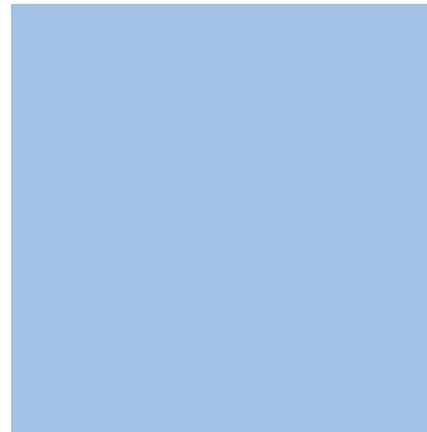
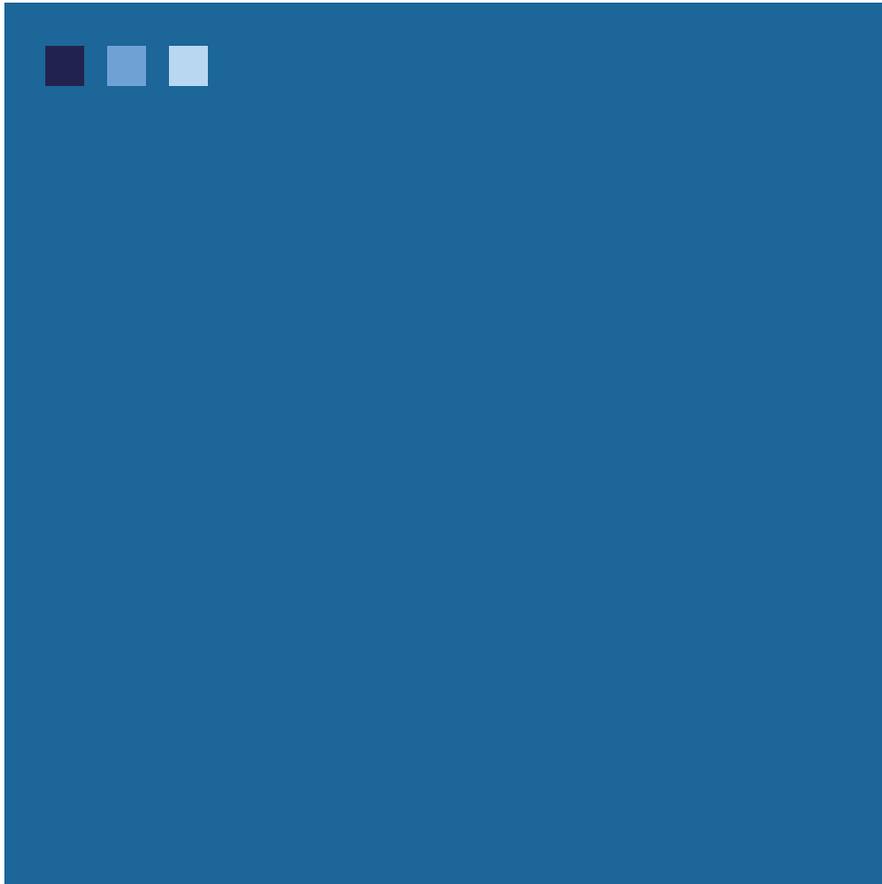




# IMGC

## ADAPTATION DES OUVRAGES EN MAÇONNERIE AUX NOUVELLES CONDITIONS DE SERVICE

Journée Technique  
Vendredi 21 septembre 2017  
à l'Amphithéâtre AUGUSTE BRULÉ



## Evaluation structurale des murs de soutènement en maçonnerie

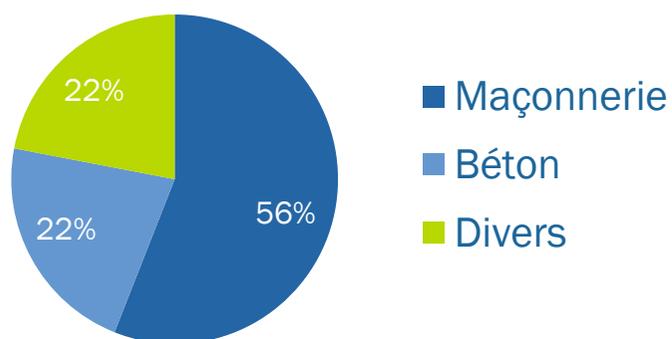
Anne-Sophie Colas, Ifsttar

# Contexte

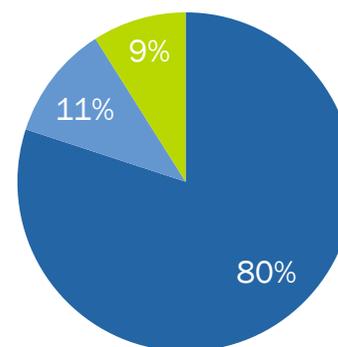
- Constructions anciennes, robustes, très représentées
- Constructions méconnues
- Qualités esthétiques et physiques



