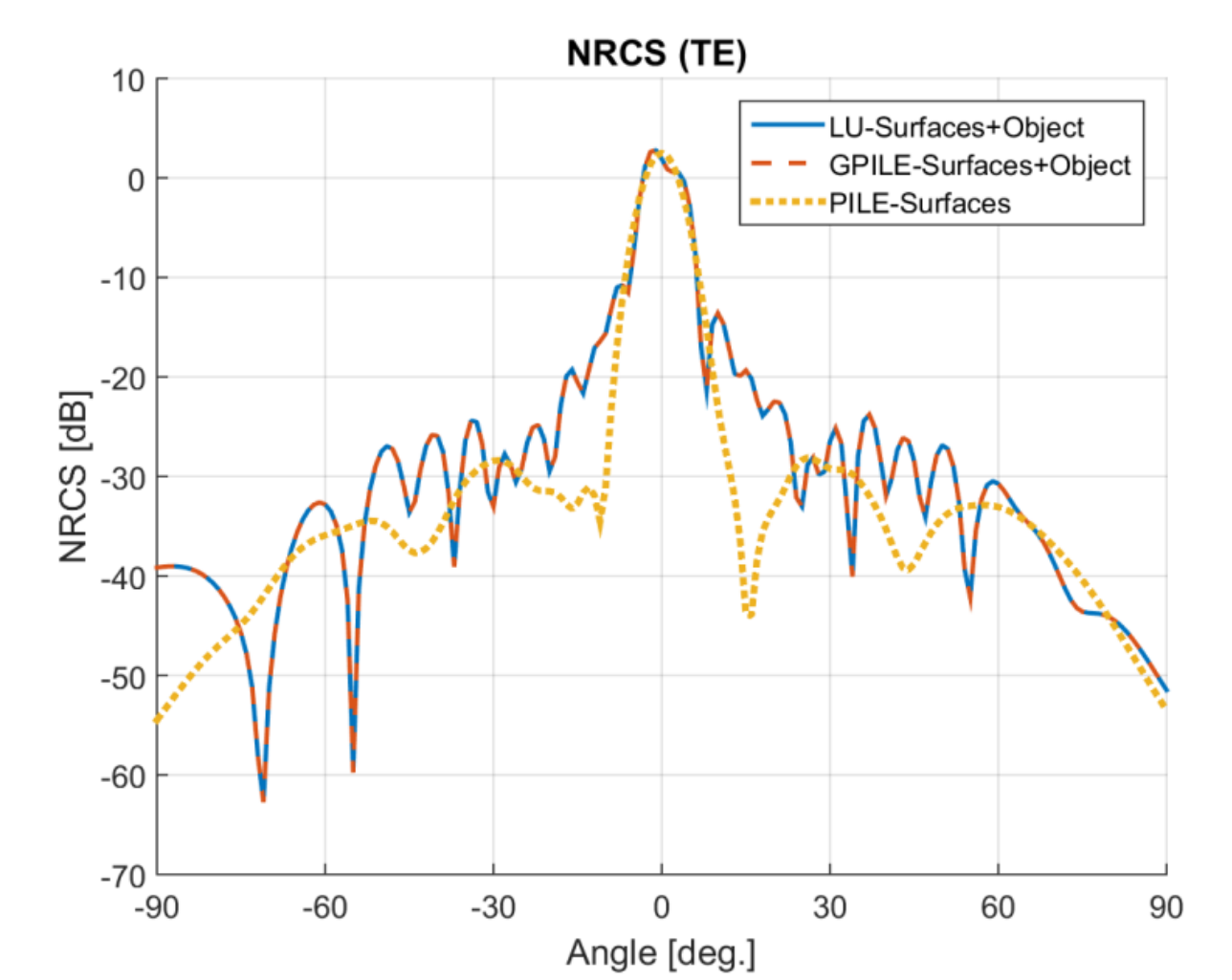
Debonding layers result in overlapping echoes  
PUMA is a versatile polynomial HR method adapted to GPR application for time delay estimation

## Further information

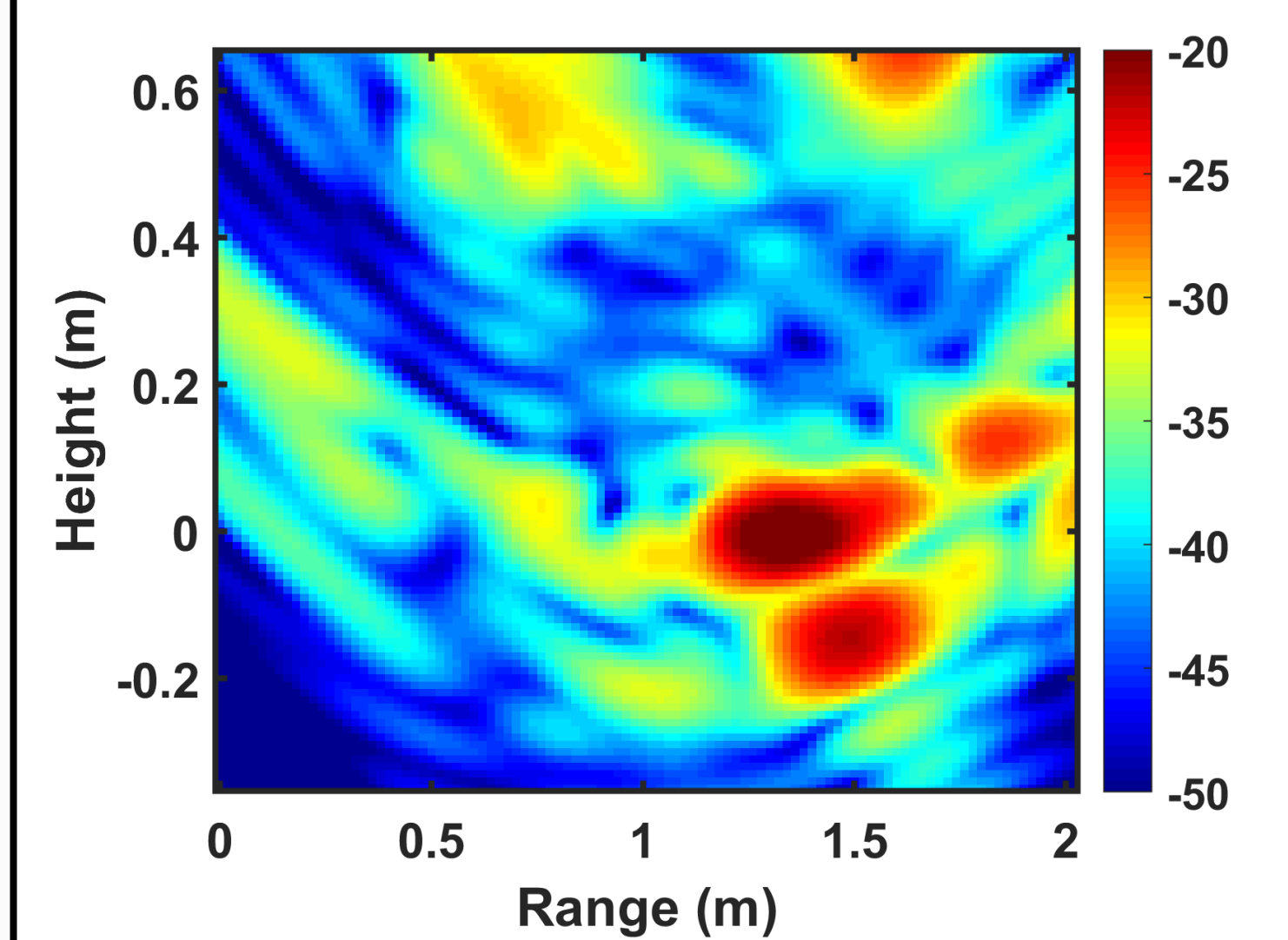
Gpile: [Christophe.Boullier@univ-nantes.fr](mailto:Christophe.Boullier@univ-nantes.fr)  
[frnicolas.pinel@icam.fr](mailto:frnicolas.pinel@icam.fr)  
GB-SAR: [Laurent.FERRO-FAMIL@isae-supaero.fr](mailto:Laurent.FERRO-FAMIL@isae-supaero.fr)  
HR: [david.guilbert@cerema.fr](mailto:david.guilbert@cerema.fr),  
[vincent.baltazart@univ-eiffel.fr](mailto:vincent.baltazart@univ-eiffel.fr)  
Exp.: [xavier.derobert@univ-eiffel.fr](mailto:xavier.derobert@univ-eiffel.fr)

## Conclusions

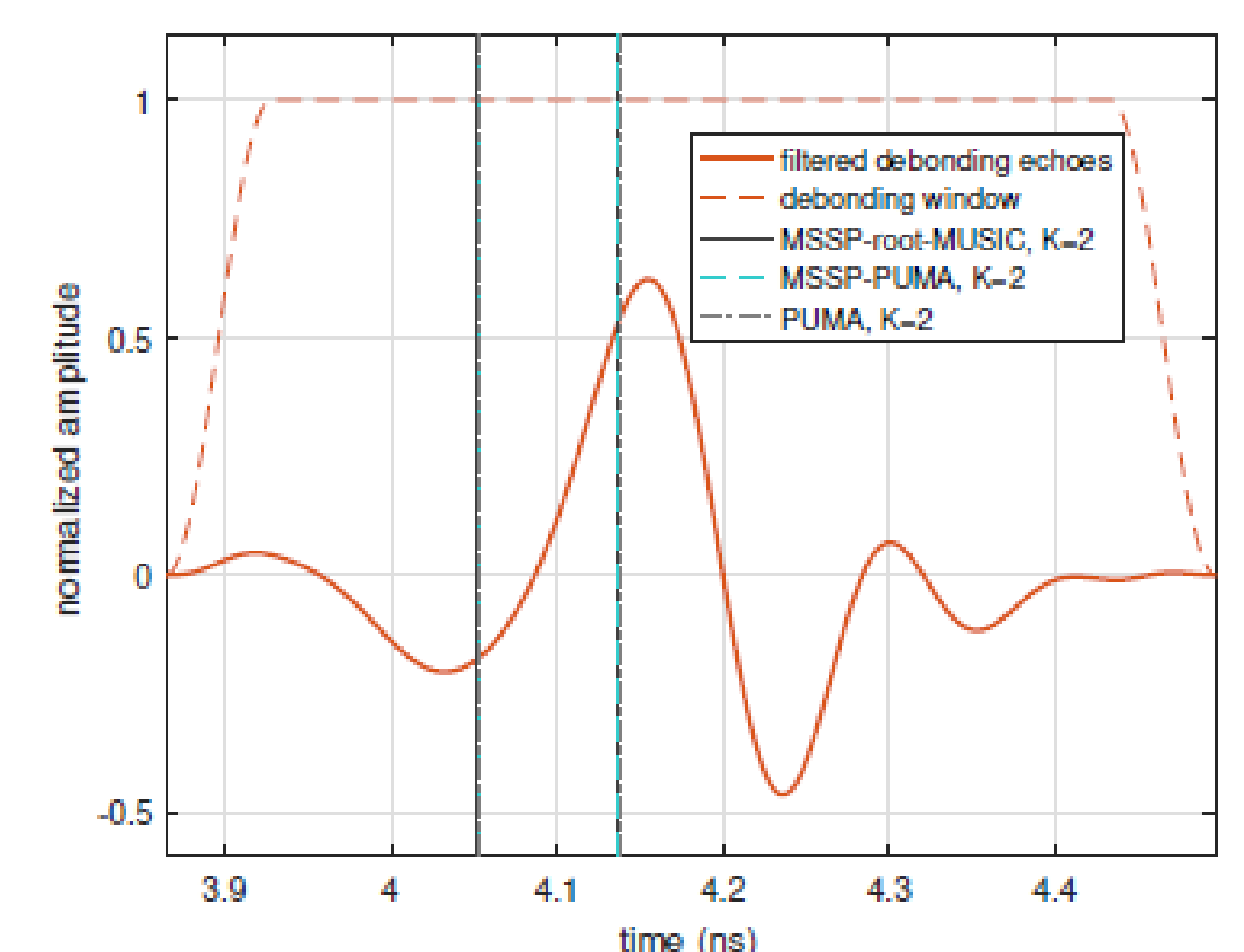
Numerical method  
Gpile



Realistic crack scenario (horizontal/vertical)



Different configurations tested  
Features of pavement and underground defects with experimental results



Time delay and thickness estimation

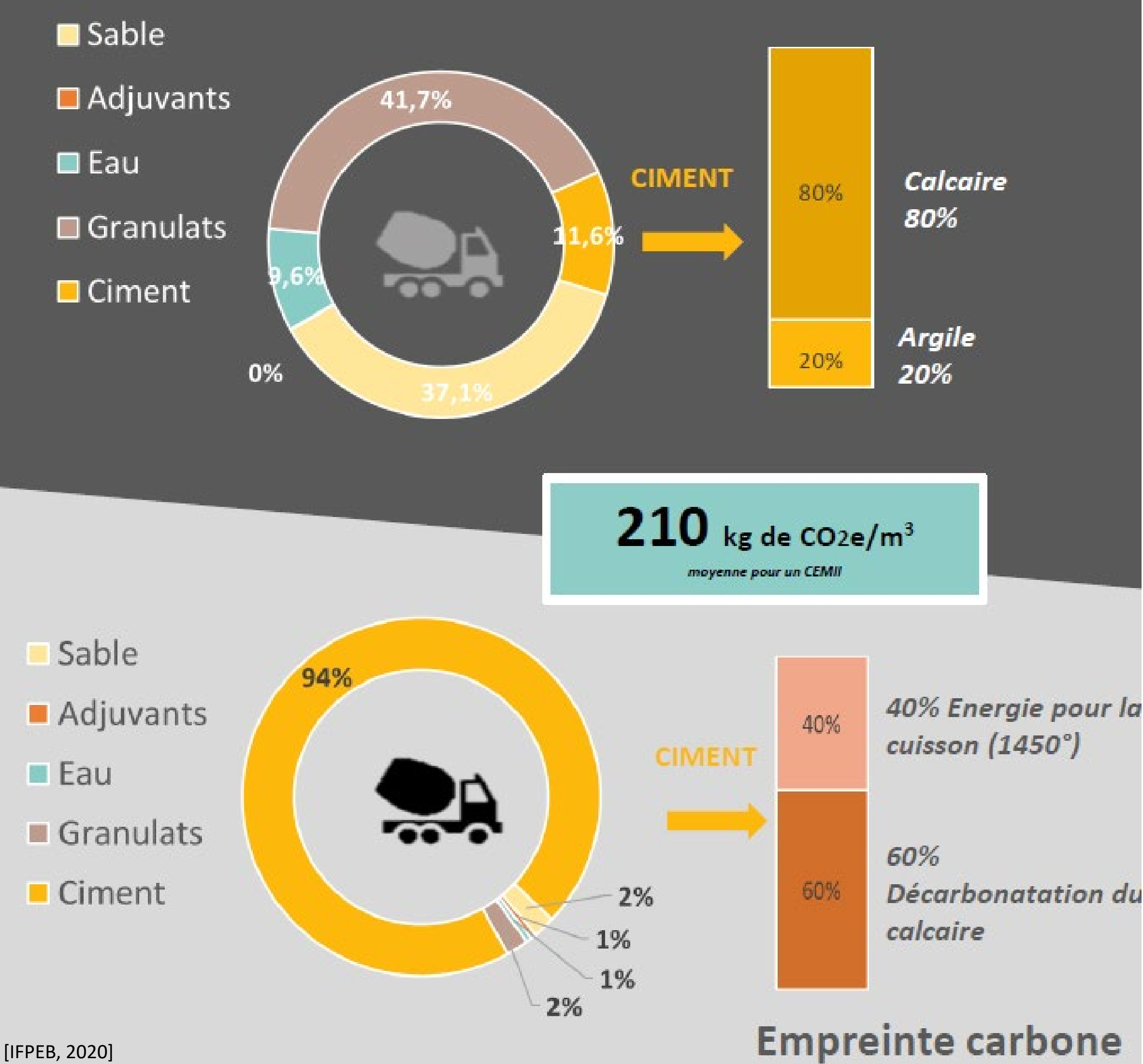
# Neutralité carbone de l'industrie Ciment & Béton Constats et perspectives

Émilie Bouchard, Nacef Tazi, Rachida Idir, UMR MCD (Cerema, Université Gustave Eiffel)

## Introduction

L'impact CO<sub>2</sub> de industrie du ciment & béton en chiffres

Répartition massique d'un béton non armé



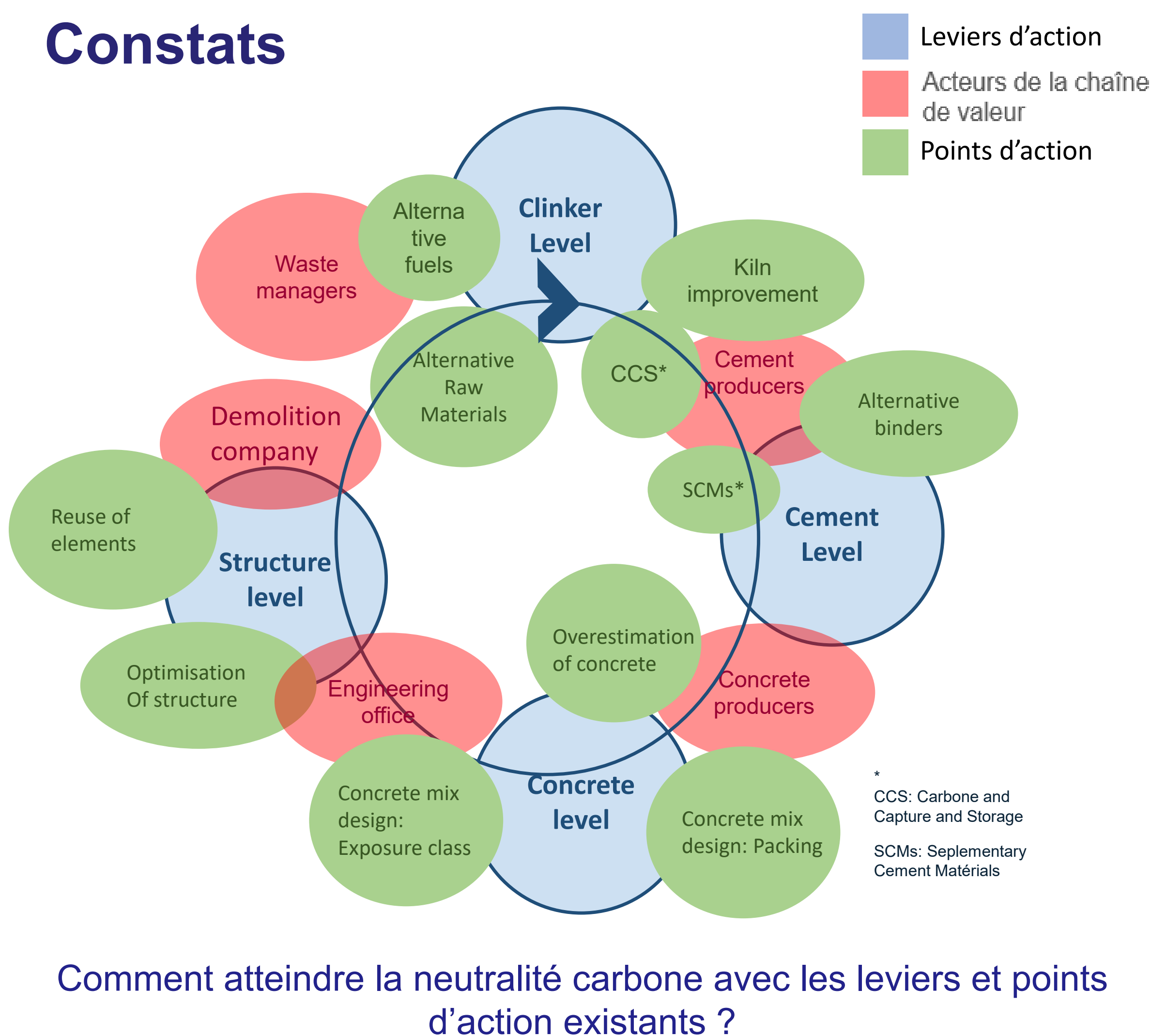
## Méthodologie

- Sélection et validation de points d'action pour une neutralité carbone
- Constitution de scénarii pour atteindre une neutralité carbone
- Attribution d'un score « impact CO<sub>2</sub> » et de maturité technologique pour chaque scénario et points d'action qui le constituent
- Validation des solutions optimales pour atteindre une neutralité carbone à court (2030) et moyen (2050) termes

