



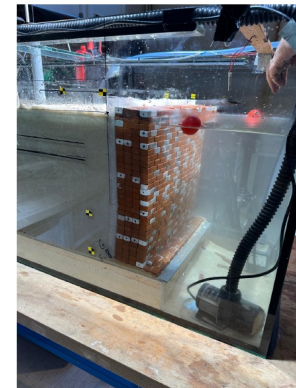
JOURNEES NATIONALES  
MAÇONNERIE

5ème édition – Bordeaux

12 et 13 Juin 2025



## COMPORTEMENT DES MURS DE MAÇONNERIE FACE AU RISQUE HYDRAULIQUE : CONCEPTION D'UNE EXPÉRIMENTATION SUR MODÈLES RÉDUITS



CHERIFI H. COLAS A-S. GARNIER D. TERRADE B



LABORATOIRE RRO  
RISQUE ROCHEUX ET  
OUVRAGES GÉOTECHNIQUES



# Le contexte



Fig.1 Inondation de Valence 2024 (Espagne)<sup>(1)</sup>

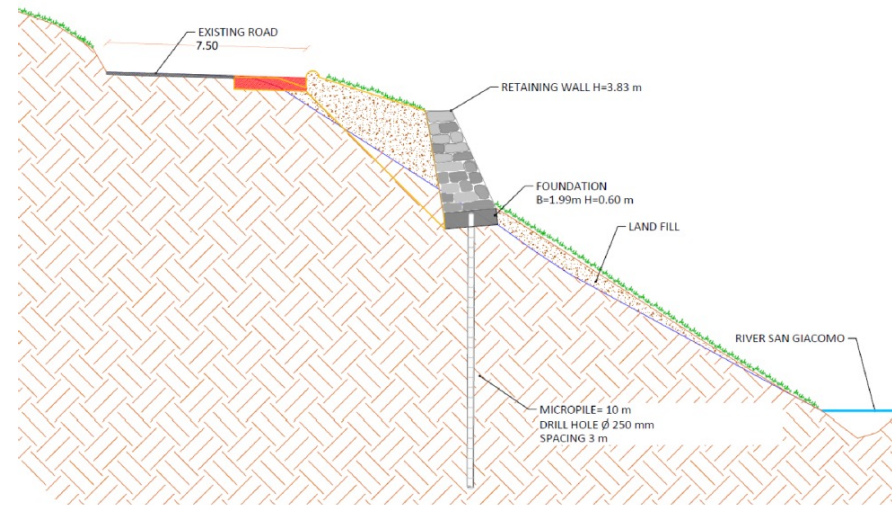


Fig.2 Profil en coupe transversale de la zone étudiée, MSP le long de la route SP45 (Italie)<sup>(2)</sup>

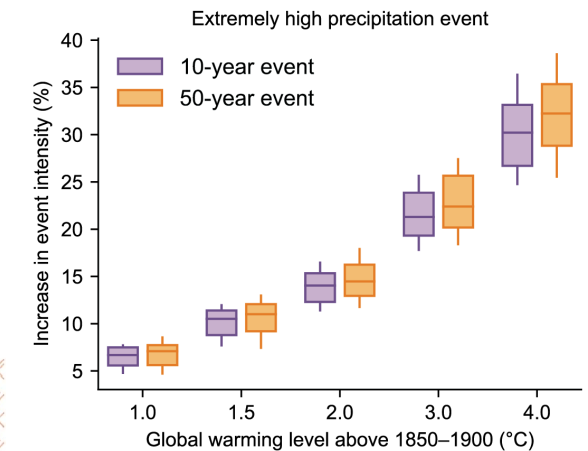


Fig.3 Évolution des épisodes de pluies extrêmes dans un contexte de réchauffement climatique<sup>(3)</sup>

- ❑ Recherches sur les structures en maçonnerie hors bâtiment face aux sollicitations extrêmes encore peu nombreuses
- ❑ Complexité intrinsèque du comportement de la maçonnerie
- ❑ Impact avéré du changement climatique sur les infrastructures
- ❑ Besoin croissant d'ingénierie de diagnostic et de gestion des risques

(1) [https://www.bfmtv.com/international/europe/espagne/inondations-en-espagne-les-images-aeriennes-des-crues-dramatiques-qui-ont-fait-plus-de-150-morts\\_AV-202411010370.html](https://www.bfmtv.com/international/europe/espagne/inondations-en-espagne-les-images-aeriennes-des-crues-dramatiques-qui-ont-fait-plus-de-150-morts_AV-202411010370.html)

(2) Panini *et al.* (2020) studied the stability of a retaining wall under severe hydraulic conditions in Northern Italy.

(3) GIEC, 2014 : Changement climatique 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au Cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

# Objectif



Évaluer la vulnérabilité des murs de soutènement en maçonnerie soumis à des aléas naturels (inondations, séisme...) par :

- ❑ Modélisation analytique et numérique en **calcul à la rupture**
- ❑ Expérimentation à **différentes échelles**
- ❑ Modélisation numérique en **FEM / DEM**