Répartition totale



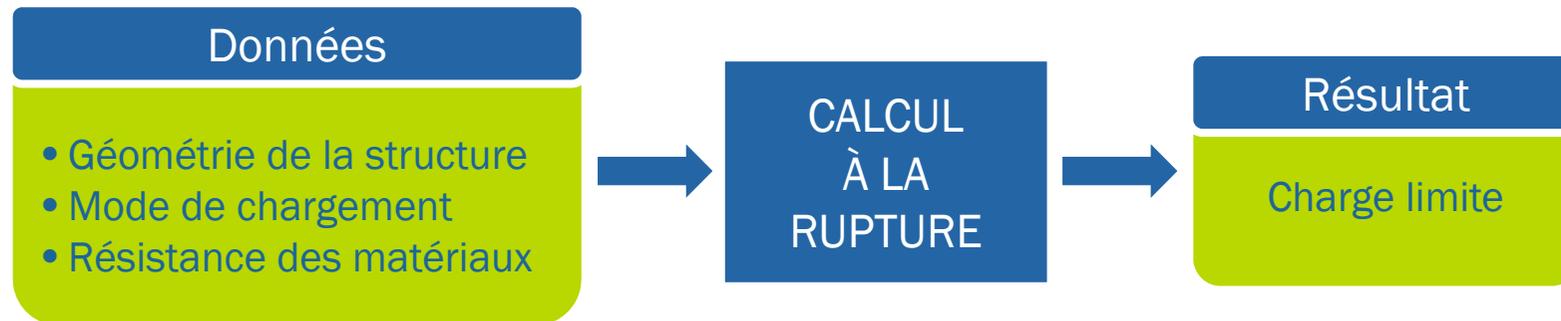
Ouvrages endommagés



# Objet de l'étude

- Enjeu : Calcul de structure
  - Évaluation structurale des ouvrages existants
  - Dimensionnement de solutions de réparation, dont reconstruction
- Méthodologie
  - Modélisation par le calcul à la rupture analytique et numérique
  - Modélisation physique
  - Expérimentations à l'échelle 1

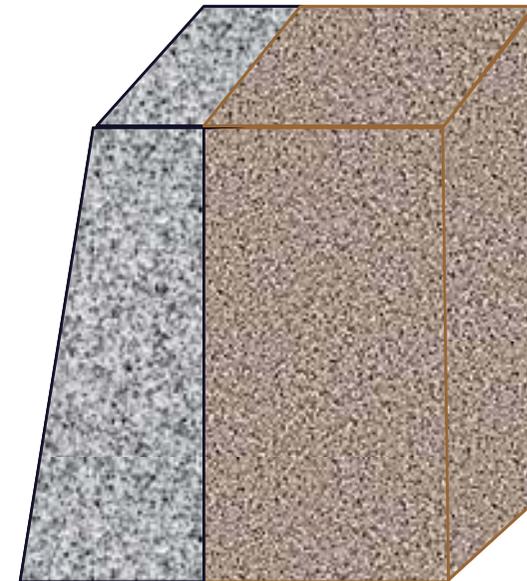
# Introduction au calcul à la rupture



- Domaine d'application : géotechnique, massifs rocheux fracturés, dalles béton, assemblages métalliques, voûtes en maçonnerie...

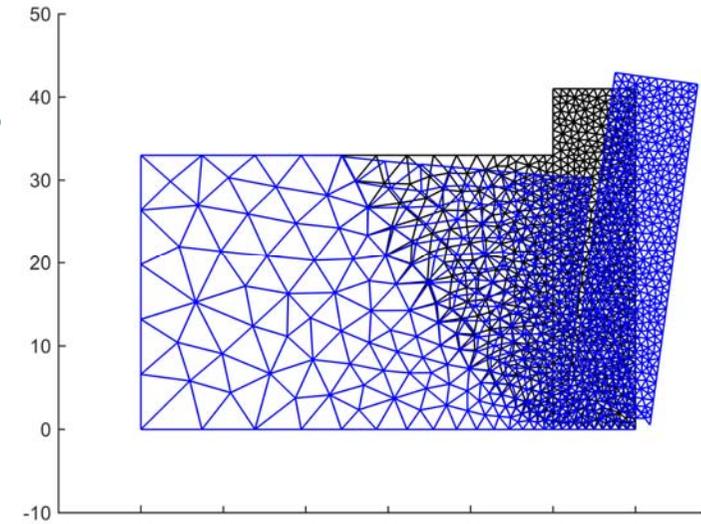
# Position du problème

- Géométries simplifiées
- Mode de chargement
  - Poids propre du mur et du remblai
  - Surcharge éventuelle
- Critère de résistance
  - Homogénéisation de la maçonnerie
  - Frottement de Coulomb pour les joints, le sol, l'interface