## Scénarii constitués

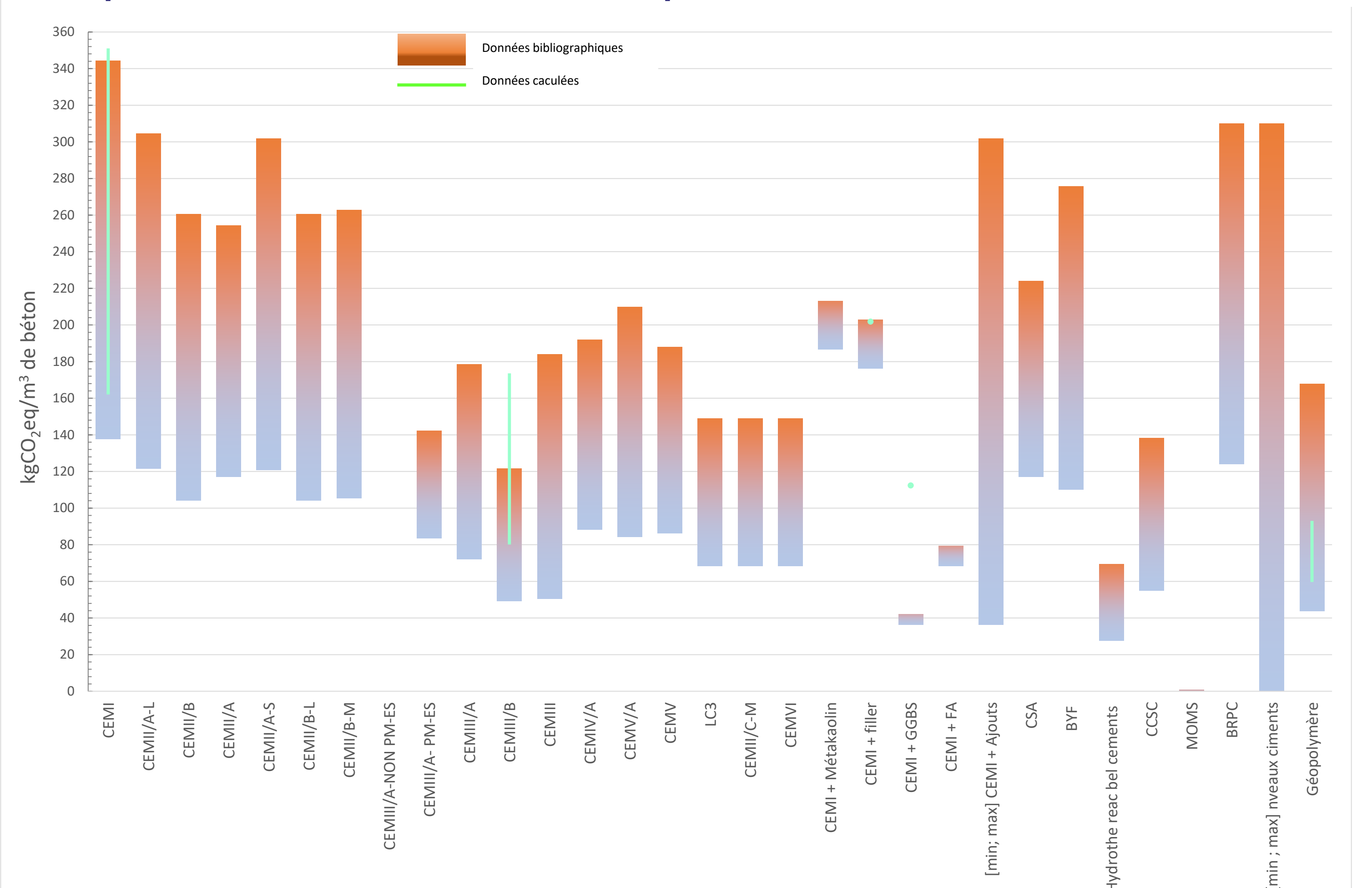
- Scénario 1 :** « technologie de rupture avec séquestration du dioxyde de carbone »
- Scénario 2 :** « usage optimisé du béton et recyclage du béton de déconstruction »
- Scénario 3 :** « optimisation structurelle en composants préfabriqués »
- Scénario 4 :** « modernisation de procédés et électrification des fourneaux »
- Scénario 5 :** « utilisation de matériaux alternatifs aux matériaux conventionnels »
- Scénario 6 :** « Scénario 1 + Scénario 5 »

## Constats



## Résultats

Comparaison de l'intensité carbone de pâtes à base de différents ciments / liants



## D'autres leviers à explorer ?

... à l'échelle du produit

- Favoriser la déconstruction / reconstruction
- Réemploi des matériaux
- Amélioration de la durée de vie

... à l'échelle du processus

- Combustibles durables
- Capture et stockage de CO<sub>2</sub>
- Stockage de CO<sub>2</sub> dans les matériaux

... autres

- Évolution des normes
- Élargissement de la responsabilité du producteur
- Modernisation de l'industrie

## Remerciements

L'équipe de recherche DIMA remercie le Cerema et l'Université Gustave Eiffel pour avoir permis la création de l'équipe de recherche commune intitulée « Équipe de Recherche Commune sur les Matériaux pour une Construction Durable (ERC MCD) », au sein de laquelle ce travail de recherche a été réalisé.

## Pour plus d'informations

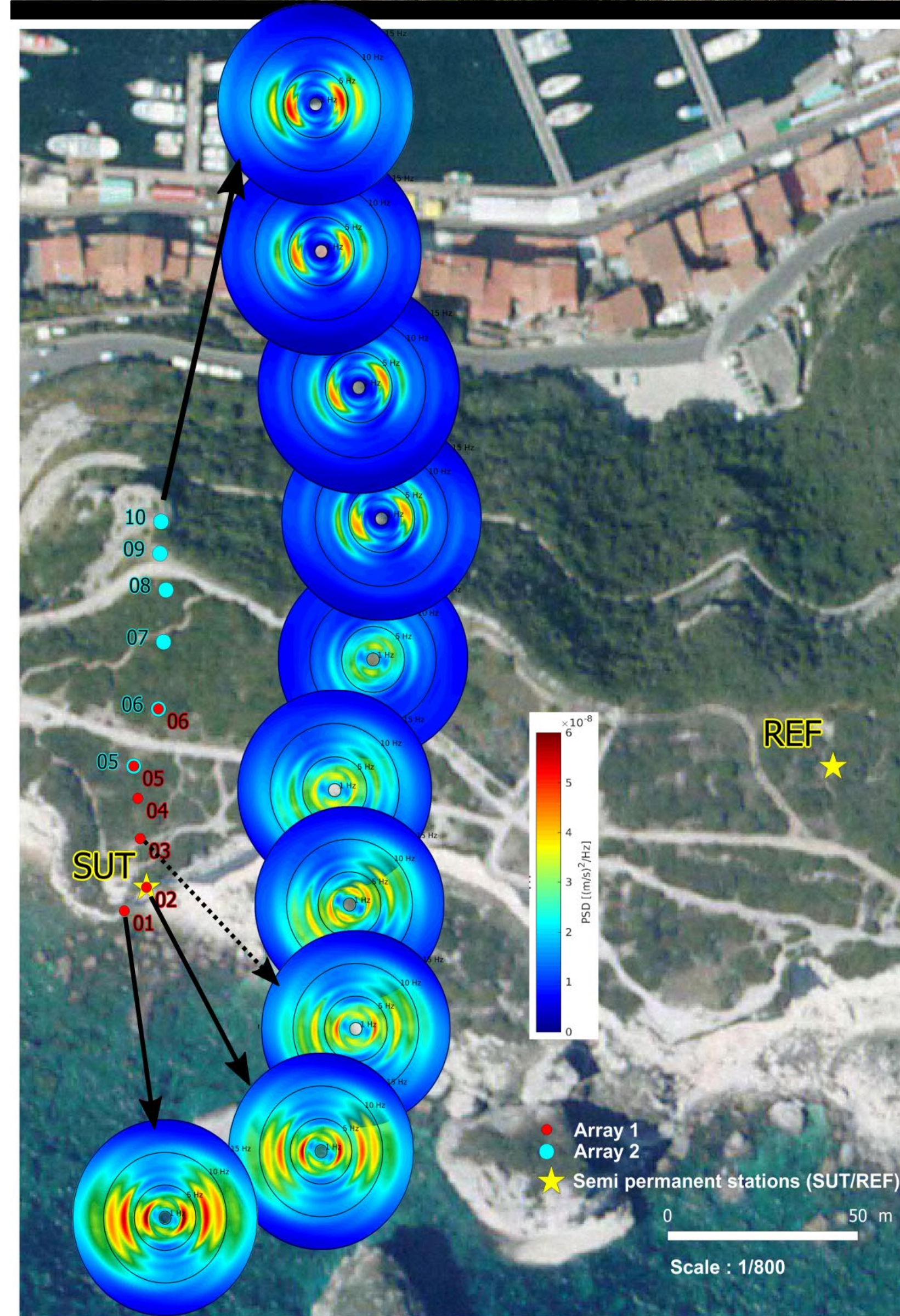
Rachida Idir  
UMR MCD  
rachida.idir@cerema.fr

# L'instrumentation sismologique comme outil pour la caractérisation et le suivi des sols, sites et structures

Équipe de recherche REPSODY, Cerema



Instabilités de falaises



Caractérisation modale (fréquences et amortissements) d'un bloc instable. Commune de Peille (Alpes-Maritimes, 06)

Spectres de Fourier directionnels pour trouver les directions principales de mouvement d'une falaise (commune de Bonifacio (Corse du Sud))



Effets de site lithologiques et topographiques

Campagne de bruit de fond « réseau » pour imager la structure du sous-sol d'une vallée alpine. Vallée de l'Ubaye (04)

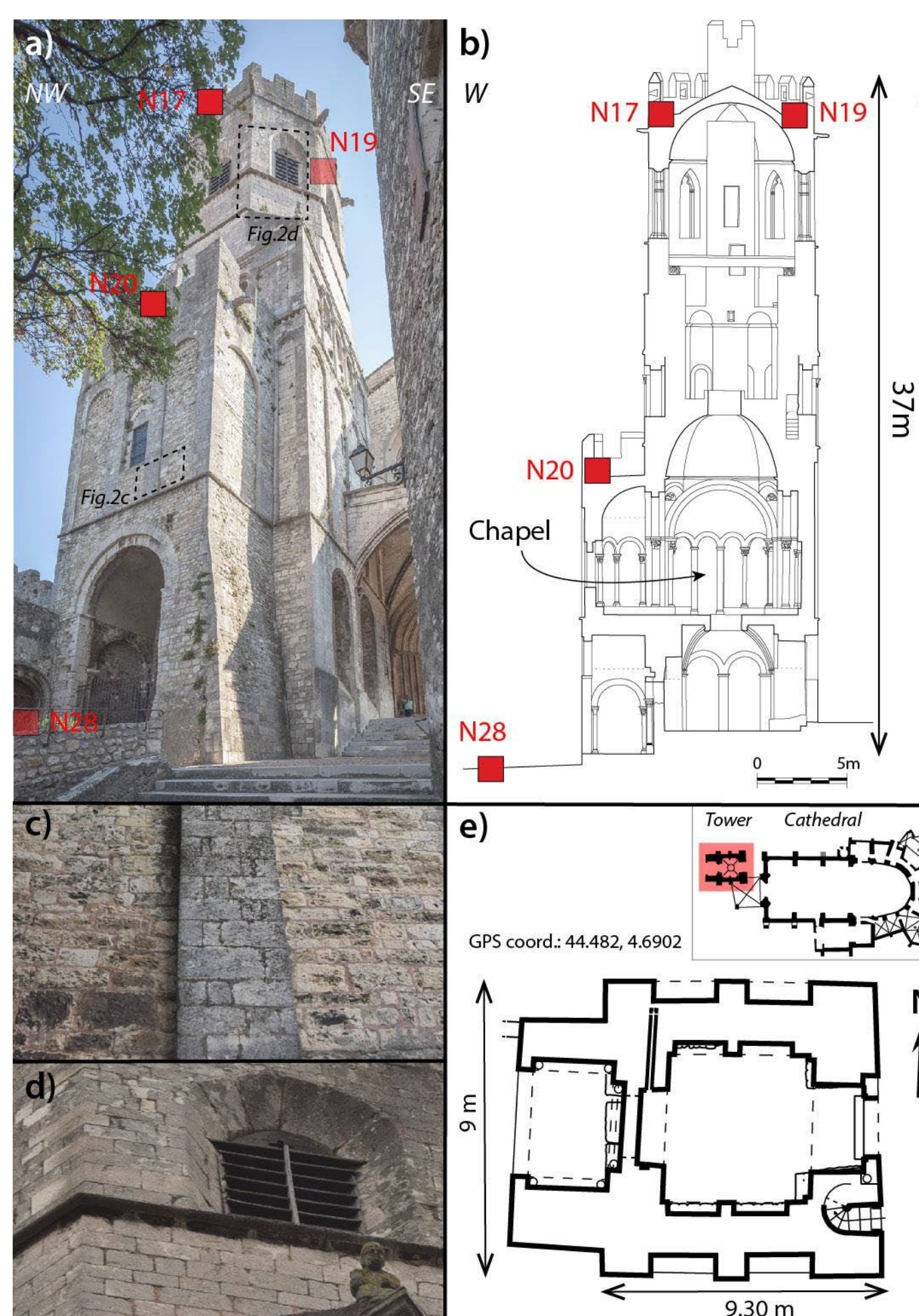
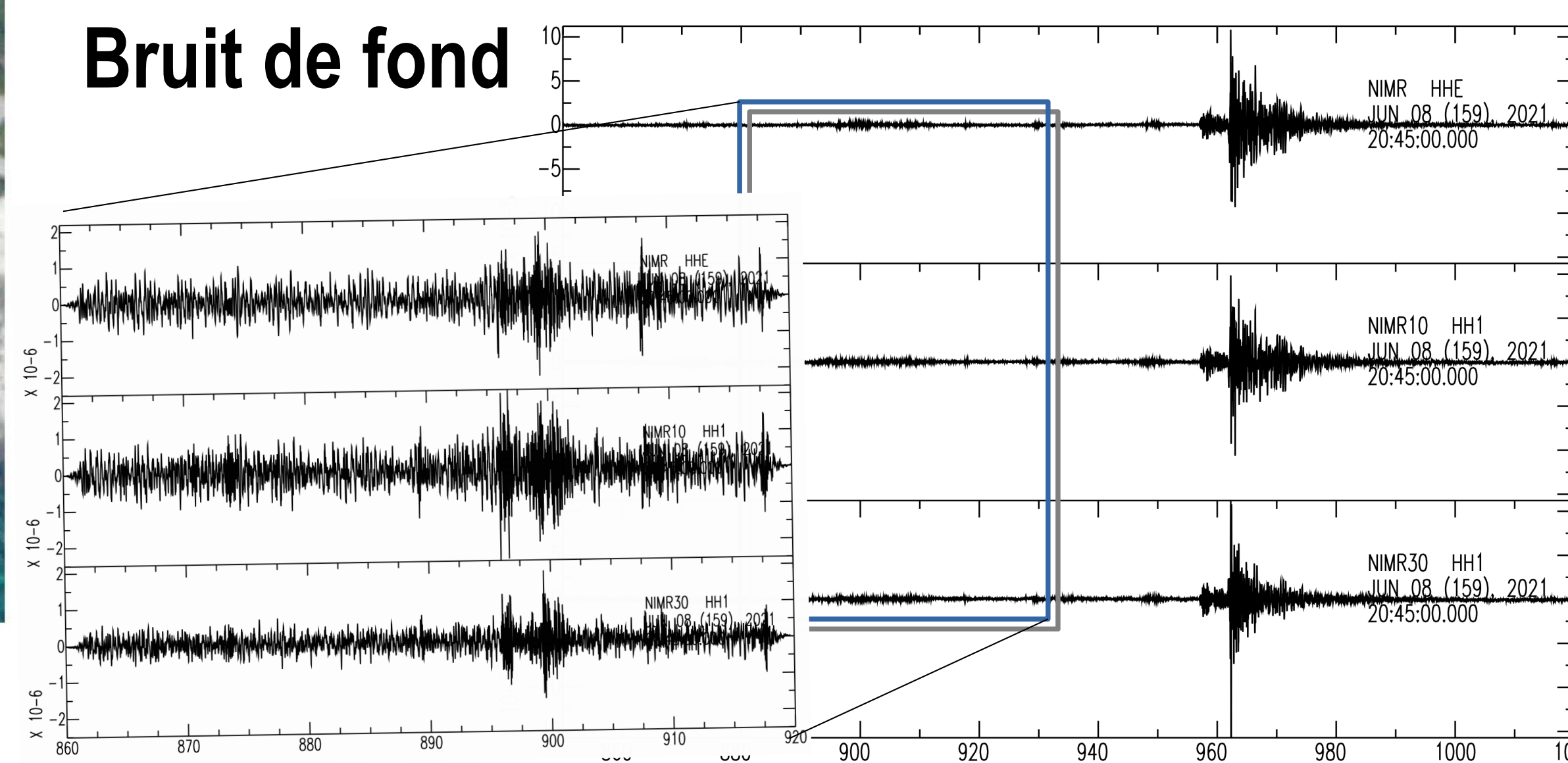