Fig 4. Mur de soutènement en pierre, Majorque, Espagne

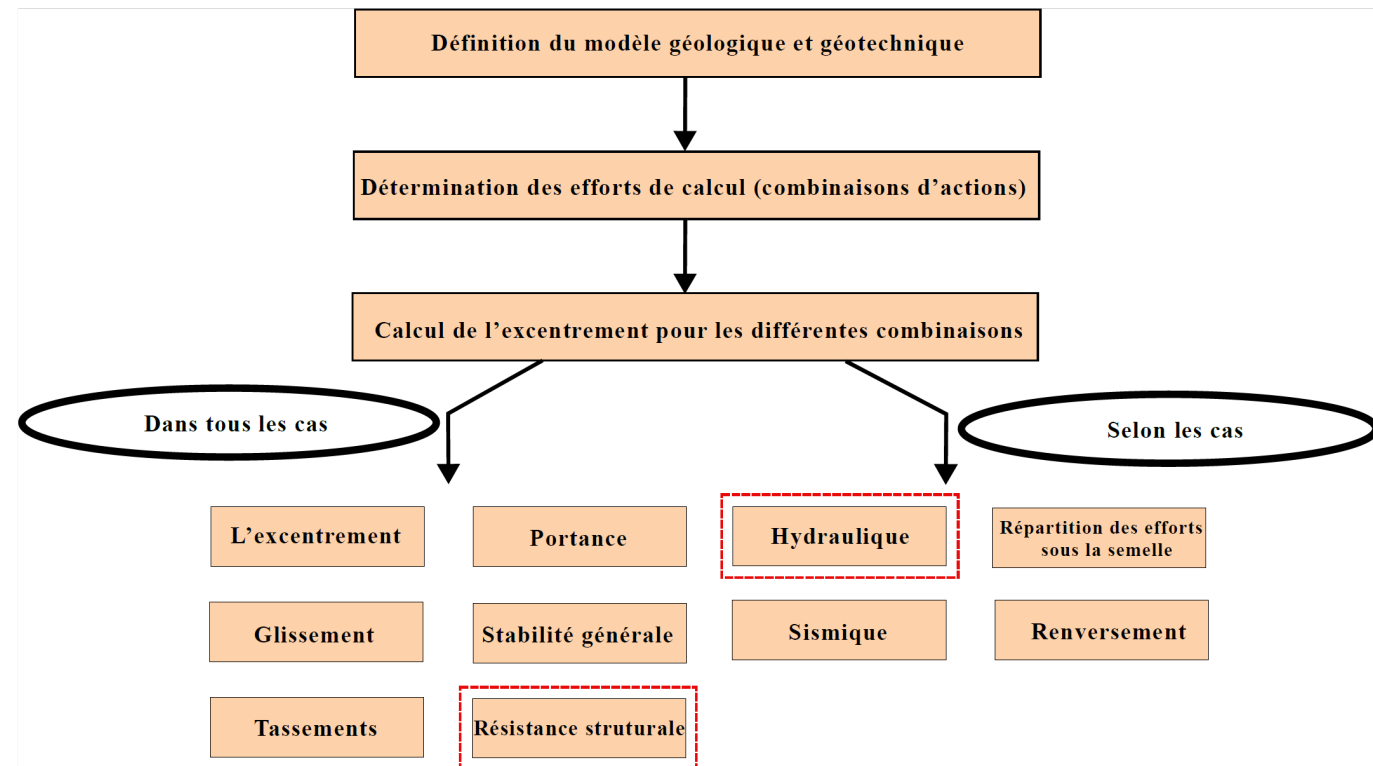


Fig 5. Approche méthodologique pour l'étude du mur de soutènement<sup>(11,12)</sup>

(11) : NF P 94-281: Justification des ouvrages géotechniques - Ouvrages de soutènement - Murs

(12) : CEREMA, Eurocode 7: application aux murs (NF P 94-281)

# Aperçu théorique



## Inputs:

- Géométrie de la structure
- Mode de chargement
- Capacités de résistance des matériaux

$$P_e \leq P_{rm}$$

## Outputs:

- Détermination de l'ensemble K des charges potentiellement supportables par le système à l'étude

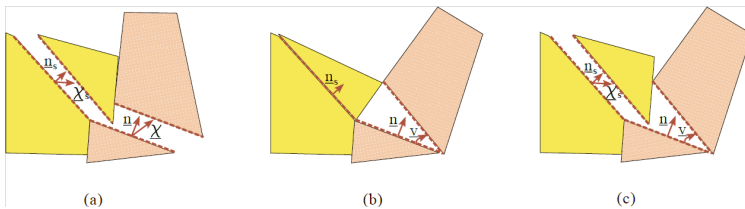


Fig.8 : Modes de rupture considérés pour le calcul analytique

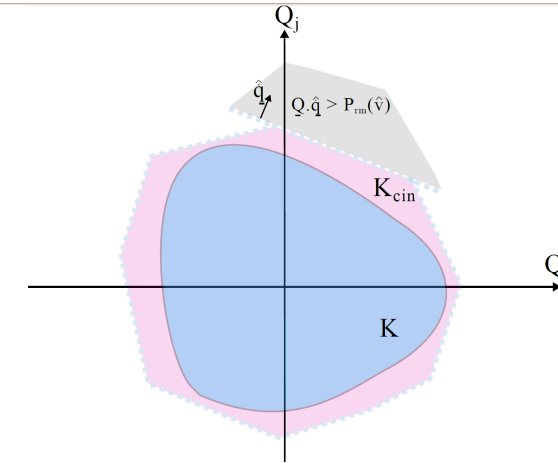


Fig.6: Construction du domaine de calcul externe  $K_{ext}$

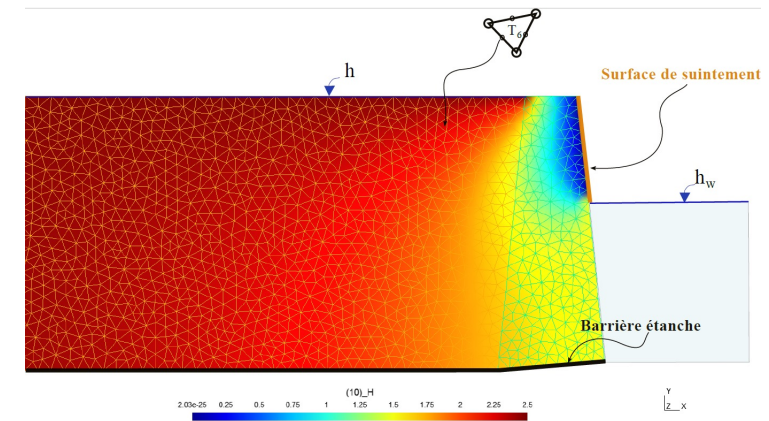


Fig.7 : Résultats issus d'un modèle aux éléments finis (NSAT - CESAR LCPC)