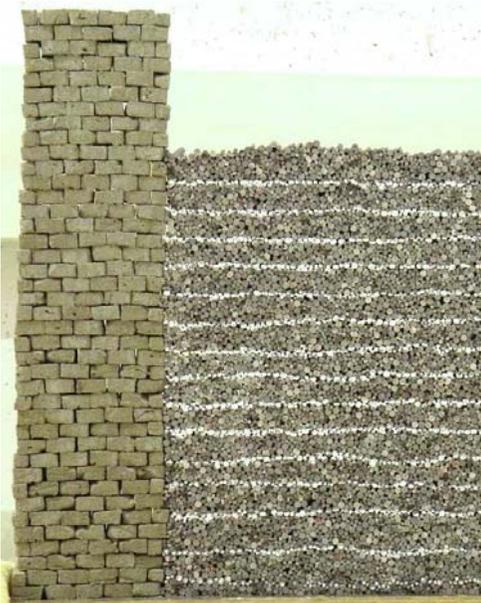
# Calcul de la charge limite

- Définition des mécanismes de rupture virtuels
  - Analytique : imagination, expérience...
  - Numérique : discrétisation du problème
- Approche par l'extérieur du calcul à la rupture  
Pour tout mécanisme  $\underline{v}$ ,  $P^e(\underline{v}) \leq P^{rm}(\underline{v})$
- Résultat par optimisation sur tous les mécanismes  $\underline{v}$  considérés  
Charge maximale  $Q$  = fonction (géométrie, chargement, résistance)



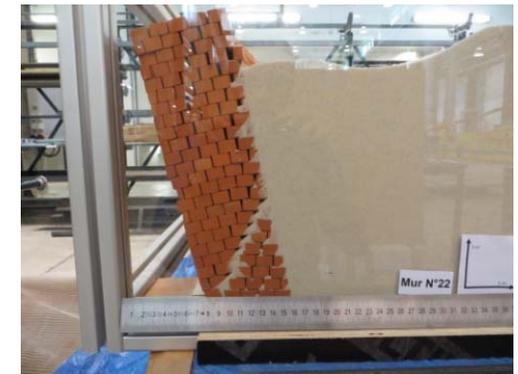
# Modélisation physique

- Intérêt
  - Respect des hypothèses du modèle
  - Coût modeste en temps et en équipement
- Campagnes d'essais en 2D et 3D