Parc instrumental

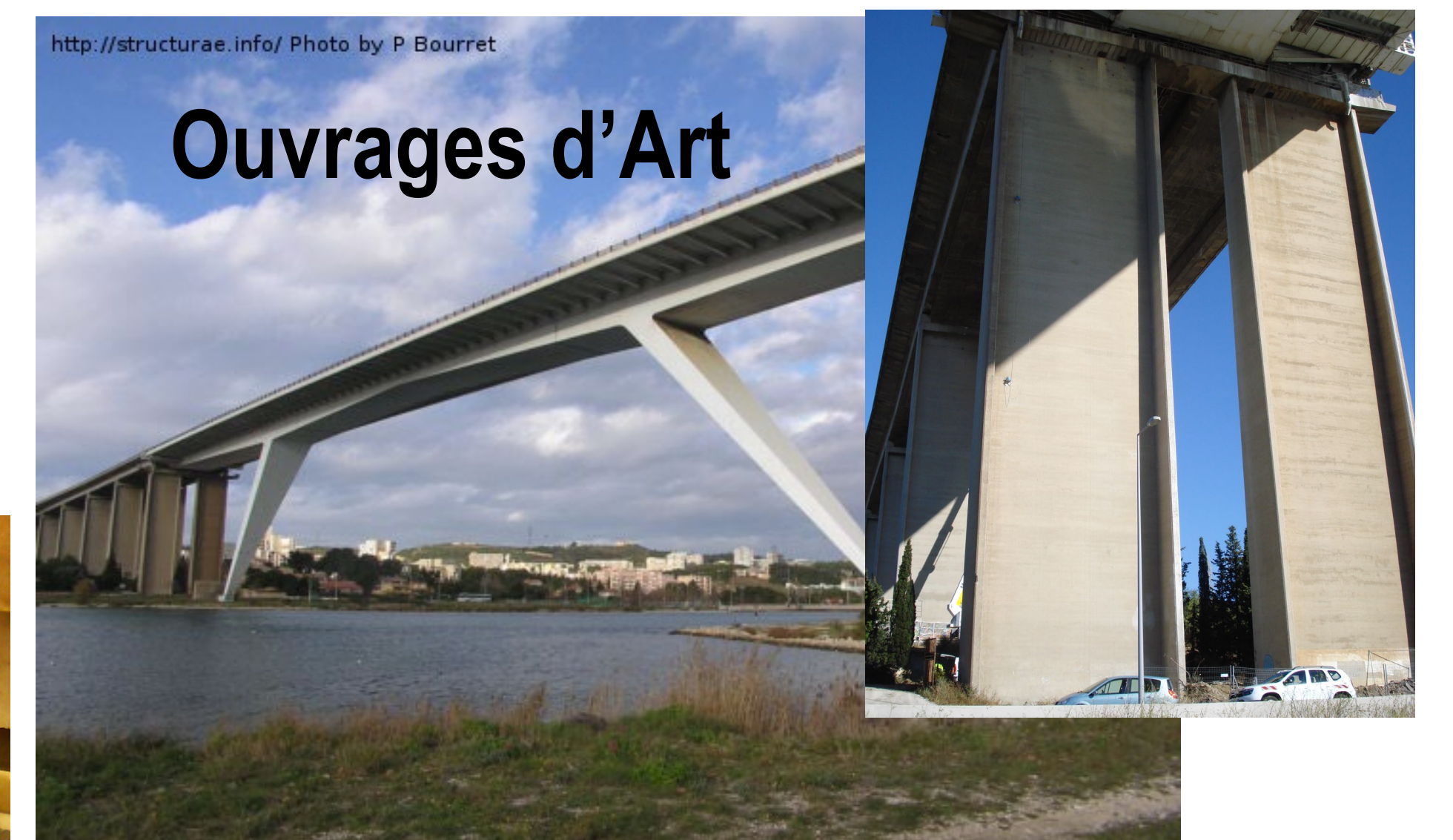
Haut : Numériseurs DM24 Guralp et Kephren (Recodages)  
Droite : Vélocimètres Le3D Lite (1s) et Guralp CMG40T (5s)



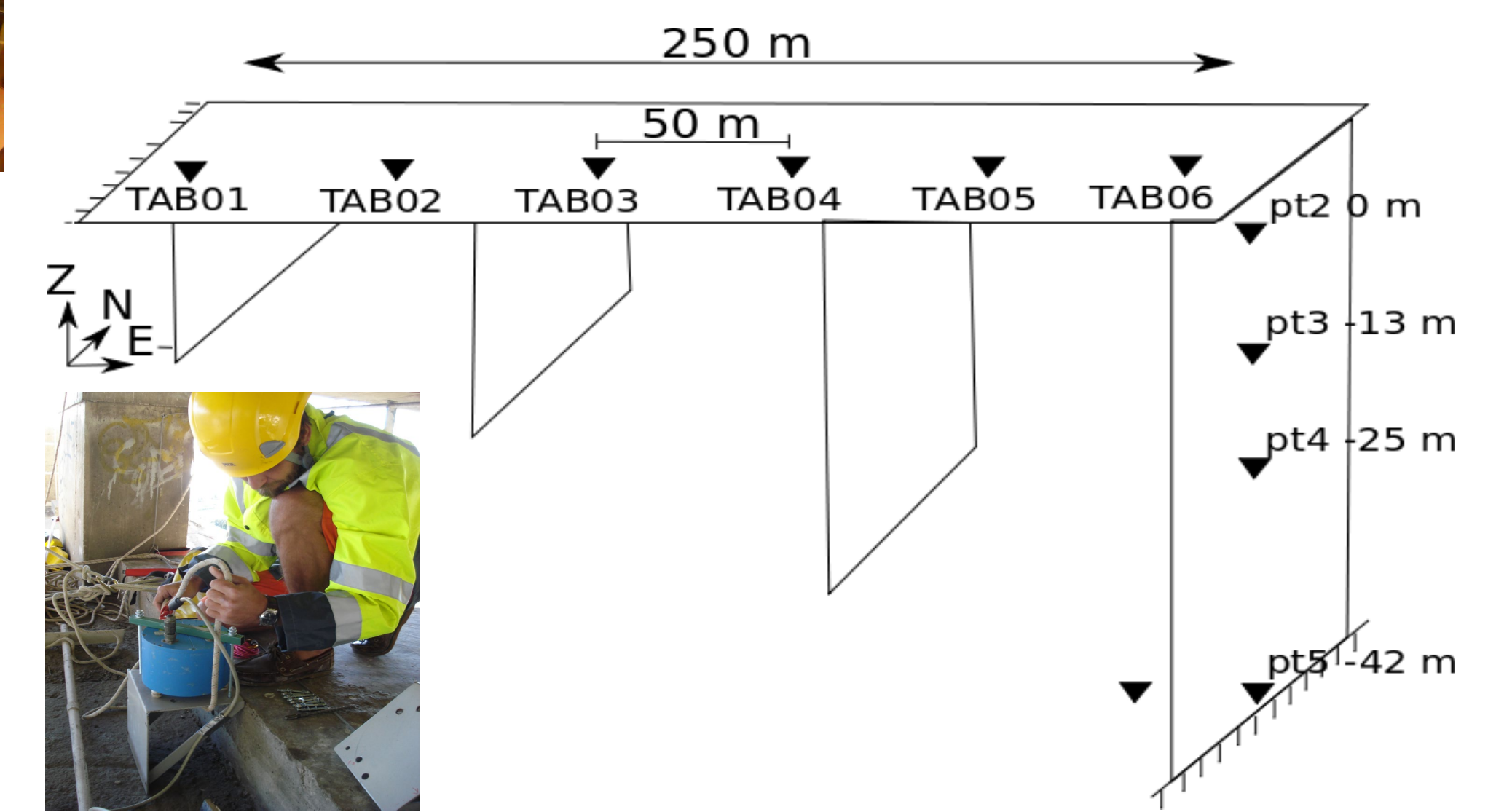
Bruit de fond



Réponse sismique de structures en maçonnerie ancienne : Tour St Michel, Viviers (07)



Ouvrages d'Art



Caractérisation dynamique des ouvrages d'art par analyse modale opérationnelle (OMA). Campagne sur le viaduc de Martignes (13)



Instrumentation de la Tour de la Préfecture de Nice. Basse vallée du Var (06). Station permanente du RAP (Réseau Accélérométrique Permanent), financement par le MTE.

## Références scientifiques

- Rohmer, O. et al (2020) Combining borehole log-stratigraphies and ambient vibration data to build a 3D model of the Lower Var Valley, Nice (France), *Engineering Geology*, 270 :105588.
- Perrault, M., et al (2019) Operational Analysis of Two Strut-Frame Bridges in the Southern East of France. *8th Int. Operational Modal Analysis Conference (IOMAC)*, Copenhagen, Denmark, 13-15 May 2019.
- Pacheco, D et al. (2021) Profiling the Quito basin (Ecuador) using seismic ambient noise. *Geophys. J. Int.*, vol 228:2, <https://doi.org/10.1093/gji/ggab408>
- Combey, A et al. Post-seismic survey of a historic masonry tower and monitoring of its dynamic behavior in the aftermath of Le Teil earthquake (Ardeche France). *Bull. of Seism. Soc of Am.* XX, 1-19 doi: 10.1785/0120210258
- D'Angio' D., et al (2021a). Microseismic monitoring to assess rock mass damaging through a novel damping ratio-based approach. *Int. J. of Rock Mech. and Mining Sci.*, vol. 146, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2021.104883>

## Pour plus d'informations

<https://www.cerema.fr/repsody>

# Caractérisation et modélisation de la fissuration des enrobés vieillis

Bernus Kouevidjin<sup>1</sup>, Jean-François Barthélémy<sup>1</sup>, Ciryle Somé<sup>1</sup>, Hechmi Ben Dhia<sup>2</sup>, Virginie Mouillet<sup>3</sup>

<sup>1</sup> UMR MCD (Cerema, Université Gustave Eiffel), F-77171 Sourdun, France  
<sup>2</sup> Université Paris-Saclay, Centrale Supélec, MSS Mat Laboratory, 91191 Gif-sur-Yvette, France  
<sup>3</sup> UMR MCD (Cerema, Université Gustave Eiffel), F-13000 Aix-en-Provence, France

## INTRODUCTION

La fissuration est une des principales pathologies des chaussées. Elle peut être aggravée par les aléas climatiques durant la vie de la chaussée. Bien qu'ils aient fait l'objet de nombreuses études, les mécanismes d'initiation et de propagation des fissures dans les chaussées demeurent d'actualité. Ceci est en grande partie lié aux modes de rupture et de sollicitations possibles ainsi qu'au caractère viscoélastique des enrobés, qui rendent la compréhension et la modélisation de ces matériaux très délicate. Afin de répondre au défi majeur de durabilité des chaussées, il est important de comprendre ces mécanismes de dégradation.

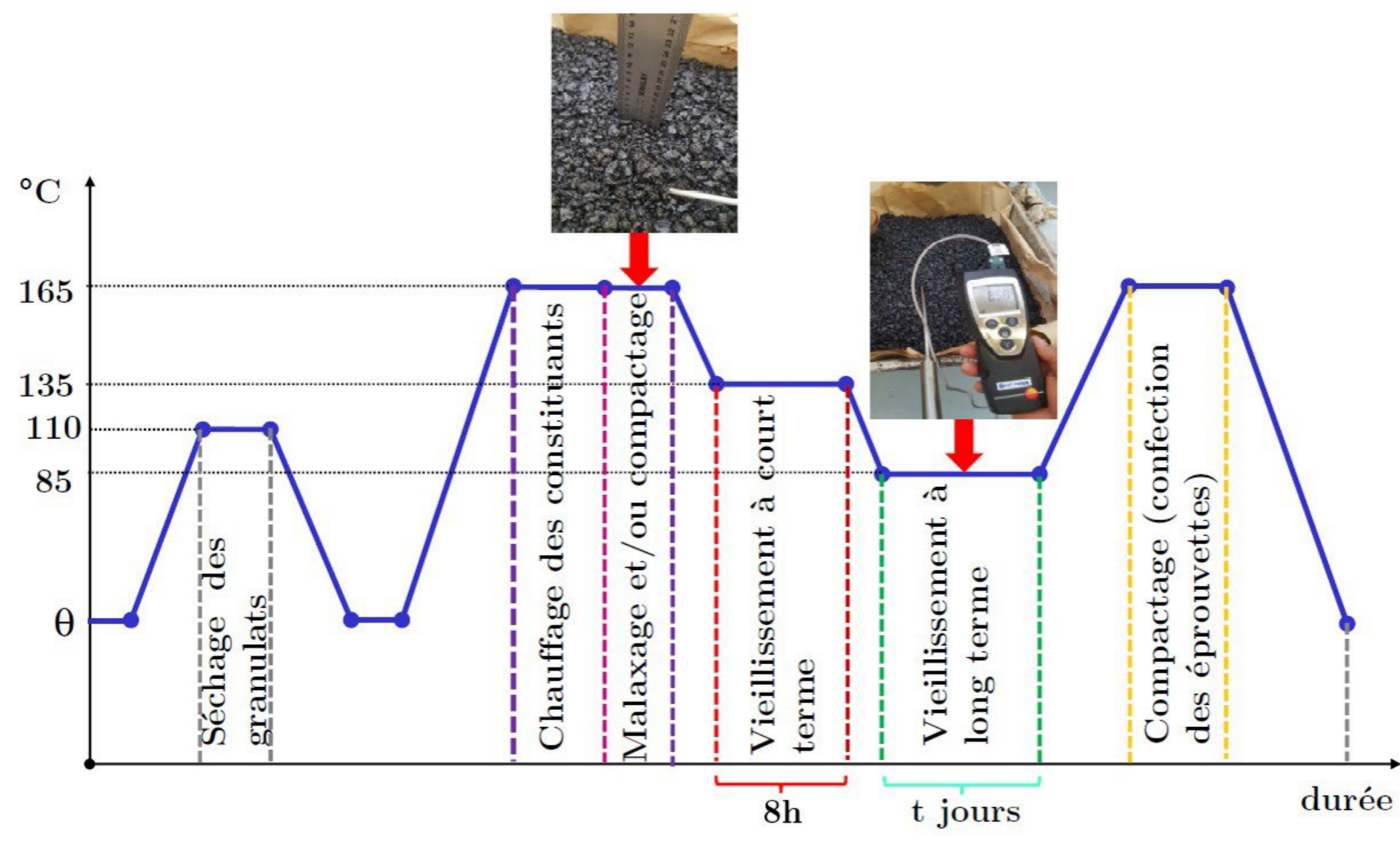
### Objectifs :

- Évaluation de l'impact du vieillissement thermique sur le comportement à la rupture des enrobés ;
- Développement d'un modèle prédictif de fissuration des enrobés s'appuyant sur une base thermodynamique rigoureuse.

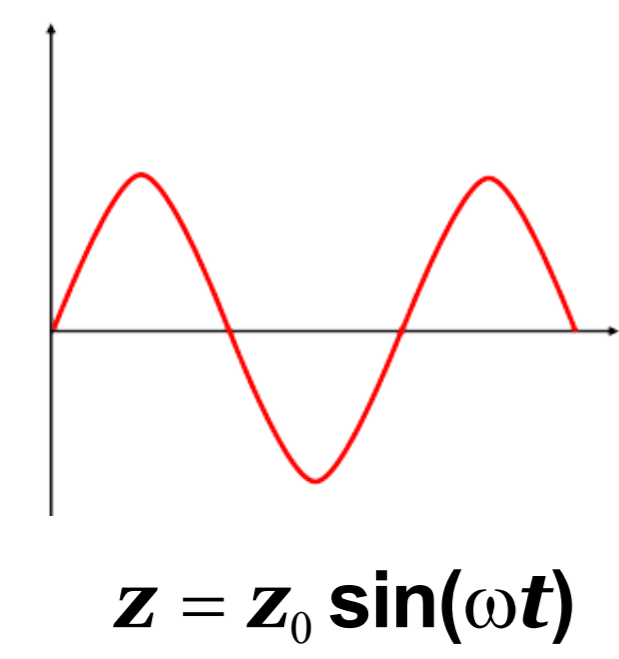
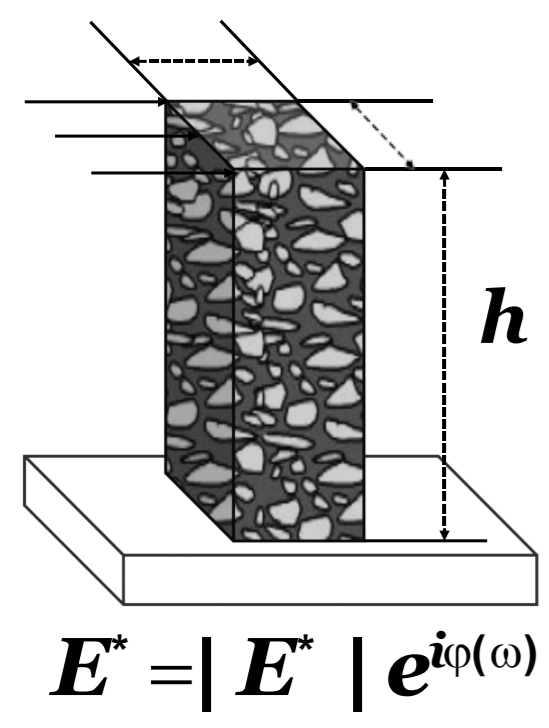