# Montage expérimental



Conception préliminaire

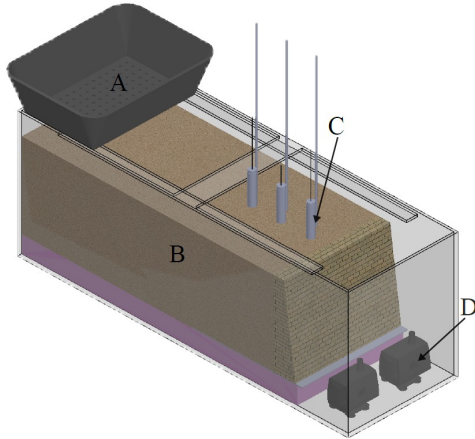


Fig 9. Maquette 3D du dispositif expérimental



Fig 10. Blocs utilisés pour la construction des murs



Fig 11. Assemblage considéré pour la construction du mur

Modélisation

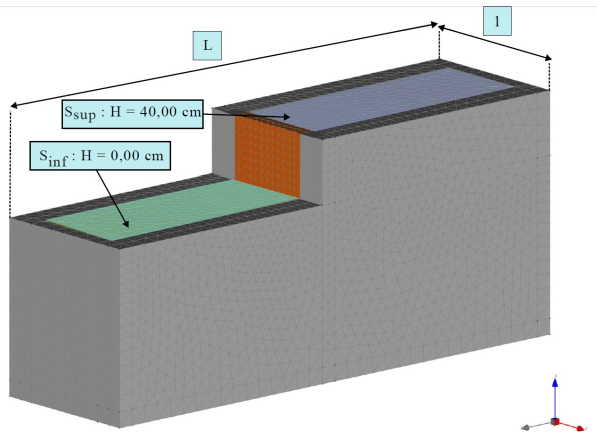


Fig 13. Modèle FEM 3D – CESAR LCPC



Fig 12. Massif utilisé pour les essais de conductivité hydraulique

# Montage expérimental



- ❑ 27 essais
- ❑ Hauteur des murs : de 18 cm à 39 cm
- ❑ Largeur des murs : de 5,4 cm à 12 cm