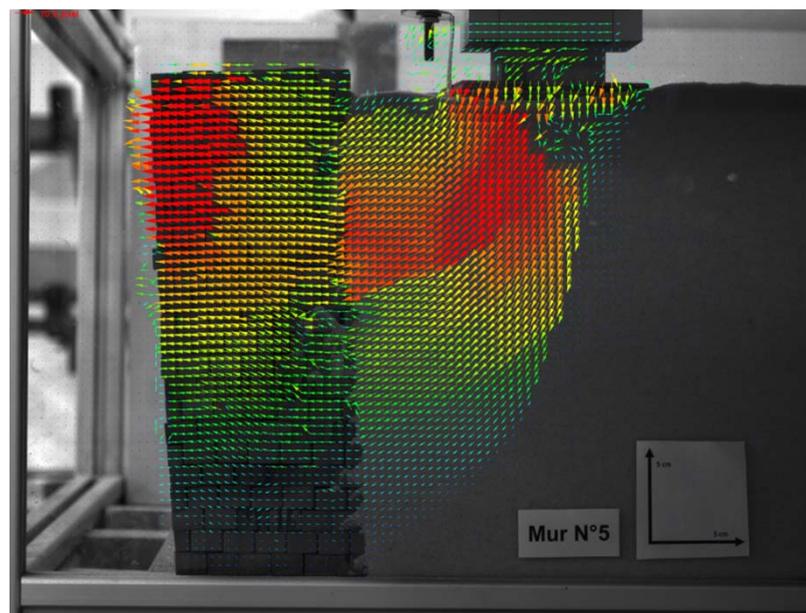
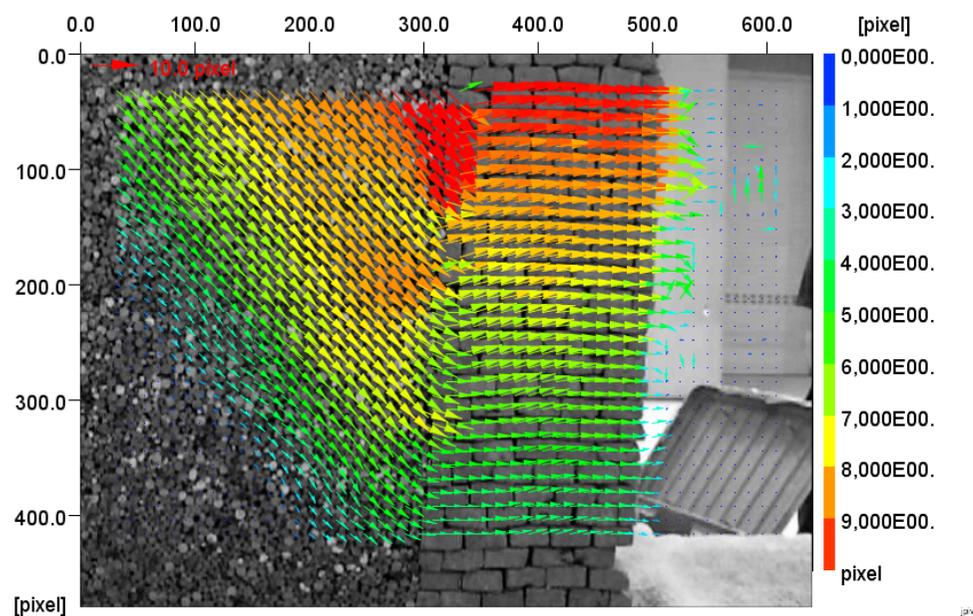
# Description des campagnes

- Campagne 2D
  - Brique béton et remblai de Schneebeli
  - Construction de près de 40 murs de 40 cm de hauteur
  - Test par pose de couches de remblai successives
- Campagne 3D
  - Brique terre cuite et sable d'Hostun
  - Construction de près de 40 murs de 30 cm de hauteur
  - Test par charge ponctuelle sur le remblai



# Résultats cinématiques

- Analyse par corrélation d'images



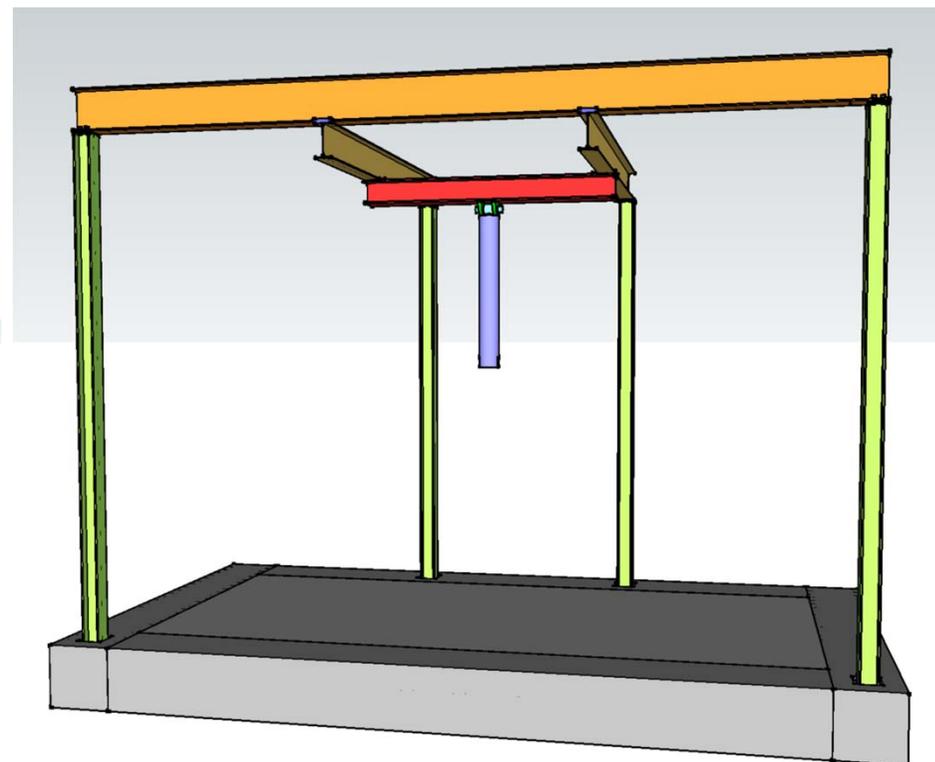
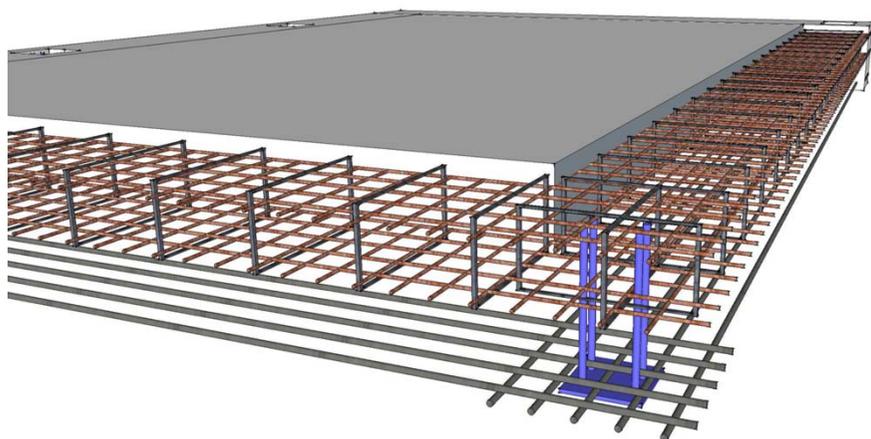
# Expérimentation à l'échelle 1