## 1 MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

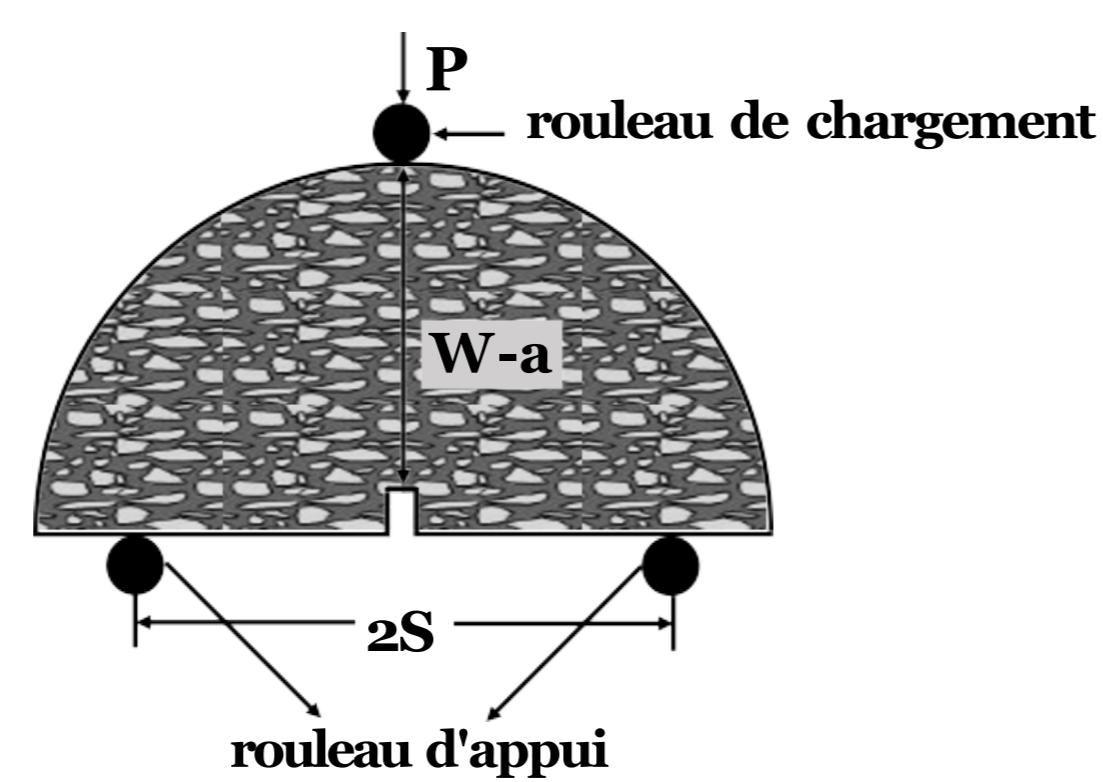
### Protocole de vieillissement accéléré en laboratoire



### Essai de mesure du module (2PB-PR)



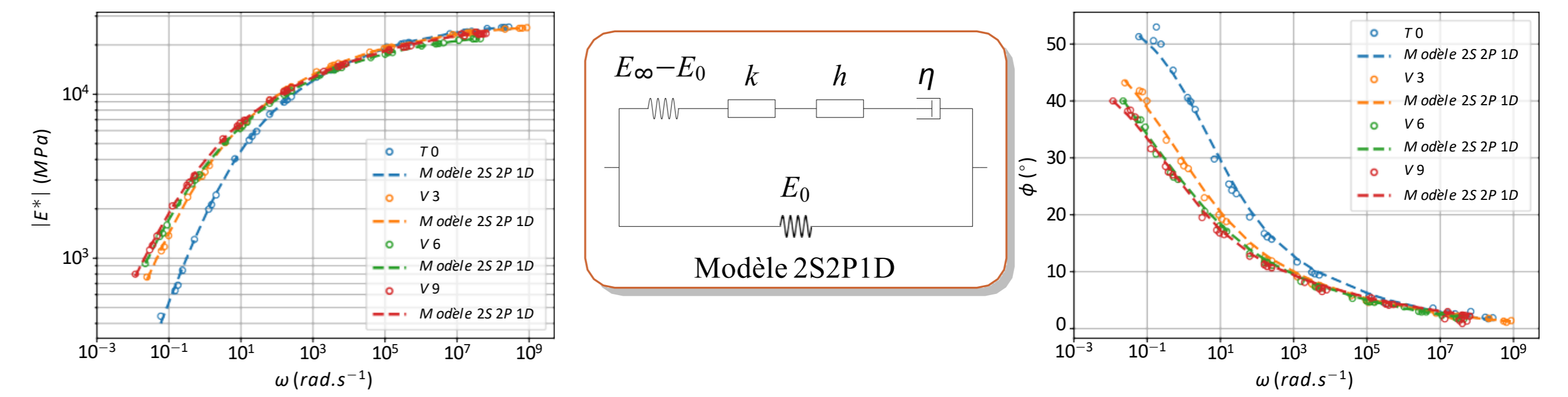
### Essai de propagation de fissure (SCB)



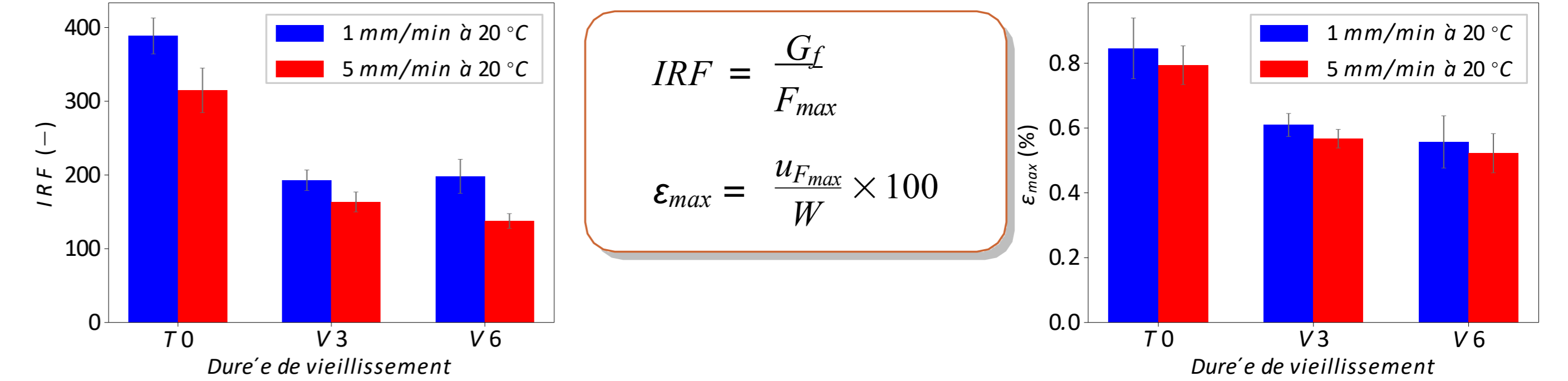
## 2 RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Les essais réalisés dans le cadre de cette démarche expérimentale ont permis d'évaluer l'influence du vieillissement par oxydation sur les propriétés du mélange.

### Courbe maîtresse de $|E^*|$ & de $\phi$ à $\theta_R = 20^\circ\text{C}$



### Indice de la résistance (IRF) & Déformation ( $\epsilon_{max}$ ) à la rupture à $20^\circ\text{C}$



- Chute d'environ 50 % de l'indice de résistance à la fissuration ;
- Baisse importante de la déformation à la rupture.

## 3 ÉTUDE THÉORIQUE

### Formulation viscoélastique linéaire isotrope non vieillissante

$$\Delta \sigma = C : \Delta \epsilon + \dot{\sigma}(t_n)$$

$$C = C_0 + \sum_{i=1}^m \frac{T_i}{\Delta t_n} \left( 1 - \exp\left(-\frac{\Delta t_n}{T_i}\right) \right) C_i$$

$$\dot{\sigma}(t_n) = \sum_{i=1}^m \exp\left(-\frac{\Delta t_n}{T_i}\right) \dot{\sigma}_i(t_n)$$

$$\Delta \sigma_i = \exp\left(-\frac{\Delta t_n}{T_i}\right) \sigma_i(t_n) + \frac{T_i}{\Delta t_n} \left( 1 - \exp\left(-\frac{\Delta t_n}{T_i}\right) \right) C_i : \Delta \epsilon$$

### Critère de propagation

La dissipation dans un milieu viscoélastique dans lequel se propage une fissure rectiligne plane s'écrit :

$$D - D_g = G_g$$

$$\text{Où : } D_g = - \frac{\partial P}{\partial \{\epsilon_i^g\}} \Big|_{(e, l)} \cdot \{\dot{\epsilon}_i^g\} \quad \text{et} \quad G_g = - \frac{\partial P}{\partial l} \Big|_{(e, l, \{\epsilon_i^g\})} \dot{l} \quad \text{avec}$$

$$P(e, l, \{\epsilon_i^g\}) = \frac{1}{2} \int_{\Omega = \Omega(l)} \left[ \sigma : C_0 : \epsilon + \sum_{i=1}^m \sigma - \epsilon_i^g : C_i : \epsilon - \epsilon_i^g \right] d\Omega - \varphi(e) \quad \text{et}$$

$\varphi$ : travail extérieur

Sous l'hypothèse que la dissipation liée à la propagation est proportionnelle à l'évolution de  $l$  ( $G_g = R \dot{l}$ ), le critère de propagation est formulé de la façon suivante :

$$G_g < R \Rightarrow \dot{l} = 0 \quad (\text{pas de propagation de la fissure})$$

$$G_g = R \Rightarrow \dot{l} \geq 0 \quad (\text{propagation possible de la fissure})$$

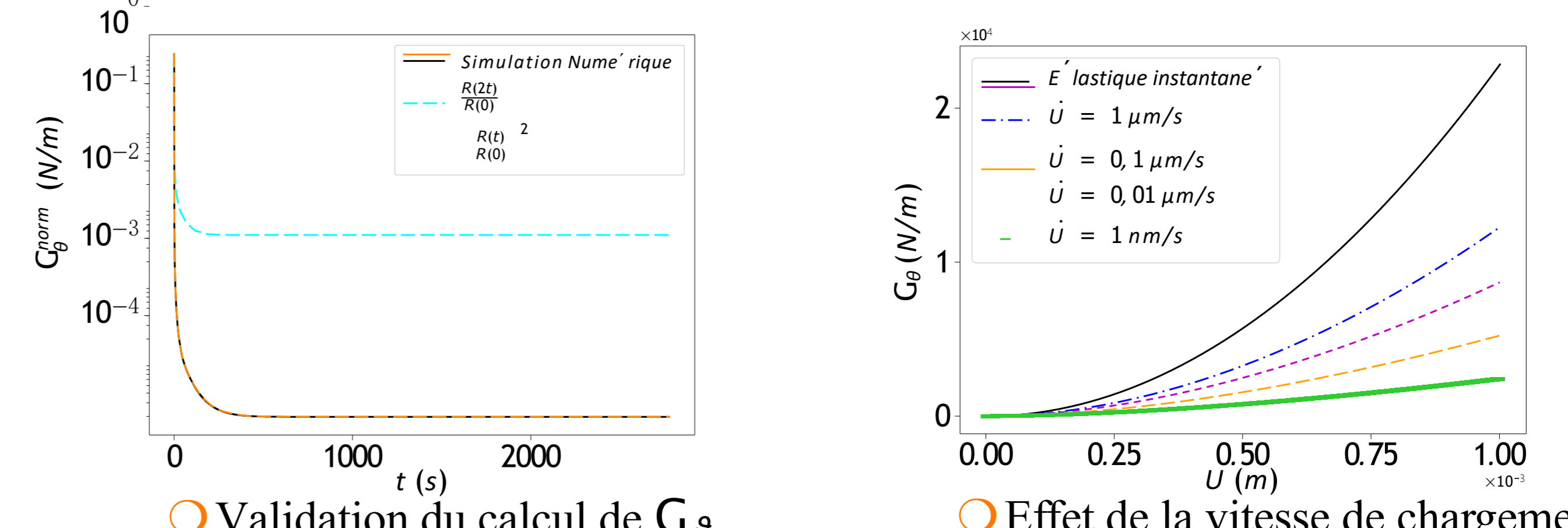
## 4 RÉSULTATS NUMÉRIQUES (GETFEM)

### Expression analytique de $G_g$ : Cas $H(t) = U_0 H(t)$ et $v = cste$

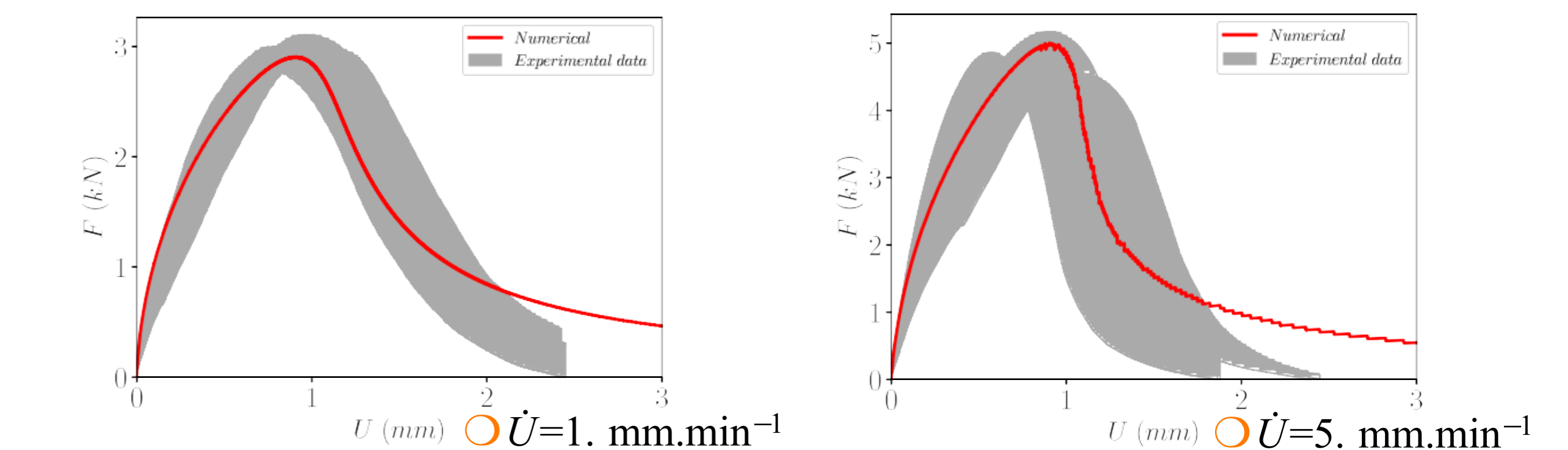
$$G_g^{norm}(t) = \frac{G_g(t)}{G_g(0)} = \frac{R(t)}{R(0)}^2 \quad \text{Obtenu en fixant les } \{\epsilon_i^g\} \quad \checkmark$$

$$G_g^{norm}(t) = \frac{G_g(t)}{G_g(0)} = \frac{R(2t)}{R(0)} \quad \text{Obtenu sans fixer les } \{\epsilon_i^g\} \quad \times$$

### Simulation de l'essai SCB sans propagation



### Simulation de l'essai SCB avec propagation : Comparaison Numérique-Expérimental



## CONCLUSION

- Effet **prononcé** du vieillissement sur les propriétés thermo-viscoélastiques
- Impact du vieillissement **très marqué** sur les propriétés de rupture
- Développement d'un **modèle de propagation de fissure avec couplage thermo-viscoélastique**
- Prédiction **satisfaisante** du comportement à la rupture des enrobés

Références scientifiques :  
B. Kouevidjin, J.-F. Barthélémy, C. Somé, H. Ben Dhia, V. Mouillet (2022). Modelling of viscoelastic properties and crack growth in aged bituminous mixes. Article soumis pour publication

# Assessing the climate change impacts on the hydro-meteorological forcings of the Gironde estuary

Mohammad TRABOULSI, Vanessya LABORIE, Nicolas HUYBRECHTS  
Équipe de recherche Hydraulique pour l'Aménagement (HA), Cerema

## Context and objectives of the ECCLIPSE project

1. Study how the **seaports** located in **southwestern Europe** can **adapt** to the climate change
2. **Assess its impact** on the **hydrological** and **maritime (storm surges and Mean Sea level Rise) forcings** in **Gironde estuary** and on the **evolution of the hydrodynamics and hazards**