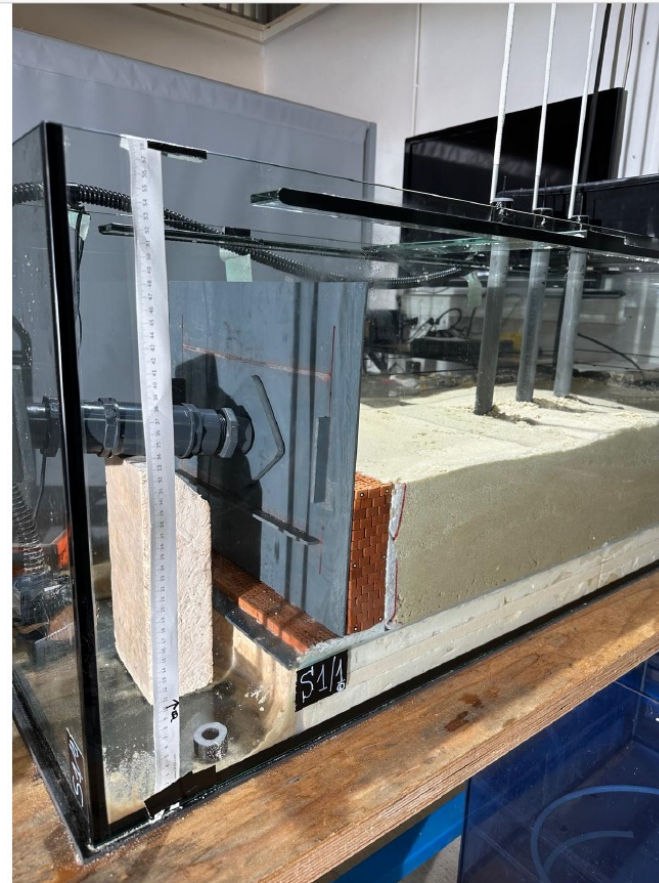


Fig 14. Illustration de l'essai S1/1

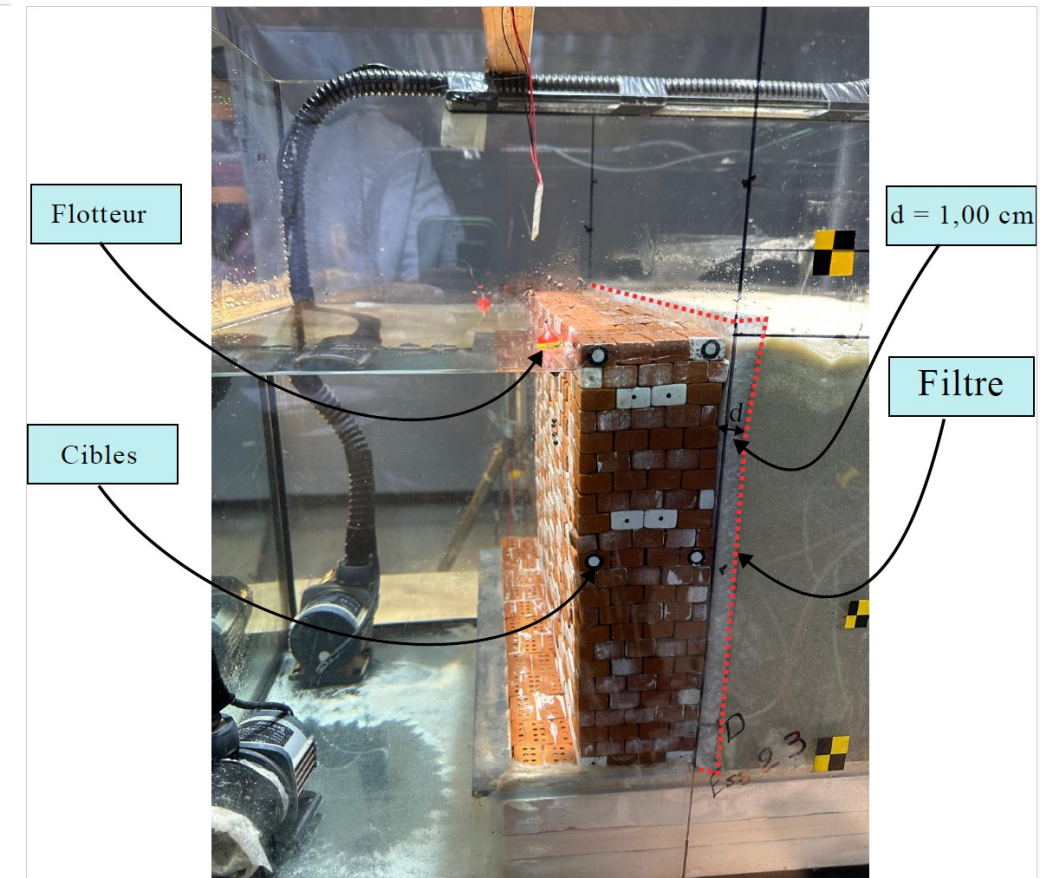


Fig 15. Composantes du modèle physique

# Méthodologie

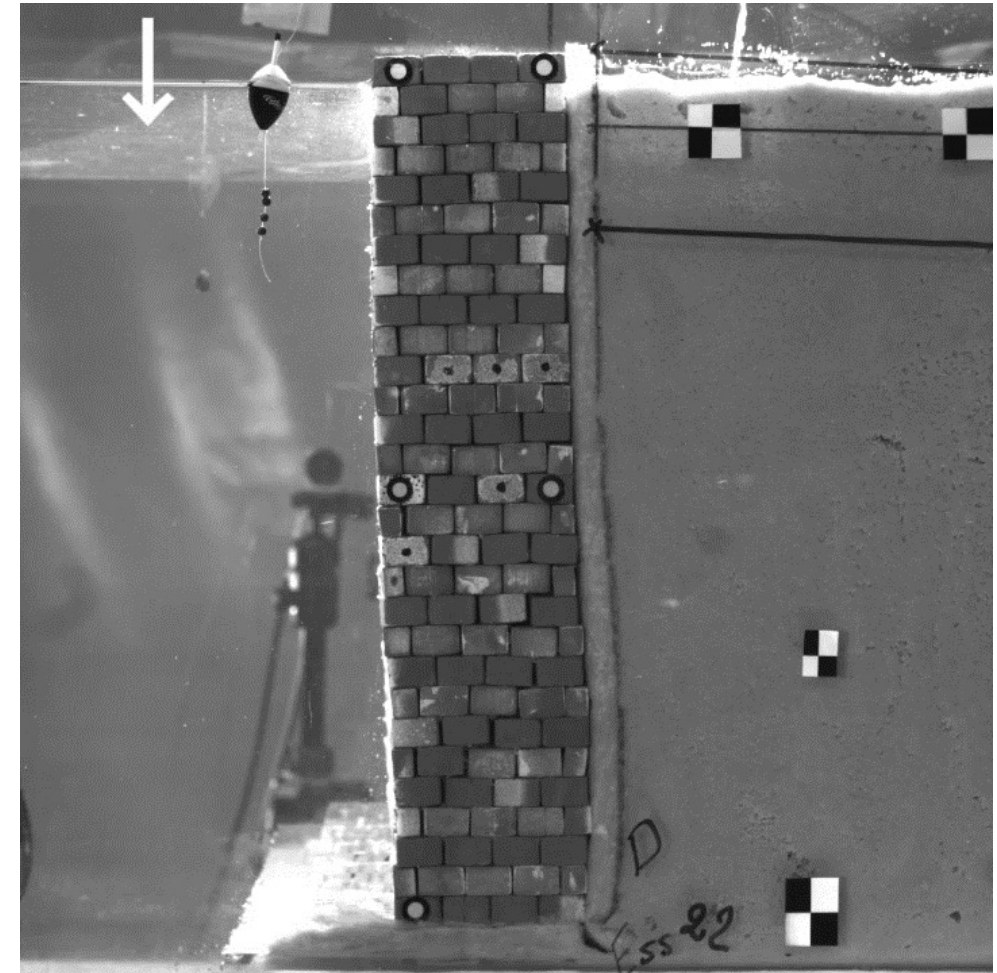
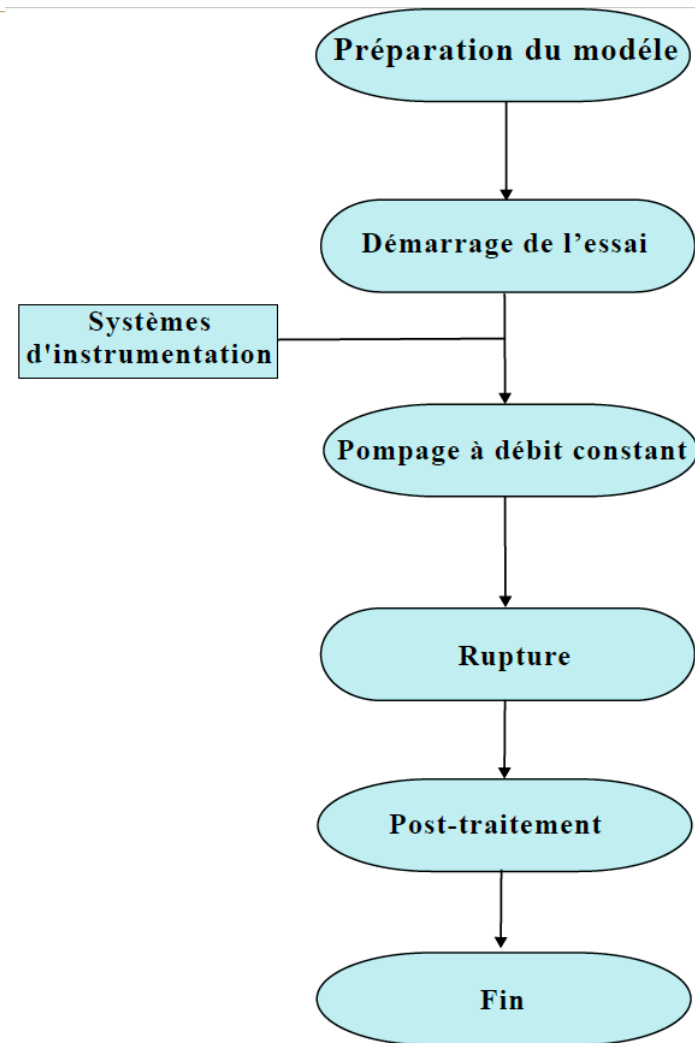