- Caractéristiques
  - Prise en compte des hétérogénéités
  - Validation du modèle
  - Informations complémentaires sur le comportement de la structure
- Campagne d'essais en 2D validée
- Campagne d'essais 3D en développement



# Une plate-forme dédiée

- Partenariat ABPS, ENTPE, IFSTTAR, ENPC (financement CPIER LAUBAMAC )
- Plateforme de chargement
  - Plateforme : 6 x 3 m
  - Portique : 6 x 4 m max.
  - Charge maximale : 300 kN

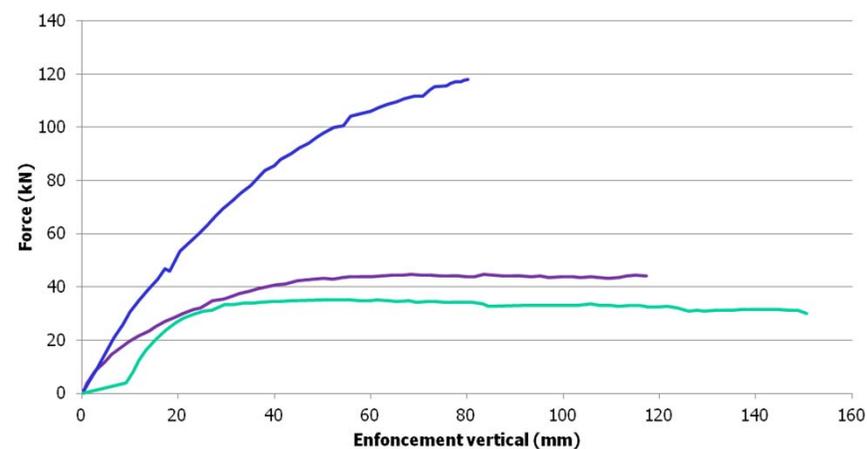


# Essai en grandeur réelle

- Caractéristiques de l'essai
  - Mur en calcaire de 1,80 m de hauteur
  - Remblai en gravier roulé de Bellegarde
  - Instrumentation par capteurs à câbles et caméras
- 3 chargements à différentes distances de la tête du mur
  - 60 cm : 48 kN max.
  - 120 cm : 125 kN max.
  - 30 cm : 38 kN max.