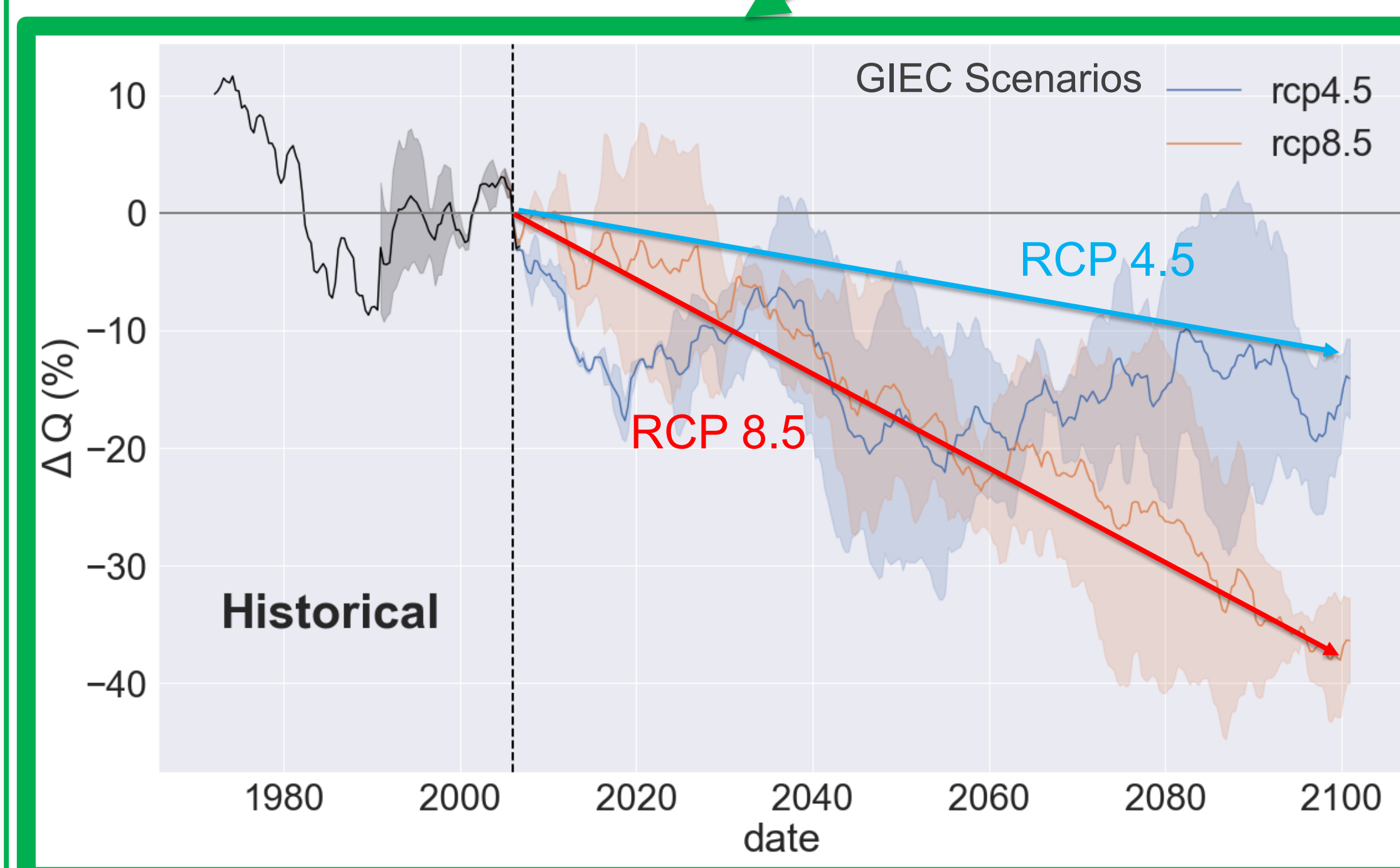
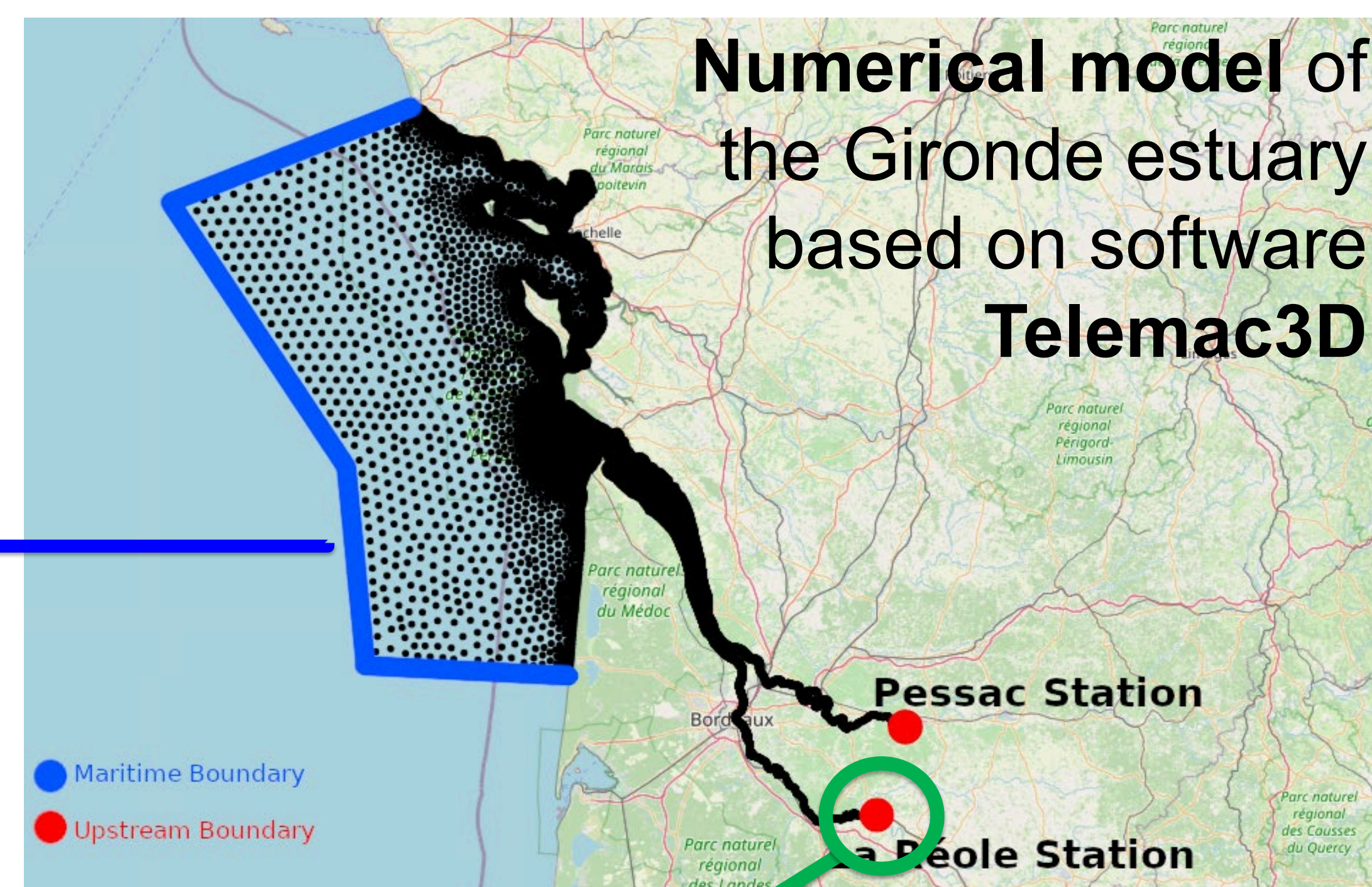
## Materials and methods

- **Conceptual and 2D shallow water equations based numerical modelling ([1],[3])**
- **Deterministic downscaling from Regional Climate Model to local models ([2])**
- **Statistical indices for the short, middle and long term (towards 2100) periods**

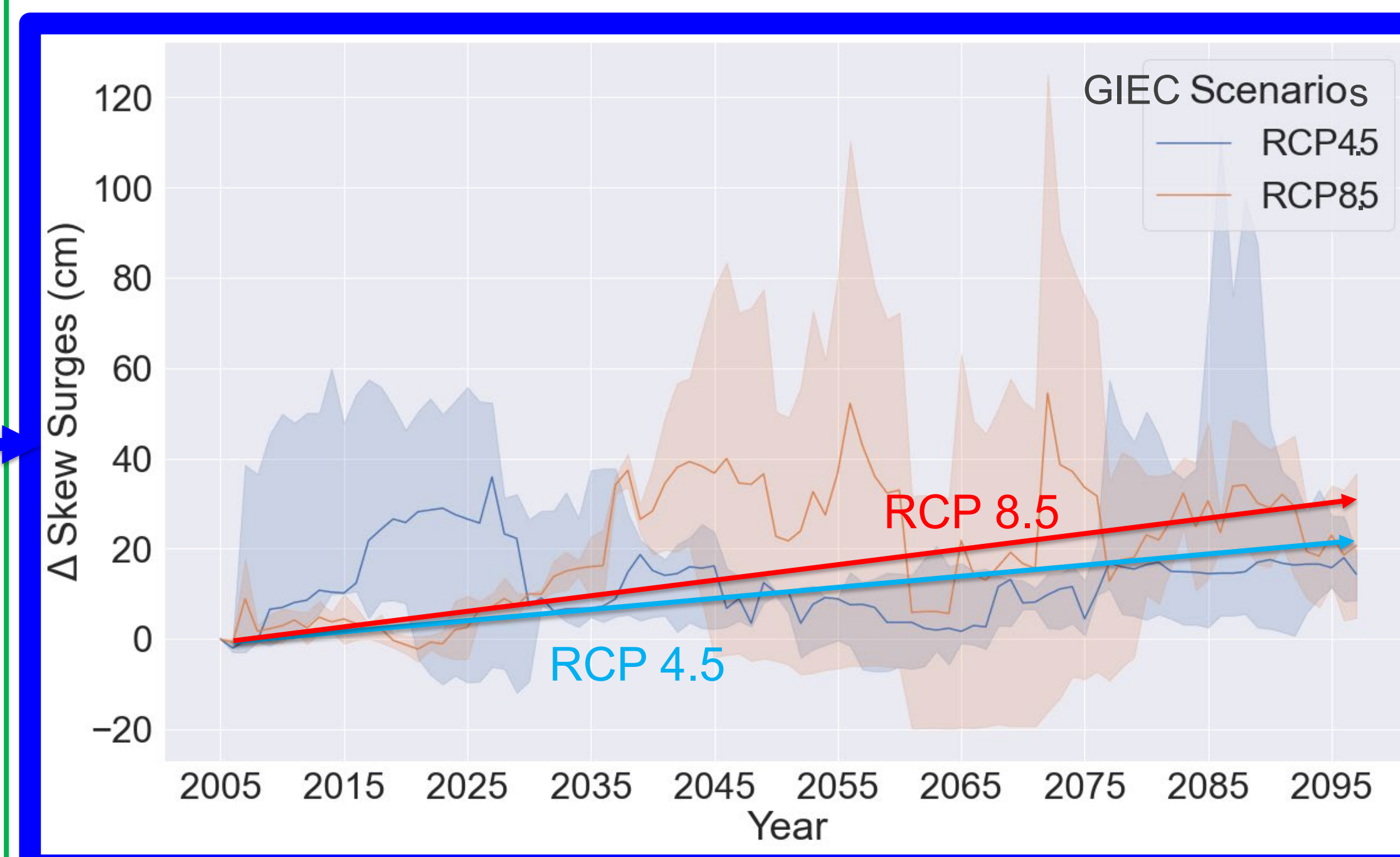
## Literature cited

- [1] Fayet, L., 2020. *Intership report*.  
[2] Huybrechts, N. & al. Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering, 138(4), 312-322.  
[3] Laborie, V & al (2015). In Proceedings of the XII TUC (pp. 172-181)  
[4] Traboulsi, M., 2021. *Intership report*.

## Results: evolution towards 2100



**20-year moving averages evolution of (↑) the river Garonne discharges (obtained with GR4J hydrological model) and of (↓) the surge levels at the maritime boundary, using three regional climate models**



## Conclusions ([4])

Assessment of the **impact of climate change on the main variables driving the hydrodynamics of the Gironde estuary**

1. **Decrease** in the flows of the Dordogne and Garonne rivers by an average of **10% and 40%** respectively
2. **Increase** in the value of the **skew surges with a return period of 100 years of 20 cm and 30 cm for the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios** respectively

## On progress

1. Study of the **3D hydrodynamics of the Gironde estuary (time-dependent evolution of the salinity)**
2. **Dredging requirements evolution**

## Acknowledgments

We would like to thank the service in charge of flood forecasting in the Garonne, Adour and Dordogne watersheds and the Great Maritime Port Councils of Bordeaux (GPMB) for the bathymetric and observational data they provided for this study.

## Further information

Please contact:  
[Vanessya.laborie@cerema.fr](mailto:Vanessya.laborie@cerema.fr) or  
[Nicolas.huybrechts@cerema.fr](mailto:Nicolas.huybrechts@cerema.fr)  
if you have a question or comment.

# Impact du vent pendant une mesure d'étanchéité à l'air de l'enveloppe des bâtiments

Adeline Mélois

Équipe de recherche Bâtiments Performants dans leur Environnement (BPE), Cerema

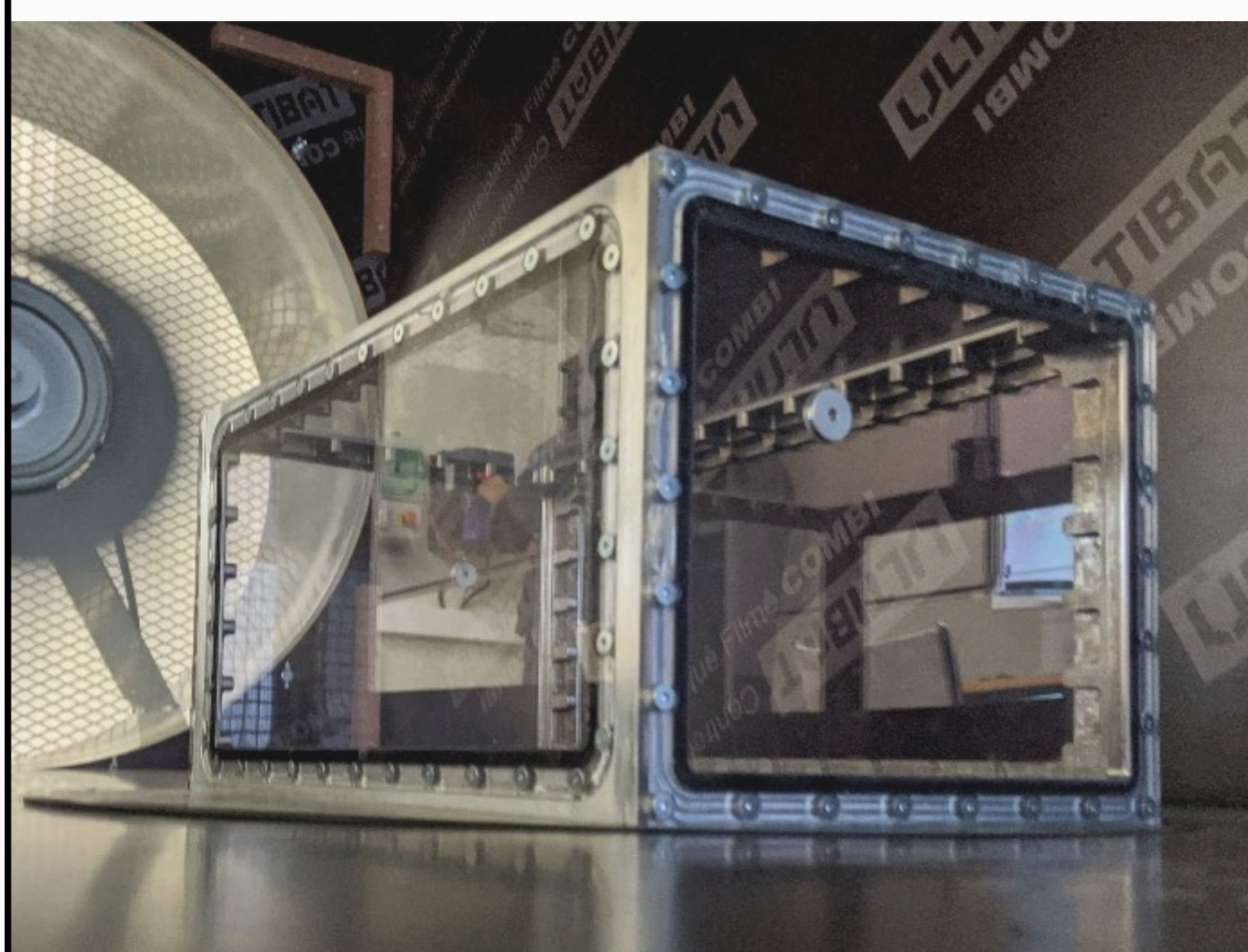
## Introduction

- + de 80 000 tests d'étanchéité à l'air sont réalisés tous les ans en France
- Le vent est reconnu comme une source d'erreur importante
- Incertitude du vent toujours non maîtrisée, avec de très rares études expérimentales

## Matériels et méthodes

Expérimentation à échelle réduite avec :

- une soufflerie sur mesure ;
- une maquette de maison modulable ;
- un système de pressurisation précis adapté aux très faibles débits.

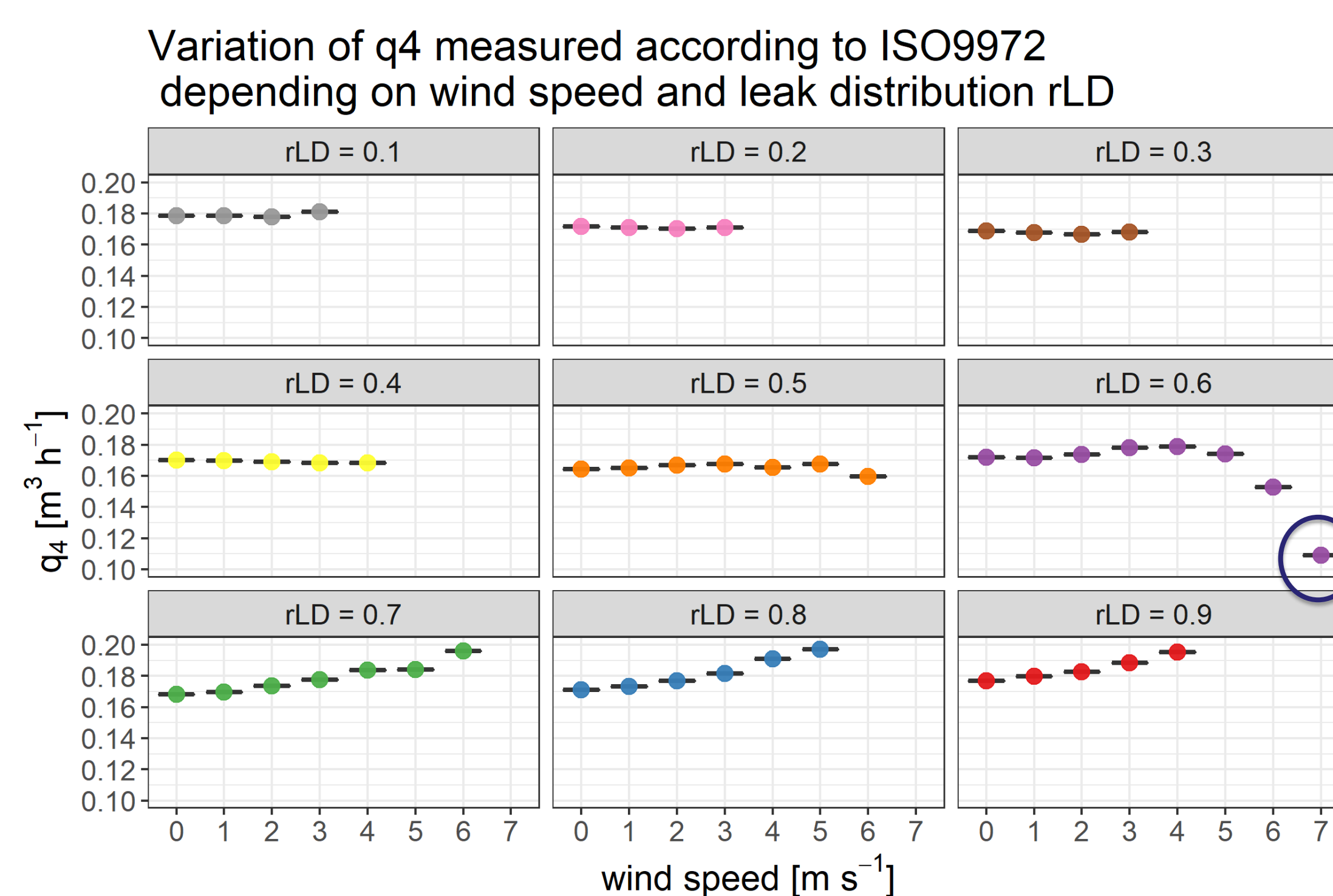


## Résultats

**Conception, mise en œuvre et caractérisation** d'un dispositif expérimental permettant de réaliser des tests d'étanchéité à l'air à échelle réduite :

- en conditions de laboratoire ;
- sur une maquette dont l'étanchéité est parfaitement maîtrisée pour 9 configurations de fuites ;
- pour des vents de 0 à 7 m.s<sup>-1</sup> ;
- Pour des pressurisations jusqu'à 100 Pa.