Fig 16. Organisation du protocole expérimental

# Instrumentation

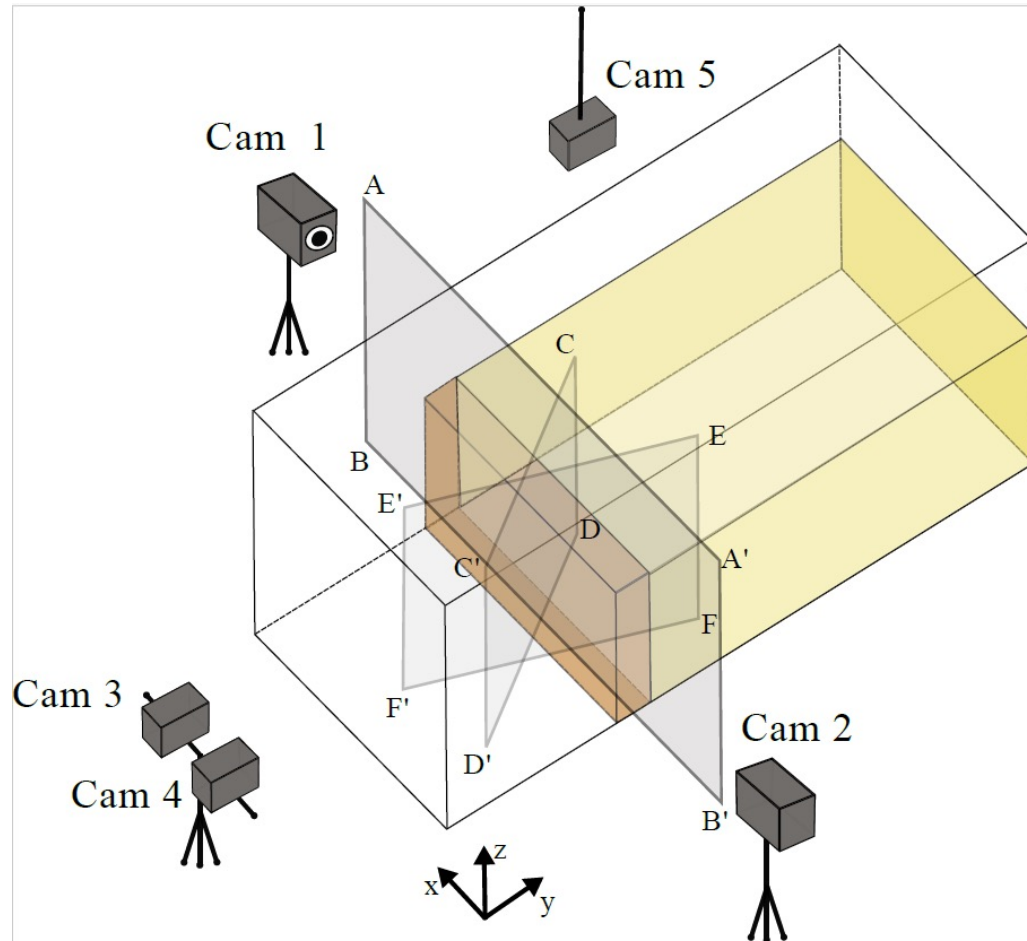


Fig 17. Schéma instrumental

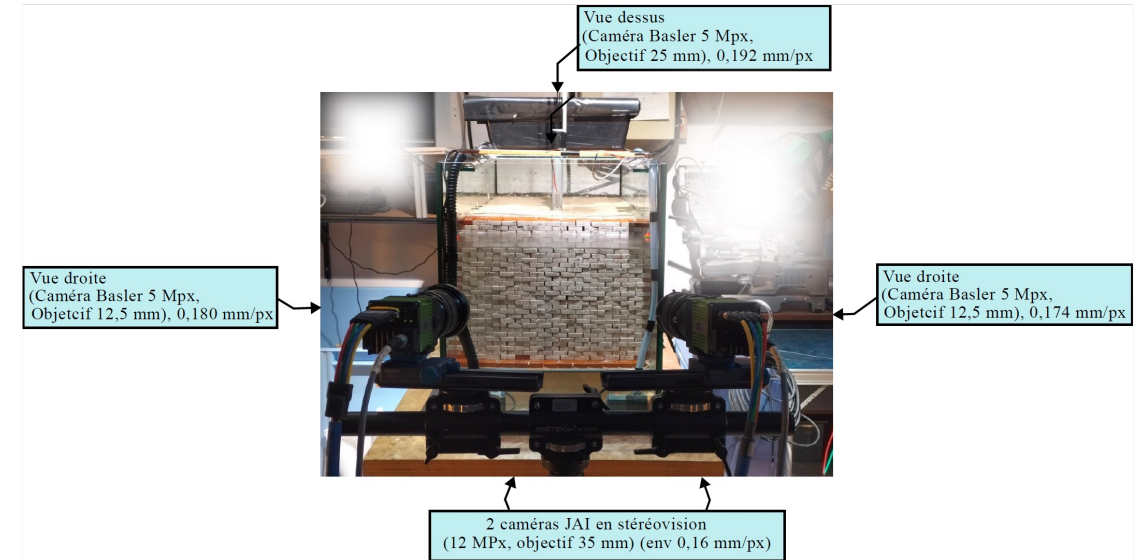


Fig 18. Instrumentation pour l'analyse DIC



Fig 19. Spots réalisés pour le suivi des déplacements par le DIC

# Résultats : Courbes de l'écoulement plastique

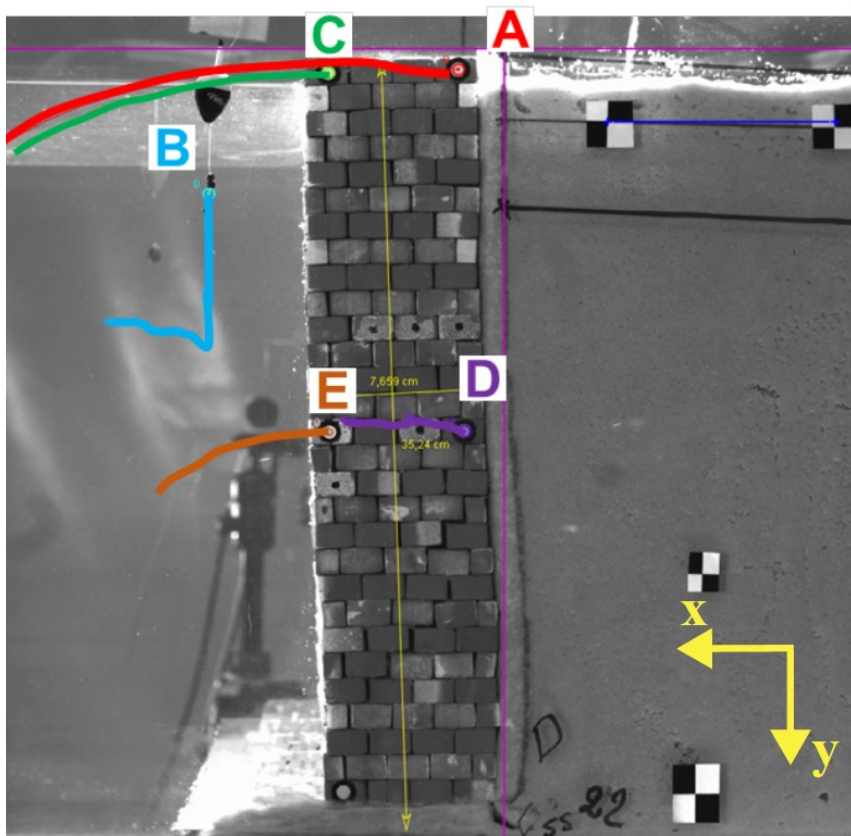


Fig 20. Trajectoires des blocs cibles (en fonction du temps) réalisé par l'outil Tracker