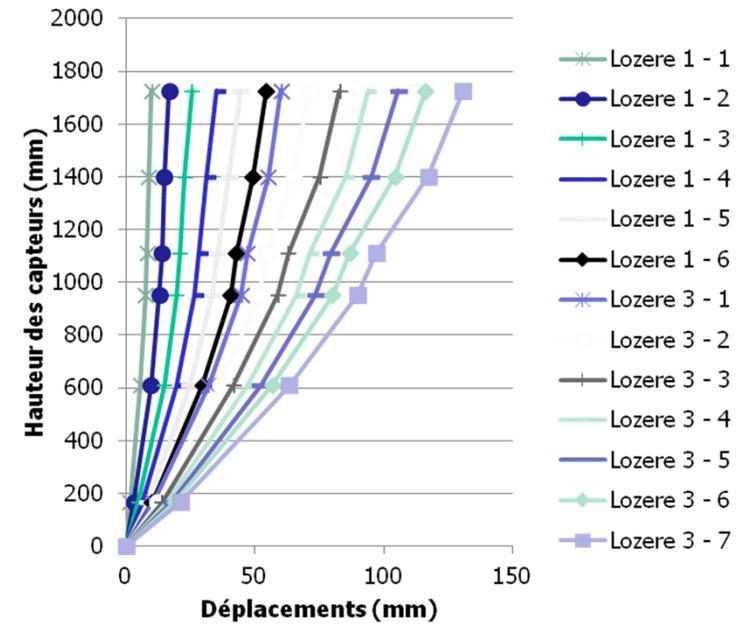
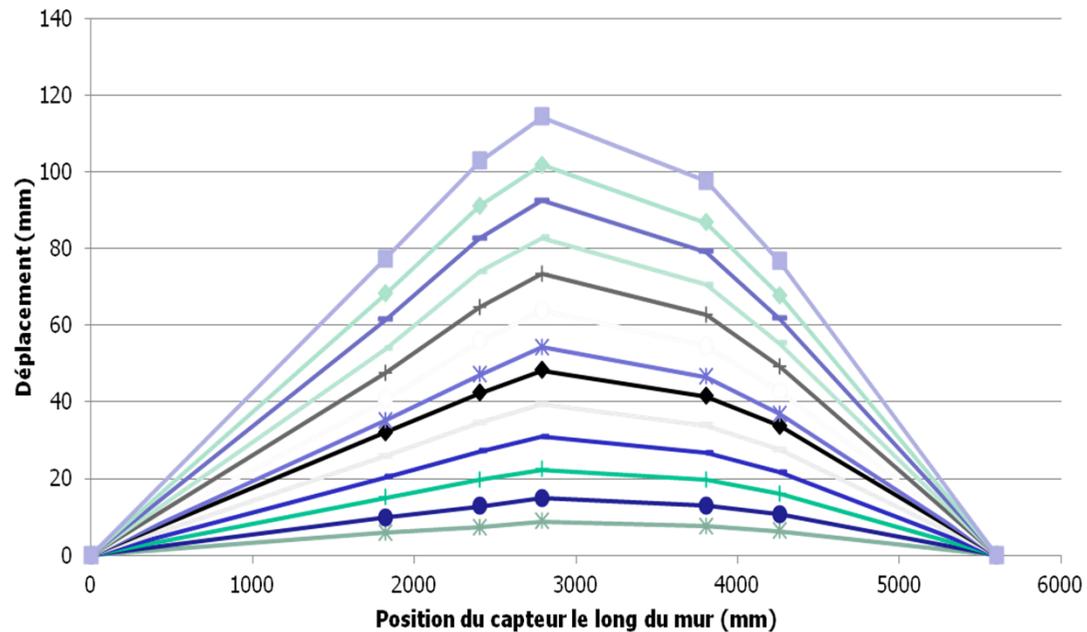