**96 tests** réalisés pour évaluer l'impact du vent.



- Un impact du vent qui dépend significativement de la répartition des fuites par rapport à la direction du vent.
- Jusqu'à 35 % d'erreur pour l'évaluation du débit de fuite à 4 Pa.

## Conclusions

- Des erreurs dues au vent supérieures aux 10 % annoncés par la norme (ISO 9972)
- Une correction prévue fautive et insuffisante
- Des évolutions du protocole de test à confirmer pour réduire l'impact du vent

## Perspectives

- Faire évoluer la soufflerie pour générer des vents fluctuants.
- Tester d'autres méthodes de mesure.
- Faire évoluer la maquette pour tester plus de fuites avec géométries variables.
- Confronter nos résultats à l'échelle réelle.

## Références scientifiques

Adeline Mélois. *Impact of the wind during a building airleakage measurement*, Thèse de doctorat, École Doctorale MEGA – Université de Lyon (ENTPE – LTDS), soutenue à Lyon le 11 décembre 2020.

## Remerciements

Thèse de doctorat (2016-2020) encadrée par :  
Pr. Mohamed El Mankibi (ENTPE-LTDS)  
D. François Rémi Carrié (ICEE)  
D. Bassam Moujalled (Cerema)

## Informations complémentaires

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/ma-these-au-cerema-impact-du-vent-mesure-etancheite-air>



# Mobilité servicielle (MaaS) dans les Hauts-de-France : quelle gouvernance partenariale pour décloisonner les politiques de transport ?

Pierre-André Horth, TVES, Université de Lille, UMR MATRiS (Cerema, CY Cergy Paris Université)

## Introduction

Le MaaS désigne « l'intégration et l'accès à différents services de transport [...] dans une seule offre de mobilité numérique reposant sur une mobilité active et un système de transport public performant » (UITP, 2019).

Populaire dans la communauté scientifique et technique, il s'inscrit en France simultanément dans deux dynamiques : l'organisation des institutions dotées de compétences en matière de mobilité et la « smart mobility ».

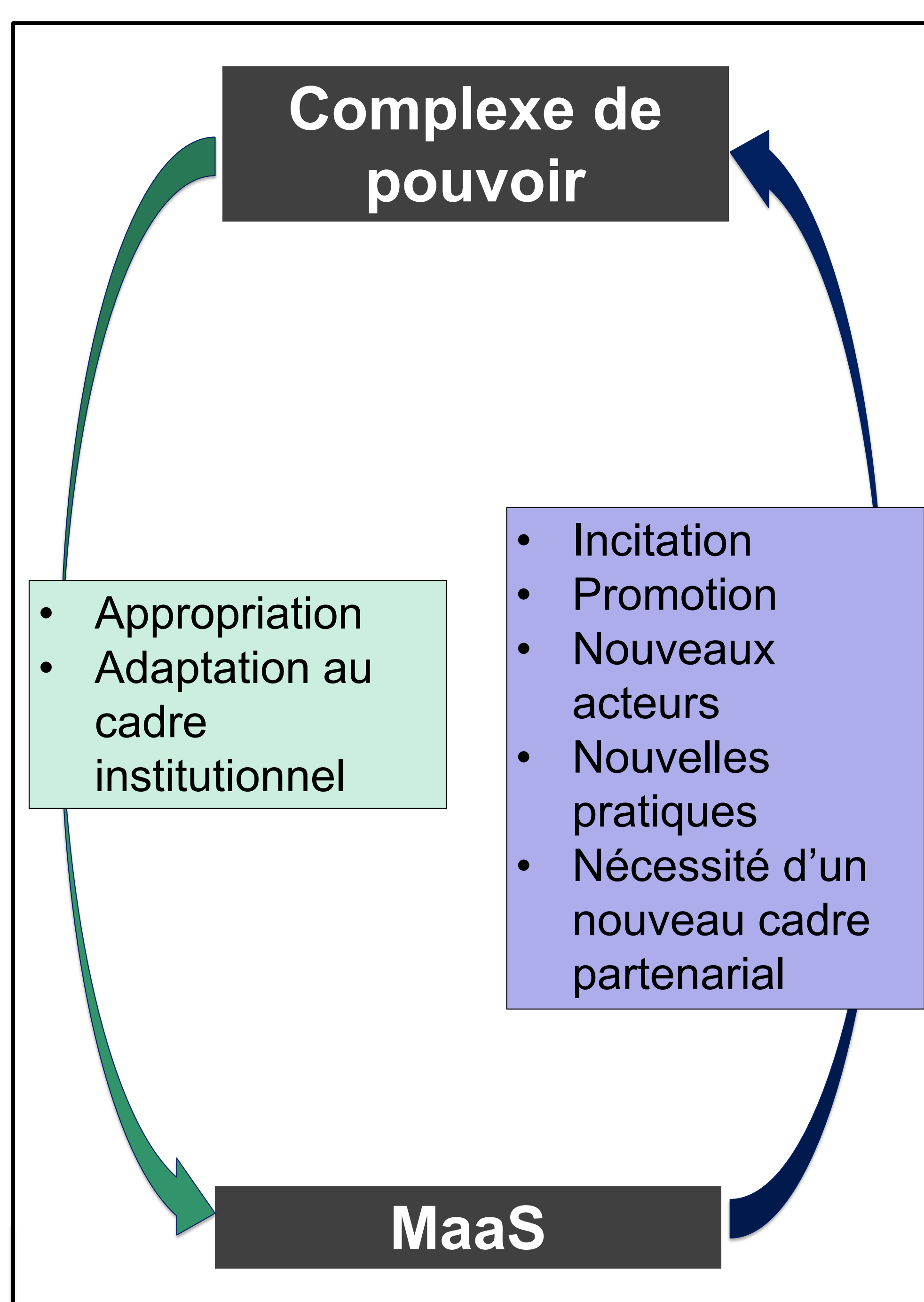
## Méthodologie

Le territoire d'étude est la région Hauts-de-France avec trois échelles de développement du MaaS en tension.

Le travail de recherche s'appuie sur des observations participantes ancrées au sein du réseau métier MaaS du Cerema, des entretiens semi-directifs avec les acteurs impliqués dans le développement du MaaS sur le territoire et une analyse multicritères des variables géographiques et institutionnelles des MaaS en France.

## Problématique

L'ensemble des acteurs qui gravitent autour du MaaS s'inscrivent dans un complexe de pouvoir des mobilités. Nous interrogeons la capacité de cet instrument à influencer ce complexe de pouvoir et inversement pour dépasser les frontières modales et territoriales et ainsi décloisonner les politiques de transport.



Le MaaS, activateur d'un cadre partenarial favorable à :

- Hypothèse 1 : l'inter-territorialité (dépassement des frontières territoriales)
- Hypothèse 2 : l'intermodalité (dépassement des frontières modales)

## Résultats

Issu simultanément d'une importation d'un instrument popularisé en Finlande et d'un héritage de systèmes préexistants, le MaaS a suivi une voie « à la française » (Ribeill, 1986) qui influence la conception que les acteurs de notre pays se font de cet instrument.

Il existe toujours des blocages aux dépassements des frontières territoriales et modales.

Le MaaS mobilise principalement, en France et a fortiori dans les Hauts-de-France, les acteurs traditionnels du secteur des transports en reproduisant dans sa mise en place des schémas d'organisation et des jeux d'acteurs préexistants au MaaS, ce qui les oblige toutefois à développer de nouvelles compétences pour faire face à de potentiels nouveaux acteurs et à des injonctions législatives.



## Références scientifiques

- Dupuy, G. (1991). L'urbanisme des réseaux, théories et méthodes (p. 198). Armand Colin.
- Marsden, G., & Reardon, L. (Eds.). (2018). Governance of the smart mobility transition. Emerald Group Publishing.
- Ribeill, G. (1986). Réseaux techniques, le développement à la française. Un modèle suggestif. Métropolis 73-74
- UITP (2019) Prêt pour le MaaS

## À propos

Thèse en aménagement urbanisme dirigée par Philippe Menerault (TVES) et co-encadrée par Cyprien Richer (Cerema)

## Informations complémentaires

Consultez <https://smart-city.cerema.fr/maas-observatoire>  
Contactez [Pierre-andre.horth@cerema.fr](mailto:Pierre-andre.horth@cerema.fr)

# Comportement dynamique et cyclique des limons traités : Approche expérimentale et modélisations

Lucile Pigeot et Ahmed Loukili, GeM, École Centrale de Nantes  
Anthony Soive et Nathalie Dufour, Équipe GéoCoD, Cerema  
Fabienne Dermenonville, Egis Geotechnique, Seyssins

## Introduction

Des impératifs économiques et environnementaux incitent désormais les maîtres d'ouvrage à encourager l'utilisation des matériaux « en place » pour la construction d'infrastructures de transport et d'ouvrages géotechniques en particulier.

La technique du traitement à la chaux et aux liants hydrauliques des sols en place permet d'en améliorer la maniabilité et les propriétés mécaniques. L'enjeu aujourd'hui est d'utiliser ces sols traités comme partie intégrante d'ouvrages de génie civil. Pour cela, une compréhension fine du comportement hydro-chemo-mécanique de ces sols est nécessaire.

## Ingénierie verte

- Valorisation des matériaux en place
- Pas d'import de matériaux : réduction du CO<sub>2</sub> lié au transport
- Limitation de l'utilisation de béton
- Sols traités utilisés comme partie intégrante des ouvrages



@ Lhoist

## Objectifs

- Caractériser le matériau.
- Identifier les propriétés mécaniques en fonction de la prise liée au traitement sous :
  - sollicitations statiques ;
  - sollicitations dynamiques (cycliques).

## Démarche

Caractérisation microscopique : composition et morphologie



Modélisation de l'hydratation du matériau après traitement



Homogénéisation multi-échelle



Estimation des propriétés élastiques du matériau traité et non traité



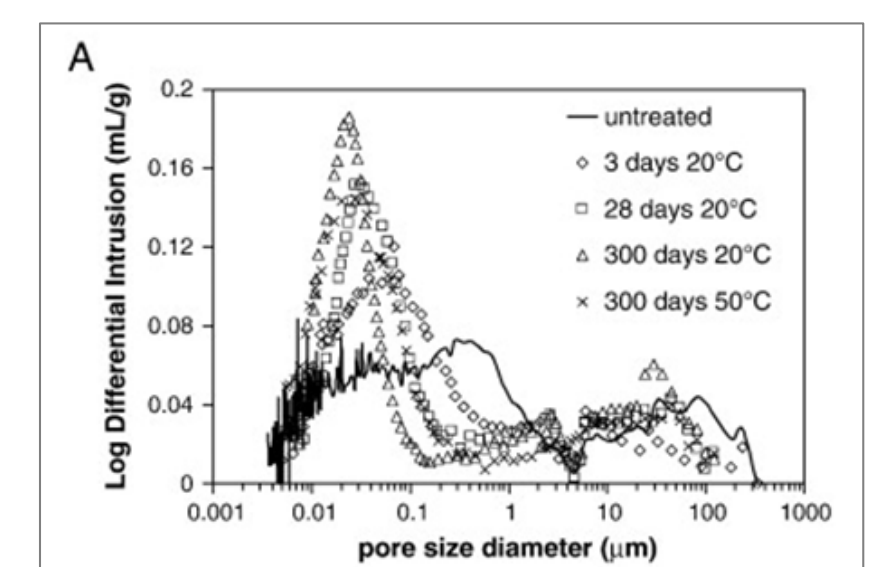
Caractérisation macroscopique : sollicitations monotones et dynamiques (cycliques)



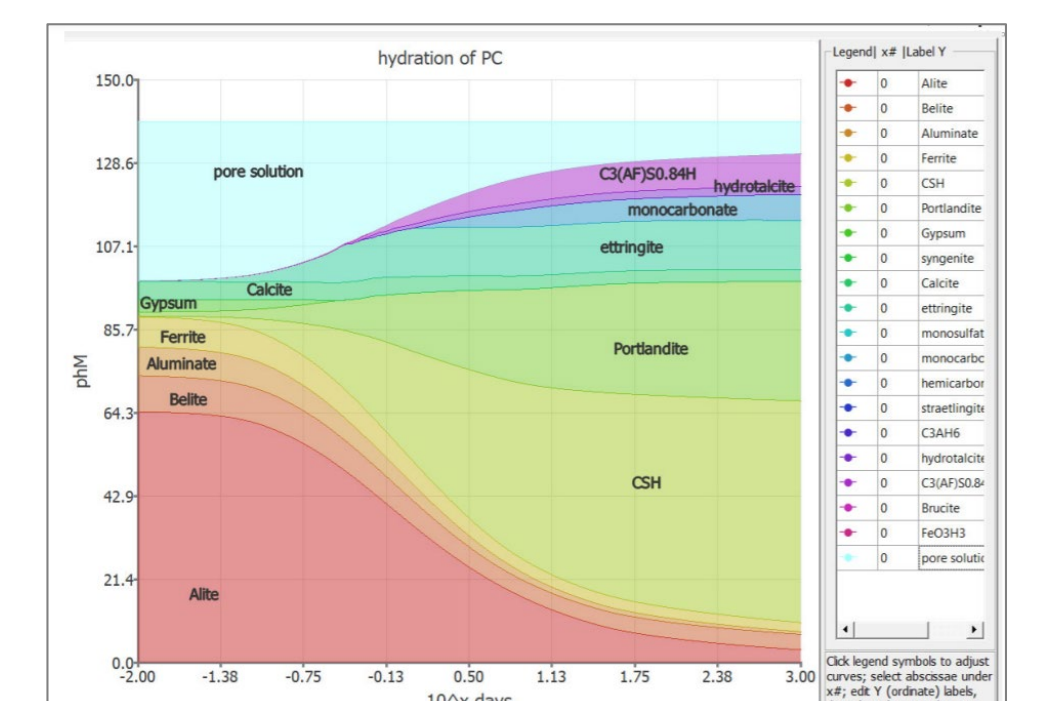
Modélisation numérique par éléments finis (fem)



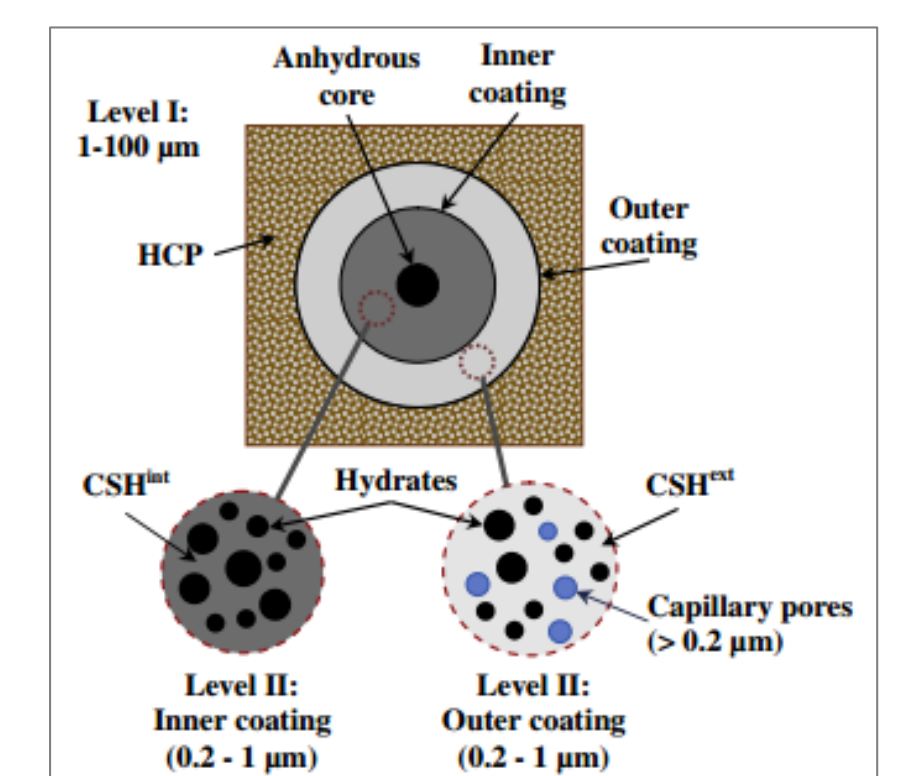
Modèle du sol traité : de son hydratation à son comportement sous sollicitation mécanique (paramètres : condition de cure, saturation...)



Porosimétrie par intrusion de mercure (PIM) (Lemaire, 2013)



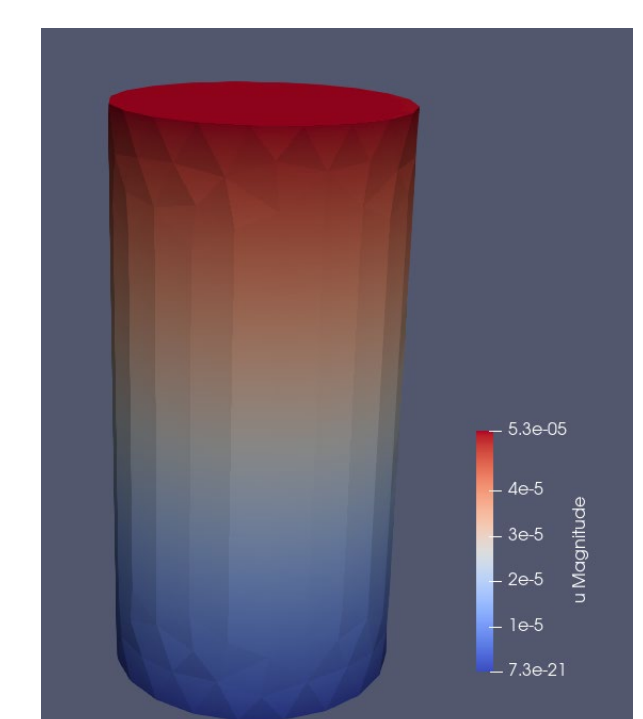
Hydratation d'un ciment Portland GEMS (Lothenbach, 2018)



Modèle d'homogénéisation Mori-Tanaka (Bary, 2014)



Colonne résonante



Modélisation d'essai triaxial (Getfem)

## Références scientifiques

N. Cabane. Sols traités à la chaux et aux liants hydrauliques : Contribution à l'identification et à l'analyse des éléments perturbateurs de la stabilisation. Matériaux. Université Jean Monnet - Saint-Étienne, 2004.  
O. Cuisinier, J.-C. Auriol, T. Le Borgne, D. Deneele, Microstructure and hydraulic conductivity of a compacted lime-treated soil, Engineering Geology, 2011.