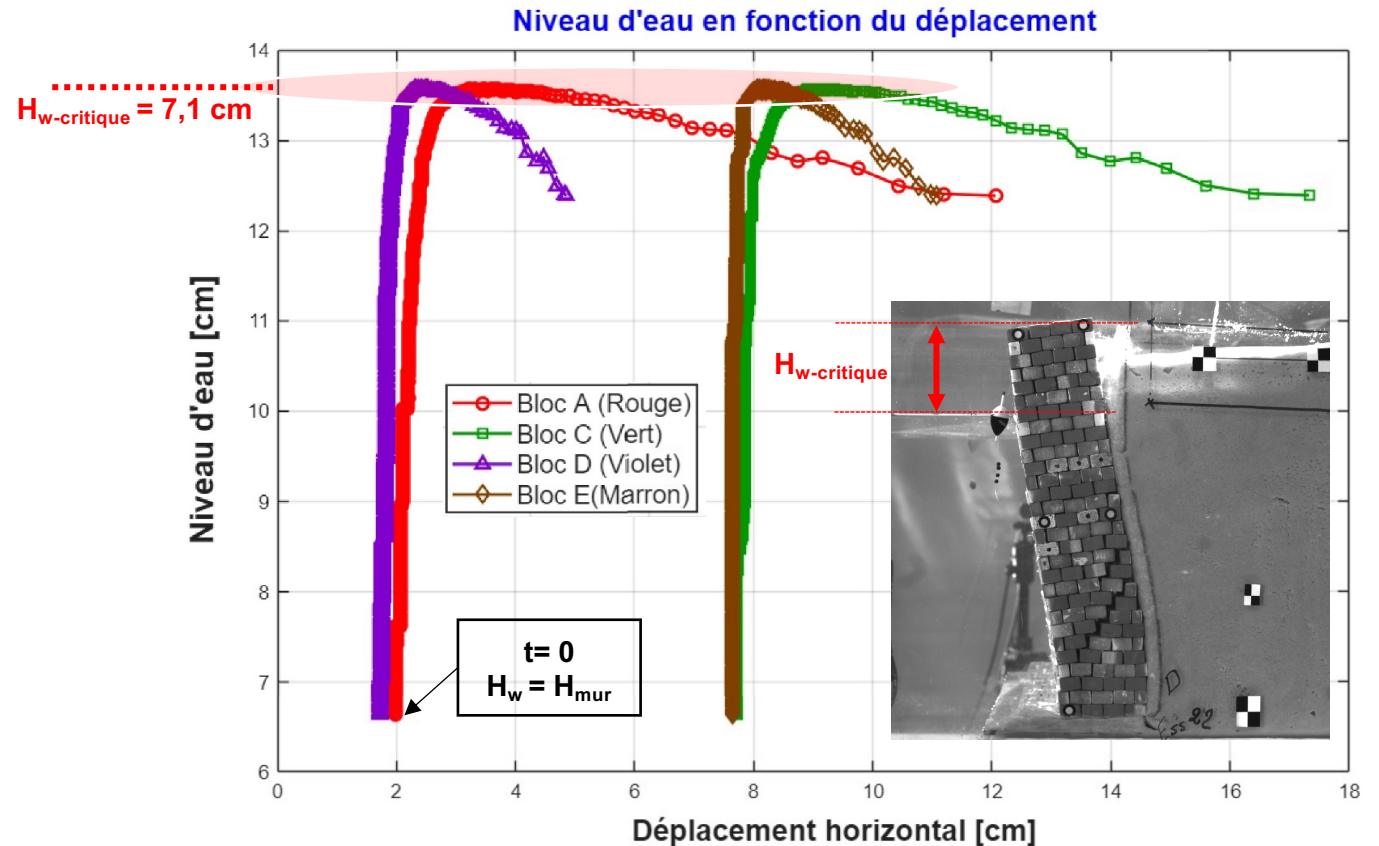


Fig 21. Résultats « charge-déplacement »

- Ecoulement plastique
- Identification claire de la rupture selon les modes de basculement et de glissement.

# Résultats : 2D – DIC

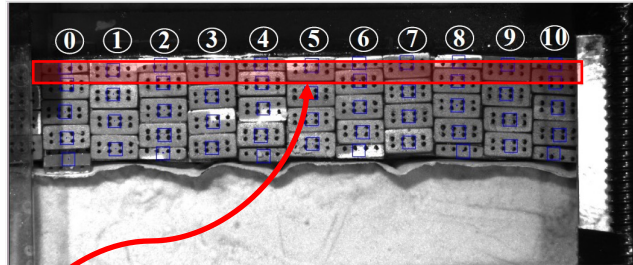


Fig 22. Vue de dessus / CAM

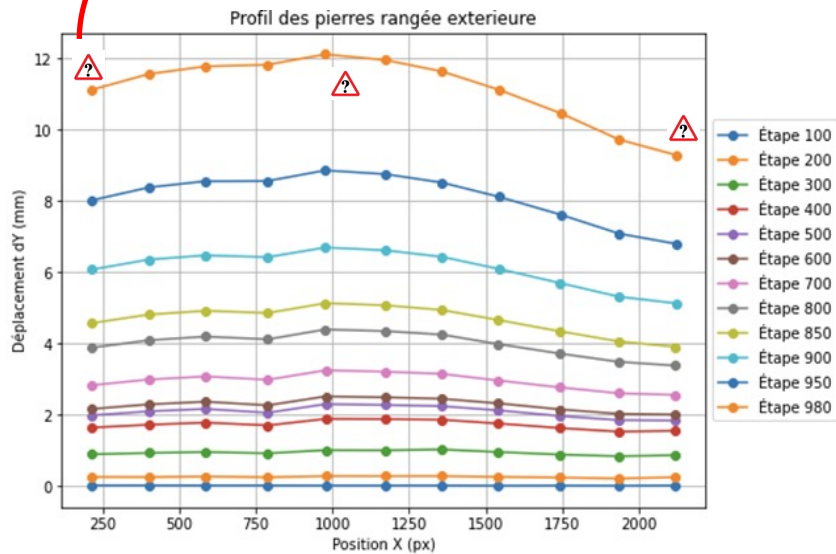


Fig 23. Evolution des déplacements verticaux  $u_y$  de la rangée extérieure du premier lit du mur