**Force - enfoncement**

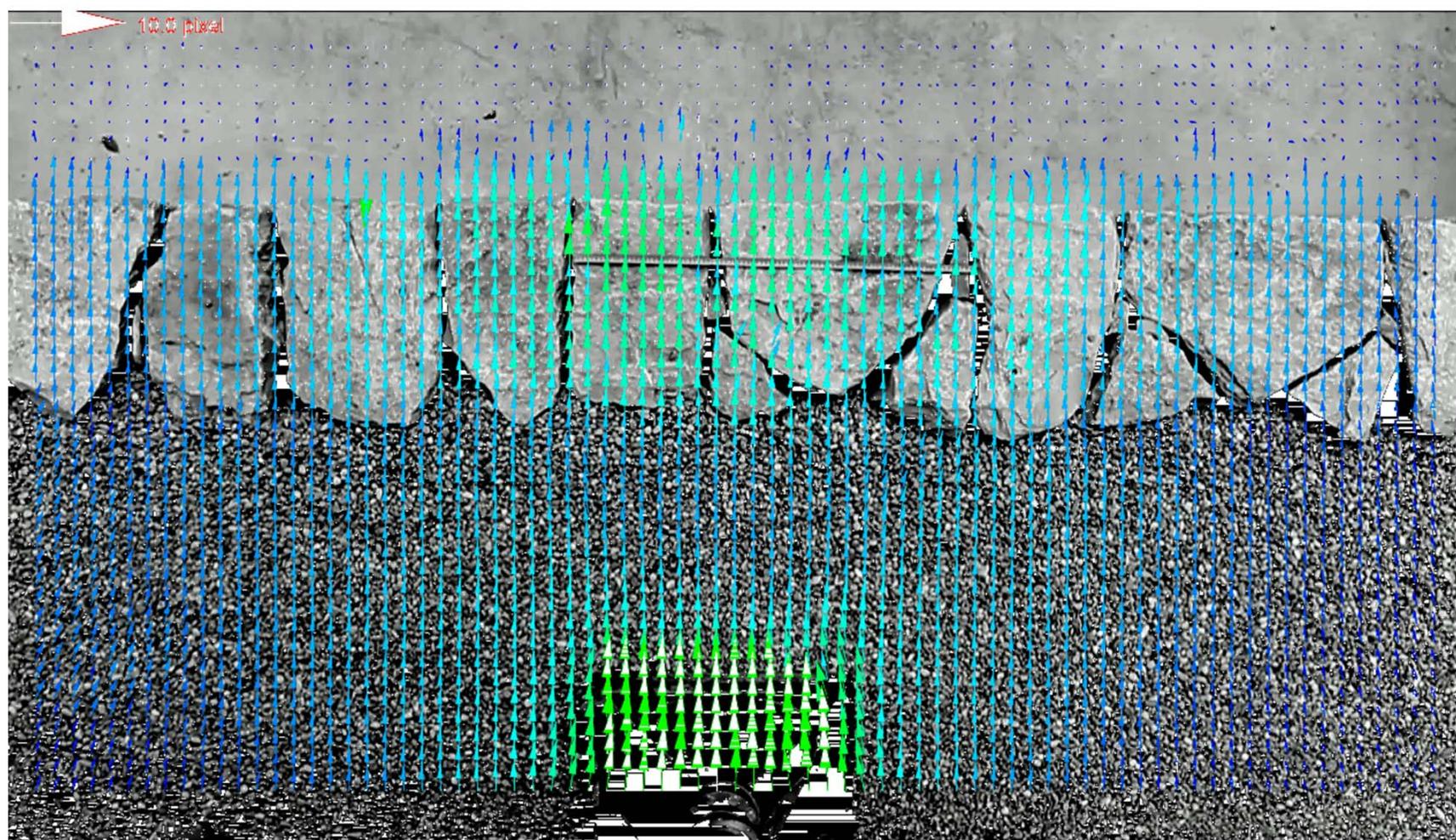


# Déformation du mur

- Déformation du mur en 3D
- Déplacement max de l'ordre du dm en tête

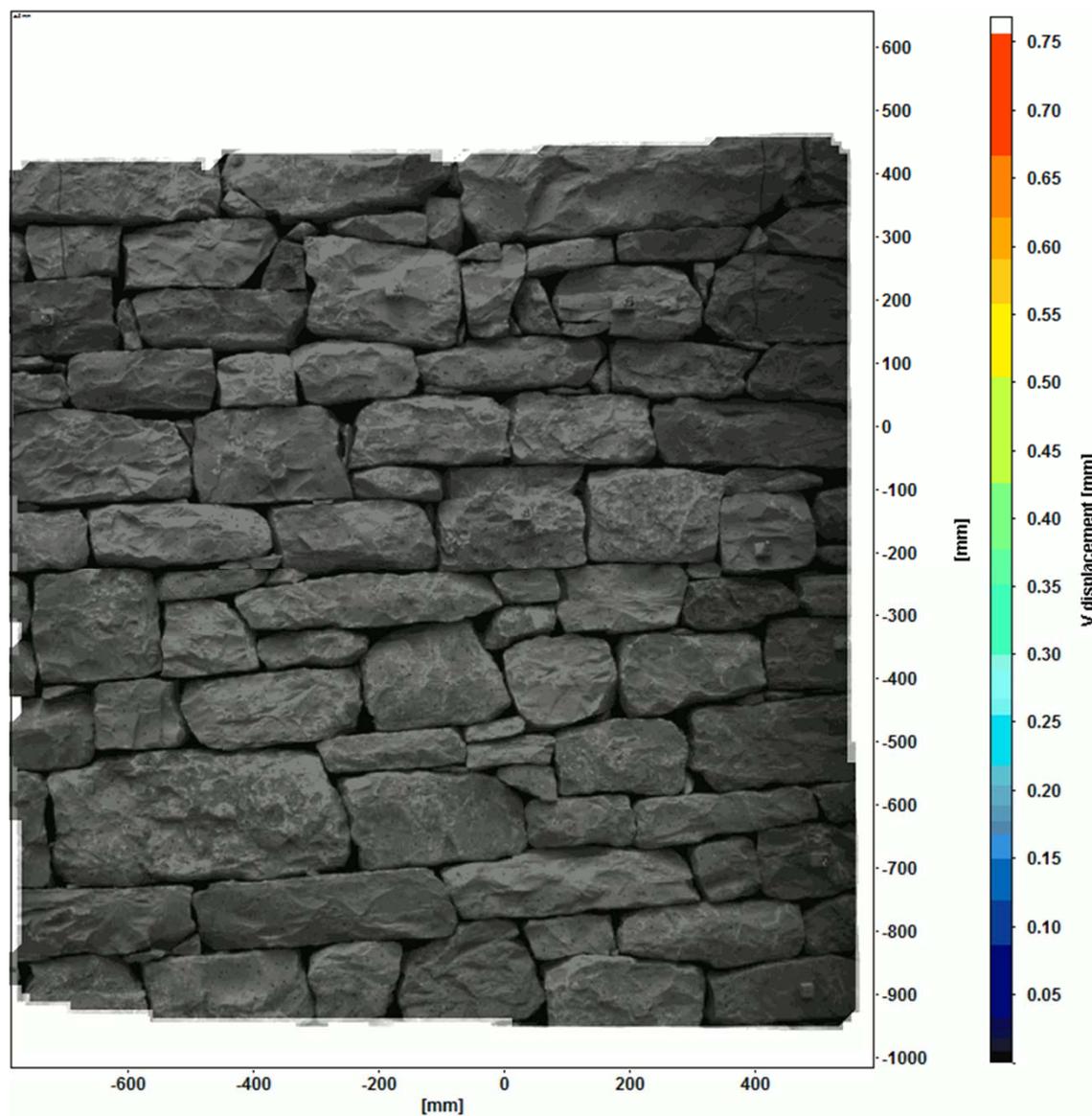


# Analyse d'images 2D



00 000000 0000  
01 000000 0000  
02 000000 0000  
03 000000 0000  
04 000000 0000  
05 000000 0000  
06 000000 0000  
07 000000 0000  
08 000000 0000  
09 000000 0000  
10 000000 0000  
11 000000 0000  
12 000000 0000  
13 000000 0000  
14 000000 0000  
15 000000 0000  
16 000000 0000  
17 000000 0000  
18 000000 0000  
19 000000 0000  
20 000000 0000  
21 000000 0000  
22 000000 0000  
23 000000 0000  
24 000000 0000  
25 000000 0000  
26 000000 0000  
27 000000 0000  
28 000000 0000  
29 000000 0000  
30 000000 0000  
31 000000 0000  
32 000000 0000  
33 000000 0000  
34 000000 0000  
35 000000 0000  
36 000000 0000  
37 000000 0000  
38 000000 0000  
39 000000 0000  
40 000000 0000  
41 000000 0000  
42 000000 0000  
43 000000 0000  
44 000000 0000  
45 000000 0000  
46 000000 0000  
47 000000 0000  
48 000000 0000  
49 000000 0000  
50 000000 0000  
51 000000 0000  
52 000000 0000  
53 000000 0000  
54 000000 0000  
55 000000 0000  
56 000000 0000  
57 000000 0000  
58 000000 0000  
59 000000 0000  
60 000000 0000  
61 000000 0000  
62 000000 0000  
63 000000 0000  
64 000000 0000  