## Informations complémentaires

Plateforme d'essais au Cerema Méditerranée :  
<https://www.cerema.fr/fr/innovation-recherche/innovation/offres-technologie/plateforme-analyse-du-comportement-mecanique-sols-roches>

## Remerciements

Cette thèse est réalisée en partenariat avec Egis Geotechnique et l'École Centrale de Nantes.



# ASSEZ\* – Vous avez dit Traditionnelle ou FLR\*\* ? Ce que font et en comprennent les usagers de la route

Florence Rosey, Équipe de recherche Psychologie Appliquée (PsyCAP), Cerema

## Introduction



Signalisation traditionnelle



Flèches Lumineuses de Rabattement (FLR)

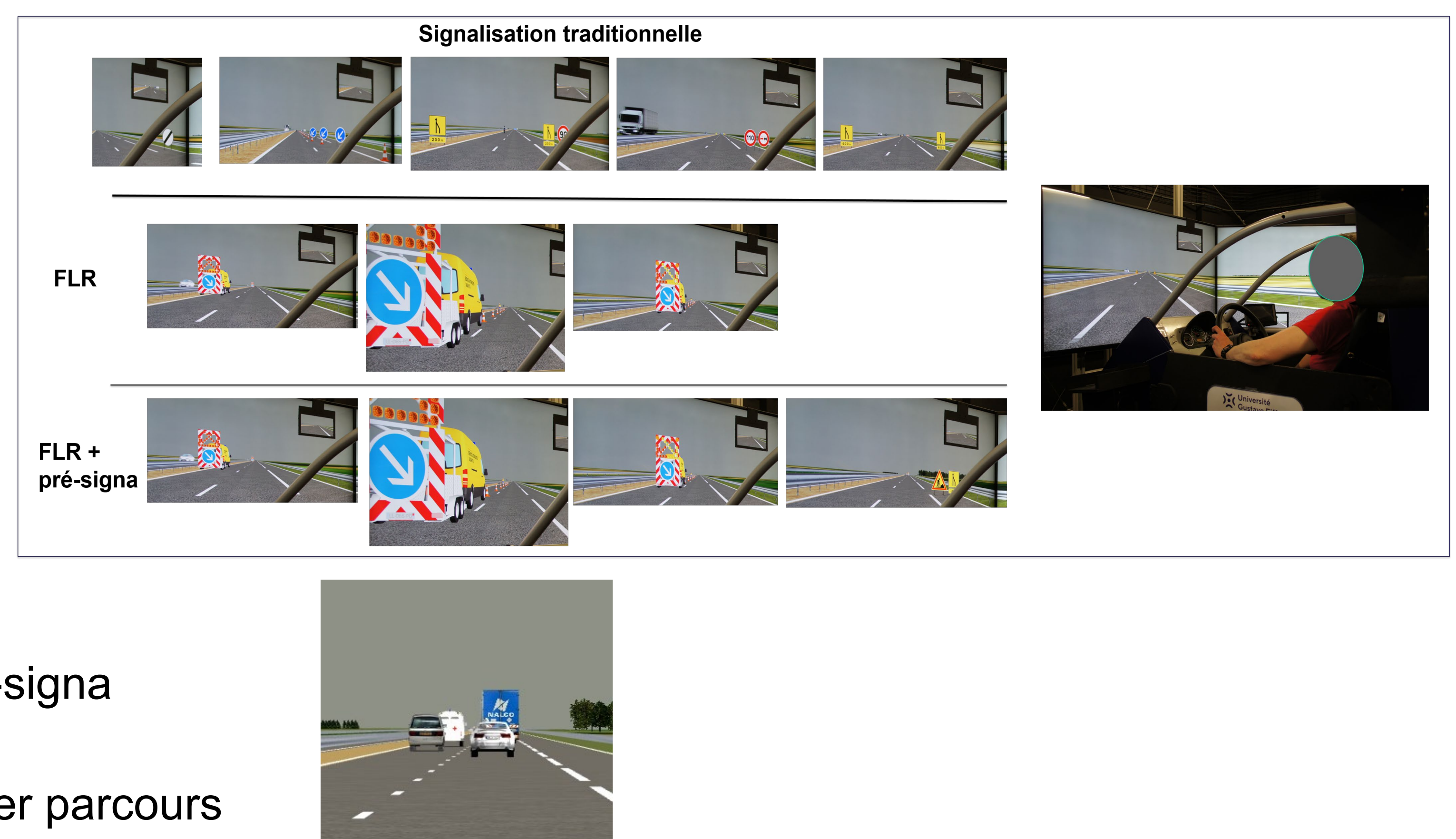
- Objectif de la signalisation temporaire de chantier = préserver :
  - la sécurité des usagers et des agents
  - la fluidité de la circulation dans un environnement modifié
- FLR par rapport à la signalisation traditionnelle ont comme avantages :
  - la rapidité d'exécution, d'installation
  - sont visibles de 200 à 400 m (respectivement à la vitesse 90, 110 et 130 km / h) et perçues à 1 km

**Mais** heurts fréquents. En 2015 : 80 heurts sur FLR (dont deux mortels) (Cerema NC, 2015)

➔ **Projet Cerema ASSEZ** : proposer un socle de connaissances où usagers et agents sont le cœur de réflexion  
Action 6 : Caractériser la perception et la compréhension qu'ont les usagers des différentes signalisations à travers le comportement induit en termes de trajectoire adoptée (*i.e.*, vitesse pratiquée et position latérale)

## Méthodologie

- Simulateur de conduite (Université Gustave Eiffel – PICS-L)
- 60 participants, chacun trois parcours de 20' sur autoroute
  - Trois signalisations : Traditionnelle / FLR / FLR + pré-signalisation (FLR + pré-signalisation = association expérimentale)
  - Deux configurations : neutralisation VD et VG
  - Deux situations de conduite :
    - isolé (pas de contrainte due au trafic)
    - masquage mobile par poids lourds pour FLR, FLR + pré-signa  
=> FLR ou FLR + pré-signa visibles au dernier moment  
=> masquage en dernière situation, sur le dernier parcours



- Questionnaire : signification et compréhension des signalisations  
Quatre blocs : premières impressions, signalisations rencontrées, expérience FLR / Traditionnelle, FLR et limitation vitesse

## Tendances à partir des retours des participants et de leurs remarques au cours du questionnaire\*\*\*

- A priori préférence pour signalisation traditionnelle => nature évènement et ce qu'il y a faire explicite + limitation de vitesse (FLR vues de loin mais ne donnent pas la nature du danger + pas de prescription de vitesse)
- Participants associent une prescription de vitesse aux FLR (90-70 pour 130 km / h ; 70-50 pour 110 km / h)
- Solution pour éviter masquage mobile par les camions *a minima* :
  - « le panneau avec le bonhomme qui a une pelle » (AK5)
  - « le panneau de réduction de voies avec une distance en-dessous » (KD10)



AK5



KD10

\* ASSEZ : Assurer par la Signalisation la Sécurité en Zone d'interventions \*\* FLR : Flèche Lumineuse de Rabattement \*\*\* Expérience terminée le 26 novembre

### Projet ASSEZ

Maîtrise d'ouvrage DGITM – DSR  
COPILOTE : DIT (GRT, MARRN, GCA), DSR, ASFA, Cerema ITM  
**Réalisation :**  
Université Gustave Eiffel – COSYS – PICS-L => Simulateur de conduite  
Cerema : GSEI (NC)

### Contacts

Vous pouvez consulter la page Internet de l'équipe de recherche PsyCAP : <https://www.cerema.fr/psycap>  
Florence Rosey : [florence.rosey@cerema.fr](mailto:florence.rosey@cerema.fr)

# Méthodes d'apprentissage statistique pour la détection de la signalisation routière à partir de véhicules traceurs

Guillaume Saint Pierre, Équipe de recherche STI, Cerema  
Yann Meneroux, Arnaud Le-Guilcher, IGN

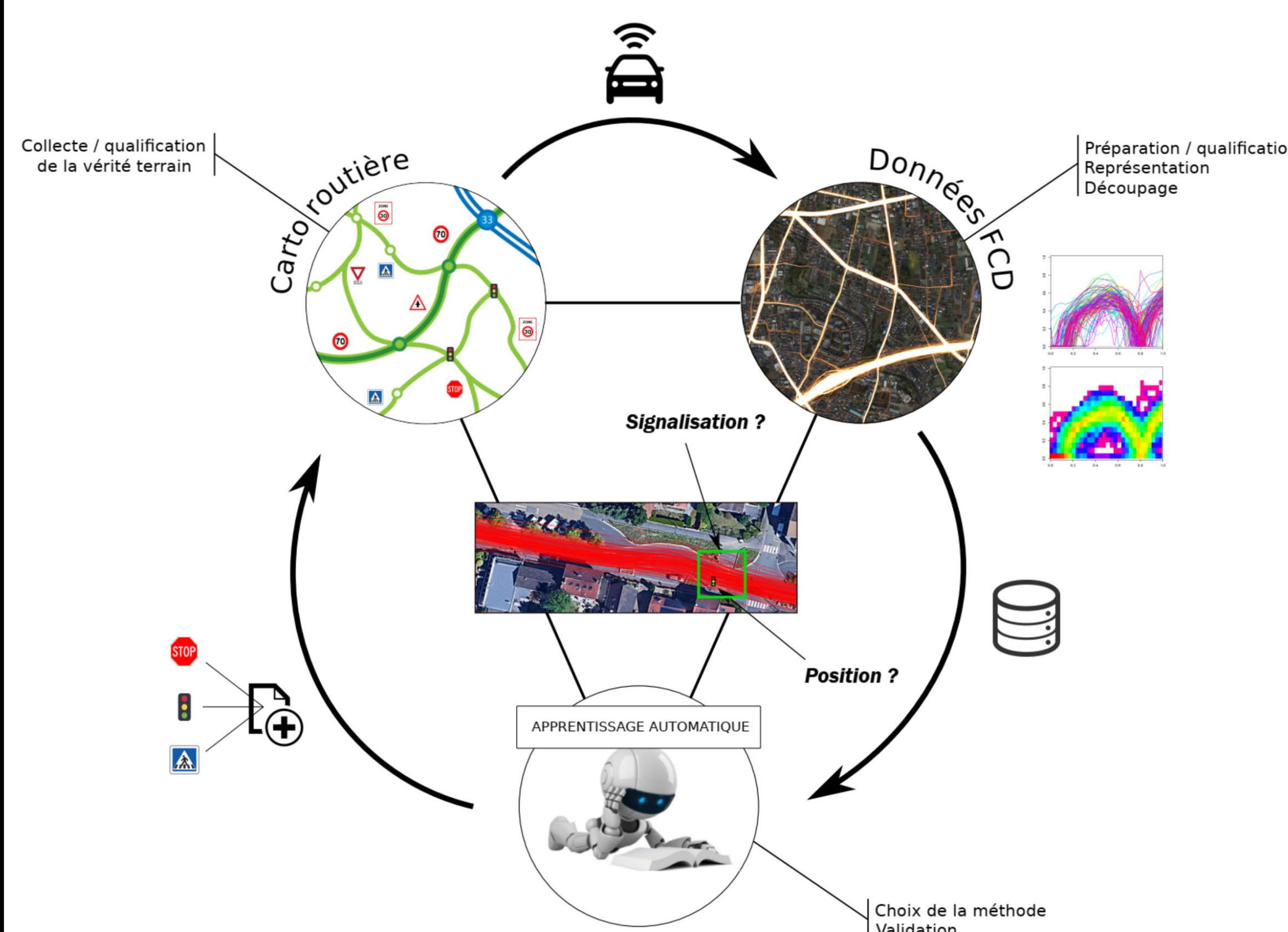
## Introduction

La connaissance fine de l'infrastructure routière est un prérequis indispensable au développement des nouvelles formes de mobilité et à la gestion des infrastructures.

Ce travail a exploré le potentiel des méthodes d'apprentissage statistique pour la détection automatique de la signalisation routière, à partir des données générées par la mobilité numérique.

## Résultats

Une modélisation mathématique adaptée (analyse fonctionnelle, ondelettes, forêts aléatoires, réseaux de neurones) montre ses bonnes performances dans la reconnaissance de la position des stops, des feux de signalisation et des passages piétons.



## Conclusions

Ce travail a démontré la faisabilité de la détection de la signalisation routière à partir d'une collection de traces GPS.

La collecte collaborative de données de mobilité peut donc permettre de construire, de mettre à jour et de valider des cartes routières détaillées.

Ce travail a reçu le 9<sup>e</sup> prix de la Chaire Sanef Abertis France - École des Ponts ParisTech.

## Matériels et méthodes

- **Compétences métier utilisées :**
  - traitement de trajectoires GPS, relevé GNSS low-cost, qualité de données géographiques
- **Compétences techniques utilisées :**
  - apprentissage automatique, apprentissage structuré, traitement du signal, méthodes d'estimation statistiques, programmation
- **Données en entrée :**
  - traces expérimentales GPS du projet EcoDriver (Uni Eiffel) haute qualité (position + Doppler GPS + odométrie), traces observationnelles NAVITIME JAPAN

**Données expérimentales**  
(10 Hz, 10 pts / sec)

- **Verrous levés :**
  - Formulation en un problème d'apprentissage automatique
  - Recherche d'une représentation efficace des données
- **Meilleures performances de détection avec modélisation fonctionnelle et algorithme de « forêts aléatoires »**
  - AUC = 97,28 % Sensibilité : 82,58 % Spécificité : 97,23 %

**Données réelles (0,2Hz, 1 pt / 5 sec)**

- **Verrous levés :**
  - Faible qualité des traces GPS en milieu urbain
  - Collecte et contrôle d'une base d'apprentissage / validation
- **Développement d'une approche alternative fondée sur la densité et la durée des arrêts, prenant en compte l'auto-corrélation spatiale**
  - AUC = 91.12 % Sensibilité : 83:25 % Spécificité : 87:10 %



## Références scientifiques

Meneroux, Y., Le-Guilcher, A., Saint Pierre, G., Hamed, M. G., Mustière, S., & Orfila, O. (2019). Traffic signal detection from in-vehicle GPS speed profiles using functional data analysis and machine learning. International Journal of Data Science and Analytics, 1-19.

## Remerciements

Laboratoire COGIT de l'IGN, laboratoire LIVIC de l'IFSTTAR (Satory), laboratoire CSIS de l'Université de Tokyo (4 mois de mobilité), équipe recherche STI du Cerema (Toulouse)

## Pour en savoir plus

Contacts :  
Guillaume Saint Pierre :  
Guillaume.Saintpierre@cerema.fr  
Yann Meneroux : Yann.Meneroux@ign.fr

# Modélisation empirique de l'évolution des plages

Marissa Yates, Équipe de recherche Hydraulique pour l'Aménagement (HA), LHSV (Cerema, EDF, ENPC)

Nicolas Le Dantec, LGO (Université de Bretagne Occidentale)

Teddy Chataigner, ED SIE ENPC, LHSV (thèse co-encadrée par Marissa Yates, Nicolas Le Dantec, Nicole Goutal)

## Contexte et enjeux

Les risques côtiers d'érosion et de submersion marine menacent les territoires littoraux, créant un fort besoin de connaissances et d'outils pour aider le développement des programmes de gestion côtière. En particulier, les communes concernées par l'application de la très récente loi Climat et Résilience devront disposer d'une cartographie de l'évolution du trait de côte aux échéances de 30 et de 100 ans. Pour répondre à ce besoin, il est nécessaire de développer des outils de modélisation de l'évolution côtière aux échelles spatiales d'une plage ou d'un région, et aux échelles temporelles pluri-décennale à centennale.