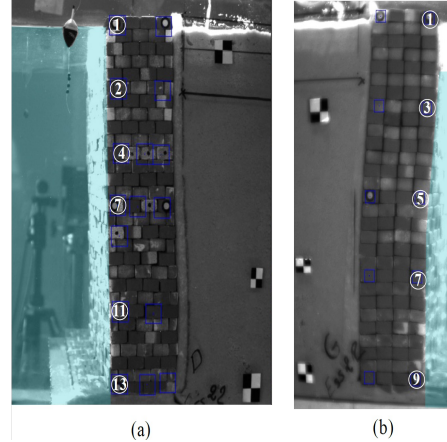


Fig 24. vues latérales (a) CAM2 (b) CAM1

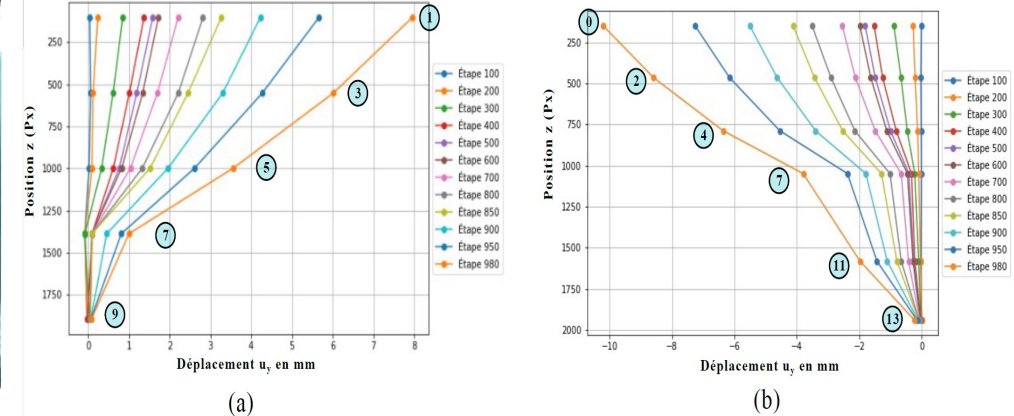
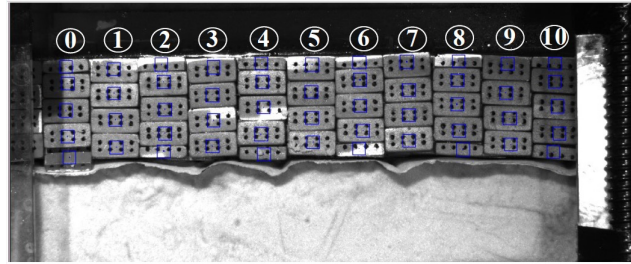


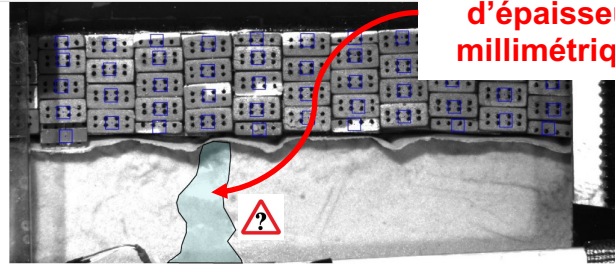
Fig 25. Evolution des déplacements verticaux  $u_y$   
(a) vue gauche / CAM 1 (b) vue droite / CAM

- Effet 3D relativement marginale (12% d'écart maximal) lié aux interfaces mur – vitre (atténué par du spray paraffine sur les bords du modèle )
- Le modèle montre une réponse homogène, avec un faible écart de déplacement entre les limites et un mécanisme de basculement constant, signe de stabilité du comportement simulé.

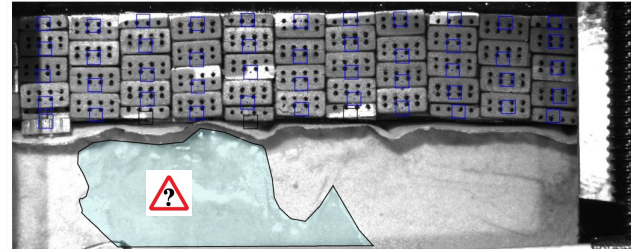
# Résultats : 2D – DIC (Vue de dessus)



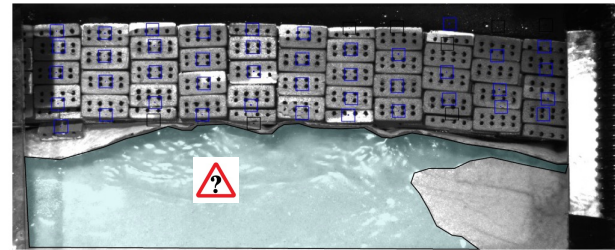
Étape 967: absence d'eau en surface du remblai