65 000000 0000  
66 000000 0000  
67 000000 0000  
68 000000 0000  
69 000000 0000  
70 000000 0000  
71 000000 0000  
72 000000 0000  
73 000000 0000  
74 000000 0000  
75 000000 0000  
76 000000 0000  
77 000000 0000  
78 000000 0000  
79 000000 0000  
80 000000 0000  
81 000000 0000  
82 000000 0000  
83 000000 0000  
84 000000 0000  
85 000000 0000  
86 000000 0000  
87 000000 0000  
88 000000 0000  
89 000000 0000  
90 000000 0000  
91 000000 0000  
92 000000 0000  
93 000000 0000  
94 000000 0000  
95 000000 0000  
96 000000 0000  
97 000000 0000  
98 000000 0000  
99 000000 0000  
100 000000 0000

# Analyse d'images 3D



- Déplacement dans les 3 directions
- Recoupement avec les données des capteurs à câble

# Conclusion

- Amélioration et généralisation du modèle
  - Développement de l'approche numérique
  - Nouveaux essais 3D
  - Prise en compte de chargements annexes (écoulement, sismique...)
- Promotion de la technologie
  - Participation à la réglementation
  - Appui au développement de la formation
  - Analyse développement durable

# Merci de votre attention



Anne-Sophie Colas

Ifsttar

Département Matériaux et Structures

Laboratoire Sécurité et Durabilité des Ouvrages d'Art

[anne-sophie.colas@ifsttar.fr](mailto:anne-sophie.colas@ifsttar.fr)

[www.sdoa.ifsttar.fr](http://www.sdoa.ifsttar.fr)