## Modélisation combinée des processus cross-shore et longshore

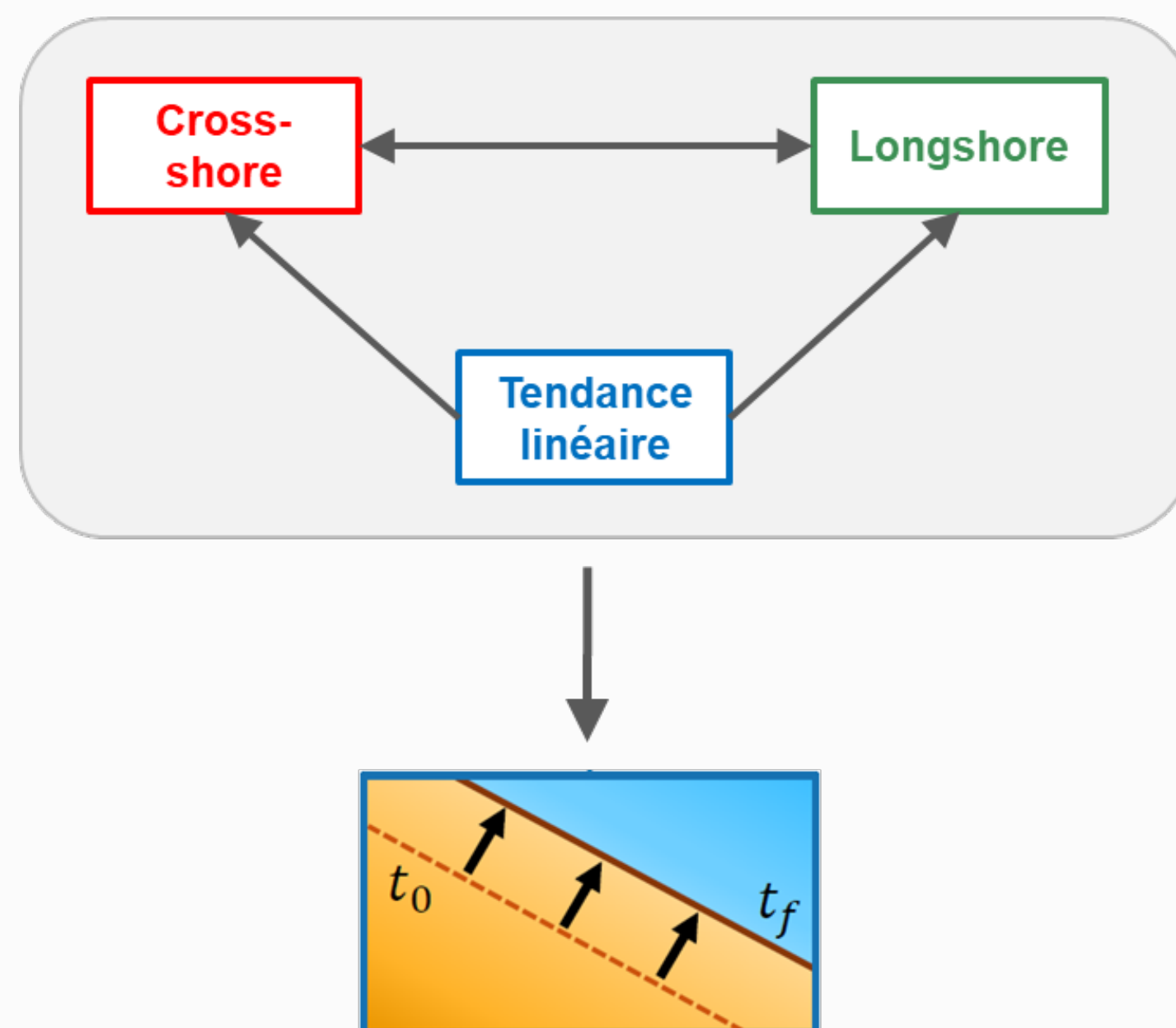
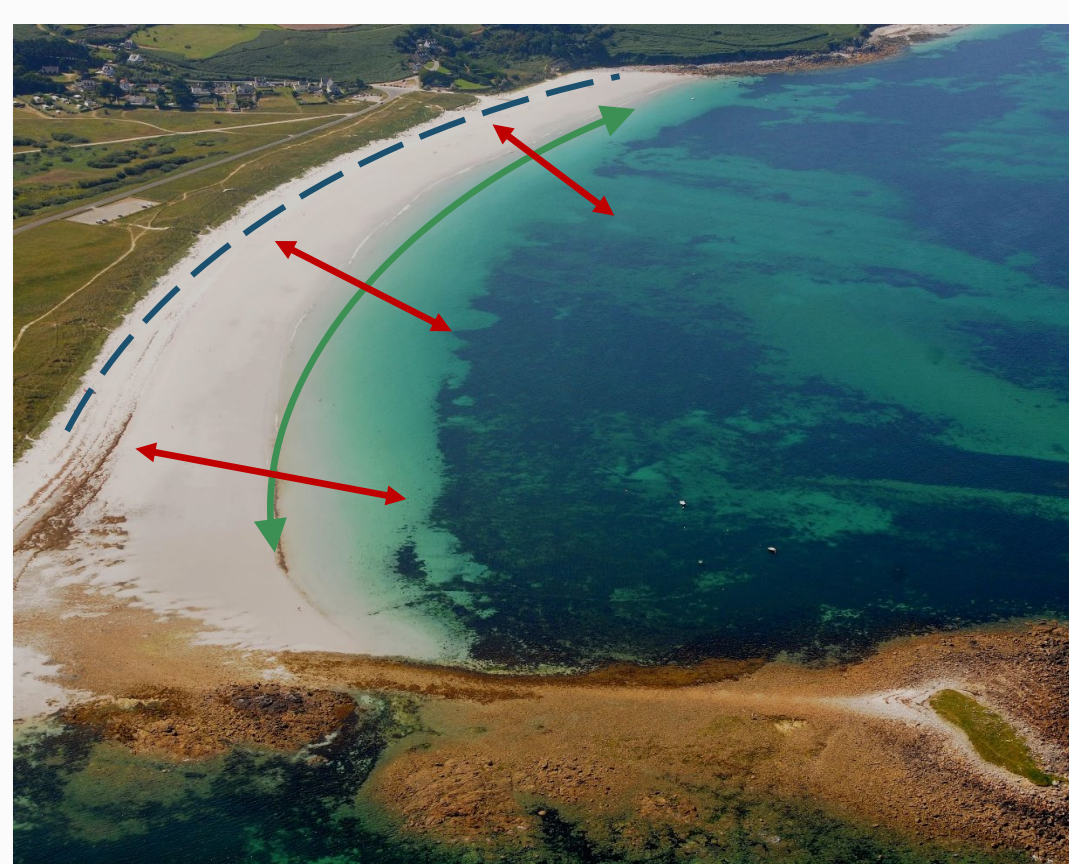


Figure 1 : Composantes du modèle

Modèle empirique cross-shore basé sur la théorie d'équilibre (Yates et al., 2009 ; Lemos et al., 2018)

Modèle longshore avec une approche one-line (Pelnard-Considère, 1956)

Intégration d'une tendance linéaire pour prendre en compte d'autres processus physiques non-résolus (e.g. Jaramillo et al., 2019)



## Remerciements

Nous remercions le Cerema et le programme AID de la DGA pour le financement de thèse de Teddy Chataigner, ainsi que les membres du UNSW pour les données hydrodynamiques et morphologiques au site de la plage de Narrabeen en Australie.

## Résultats

Modélisation empirique de l'évolution de la position du trait de côte, forcée par la hauteur et la direction des vagues

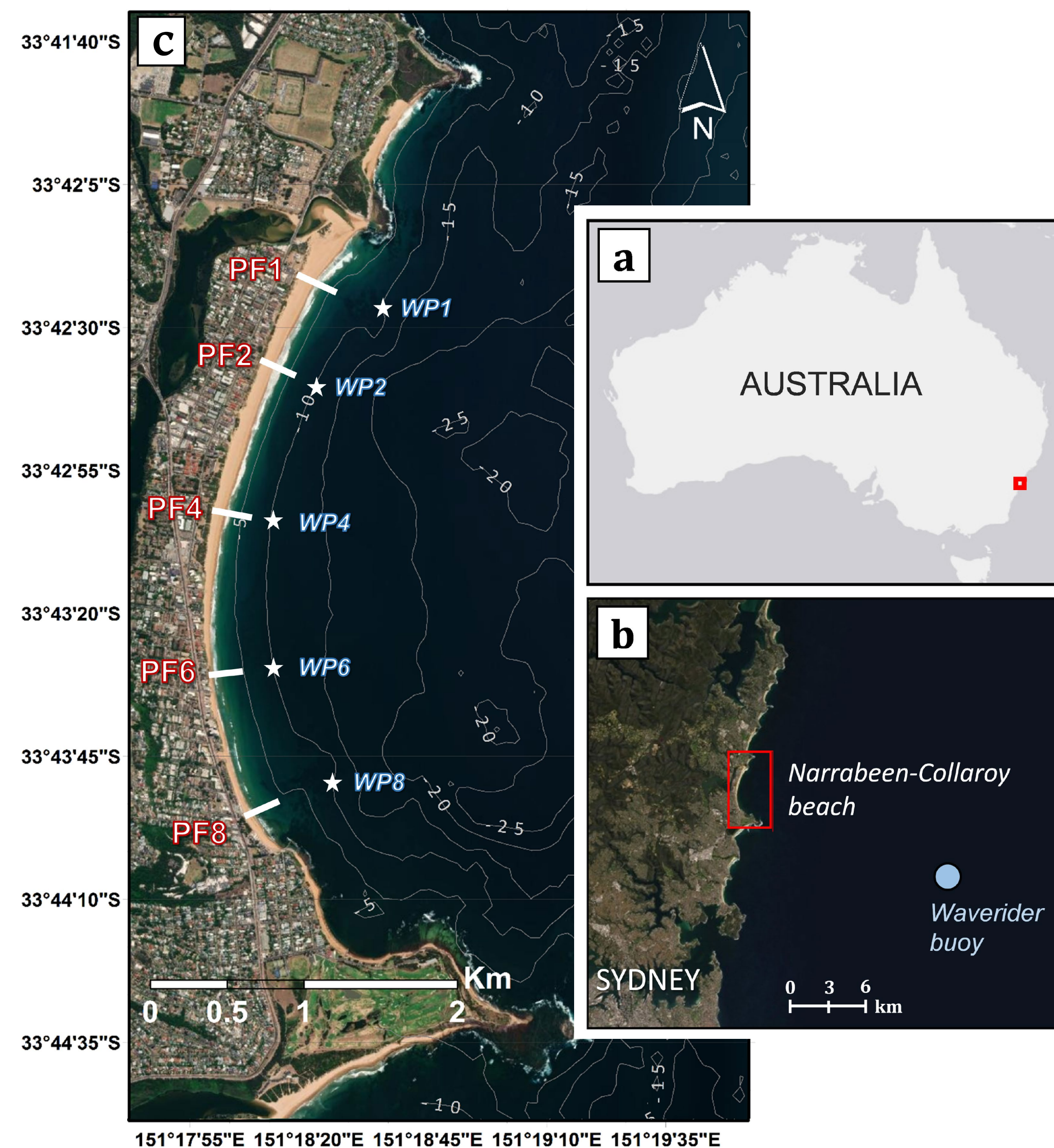


Figure 2 : (a & b) Localisation de Narrabeen-Collaroy Beach, Australie et (c) identification des profils de plage avec des levés topographiques mensuelles (PF's) et des sorties du modèle de propagation de vagues correspondants (WP's).

Validation du modèle combiné à la plage de Narrabeen, Australie avec 10 ans de données dans la période 2005-2015 :

- levés topographiques mensuels sur 5 profils cross-shore (PF's) ;
- données de vagues horaires (WP's).

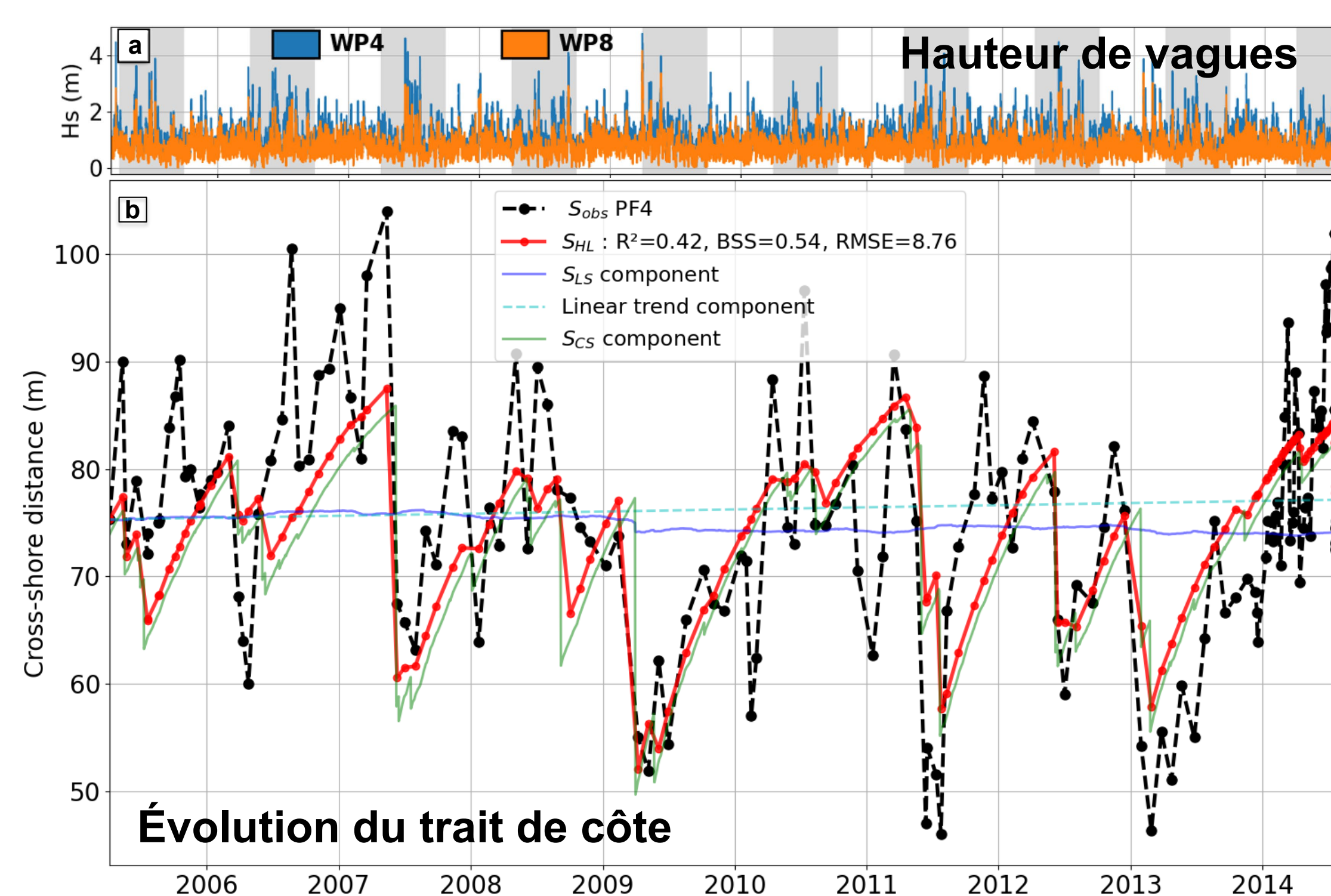


Figure 3 : (a) Hauteur de vagues et (b) Comparaison des observations (courbe noire hachée) et des simulations (courbe rouge) de l'évolution de la position du trait de côte au profil PF4 à la plage de Narrabeen.

## Références scientifiques

Lemos, C., Floc'h, F., Yates, M. L., Le Dantec, N., Mariou, V., Hamon, K., Cuq, V., Suanes, S. & Delacourt, C. (2018), Equilibrium modeling of the beach profile on a macrotidal embayed low tide terrace beach. *Ocean Dynamics*, 68 :1207–1220.  
Pelnard-Considère, R. (1956), Essai de théorie de l'évolution des formes de rivages en plages de sable et de galets, *La Houille Blanche* pp. 289–301.  
Jaramillo, C., Gonzalez, M., Medina, R. & Turki, I. (2021), An equilibrium-based shoreline rotation model, *Coastal Engineering* 163, 103789.  
Yates, M. L., Guza, R. T. & O'Reilly, W. C. (2009), Equilibrium shoreline response: Observations and modeling, *J. Geophys. Res.* 114(C09014).

## Conclusions

Une fois calibrée sur un site, le modèle combiné reproduit bien l'évolution du trait de côte aux échelles spatiales d'une plage, et aux échelles temporelles court à moyen terme (saisonnière et interannuelle). Ce modèle simple et efficace permet donc une mise en œuvre sur des sites où suffisamment de mesures morphologiques et de données hydrodynamiques (mesures ou sorties d'un modèle de propagation de vagues validé) sont disponibles.

## Perspectives

- Application sur divers sites pour poursuivre la validation du modèle et la généralisation des coefficients de calibration
- Estimation de la sensibilité du modèle aux données de forçages et aux coefficients de calibration
- Dans le contexte du changement climatique : l'amélioration de la prise en compte du niveau de l'eau afin de prendre en compte l'élévation du niveau de la mer

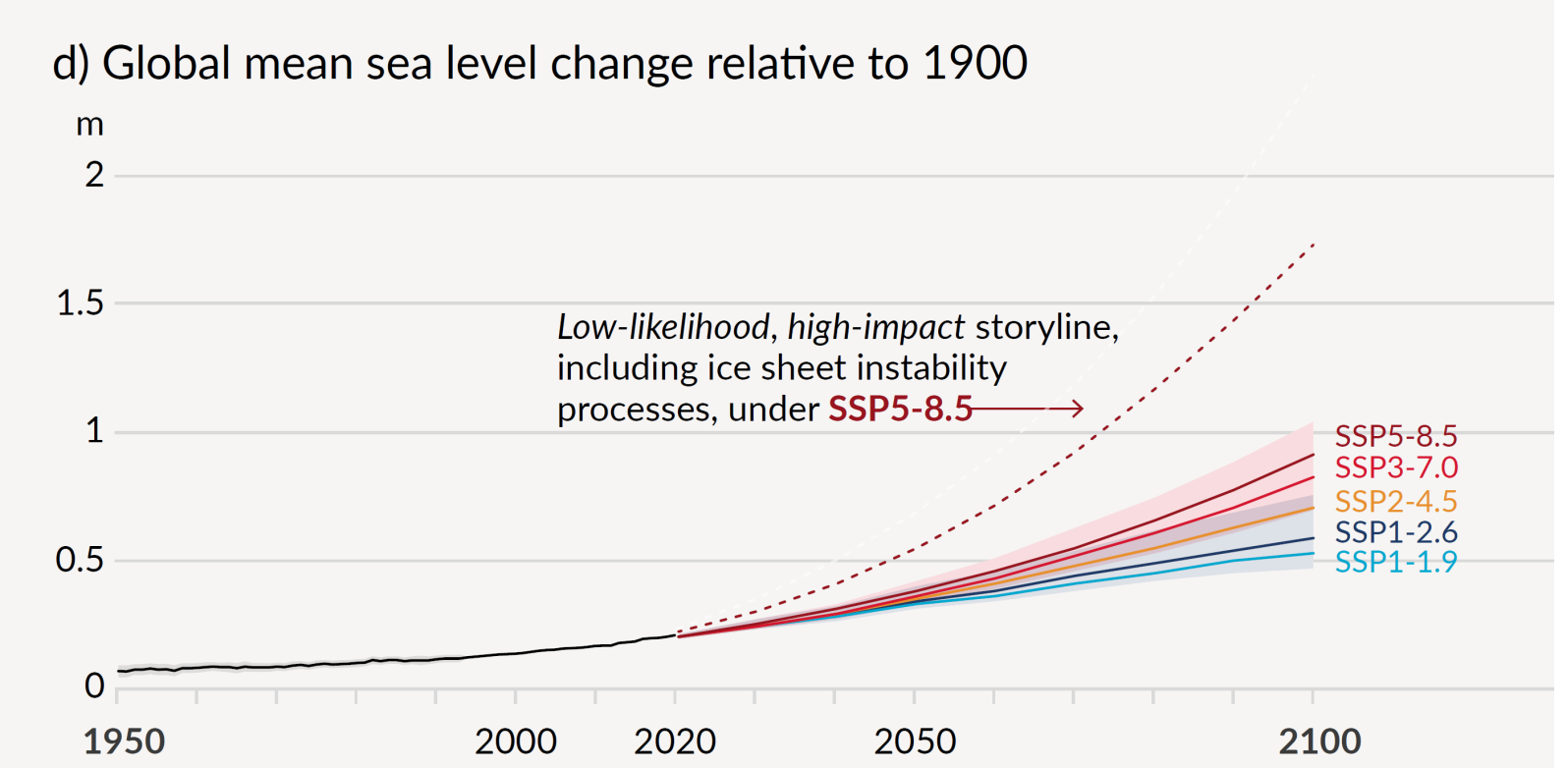


Figure 4 : Projections de l'élévation du niveau de la mer (Figure SPM8 de IPCC, 2021)\*

\* IPCC, 2021 : Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

## Pour plus d'informations

Merci de nous contacter au :  
Marissa Yates  
(marissa.yates@cerema.fr)  
Nicolas Le Dantec  
(nicolas.ledantec@univ-brest.fr)