Étape 980: l'eau rentre en contact avec le mur



Étape 1000: l'eau continue à remplir à avancer vers le mur



Étape 1025: Fin de l'essai

Lame d'eau  
d'épaisseur  
millimétrique

Fig 26. Suivi du niveau d'eau lors du processus de pluviation

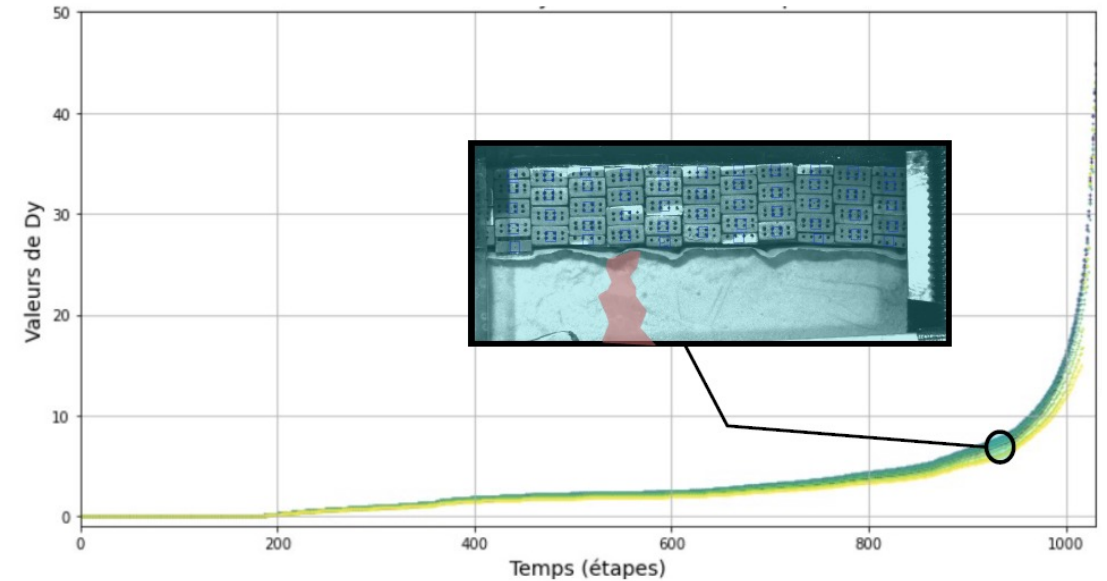
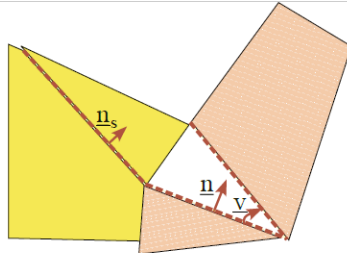


Fig 27. Essai de référence : évolution des déplacements  $u_y$  en fonction du temps / des étapes (analyse des données de la CAM5)

- L'affaissement du sol est un effet attendu, mais la rupture intervient bien avant le contact lame - mur, confirmant la cohérence du modèle.

# Résultats : Stéréo – DIC

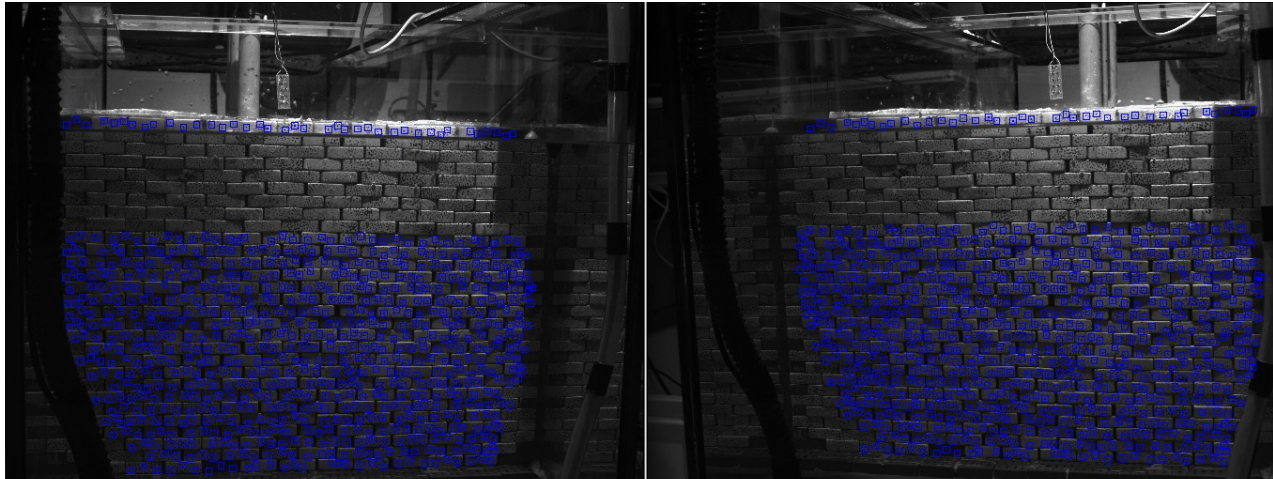
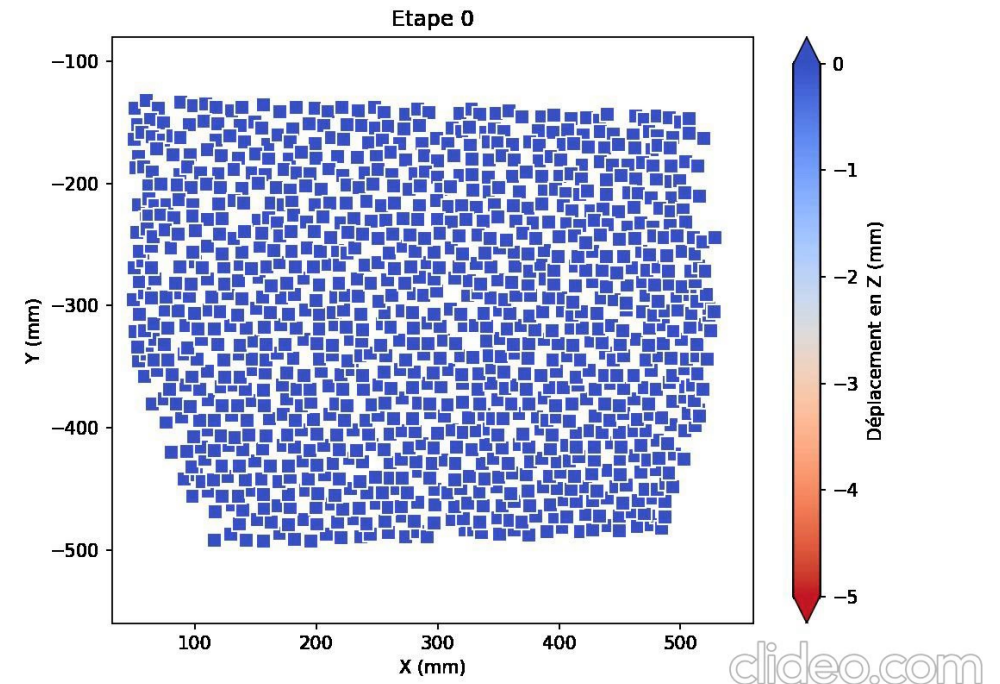


Fig 28. Illustration des imagettes sélectionnées pour la stéréovision



- La stéréo-DIC a permis d'obtenir l'évolution 3D des déplacements sur le mur, confirmant ainsi les données issues du suivi par Tracker et de l'analyse 2D-DIC.

# Conclusion et perspectives



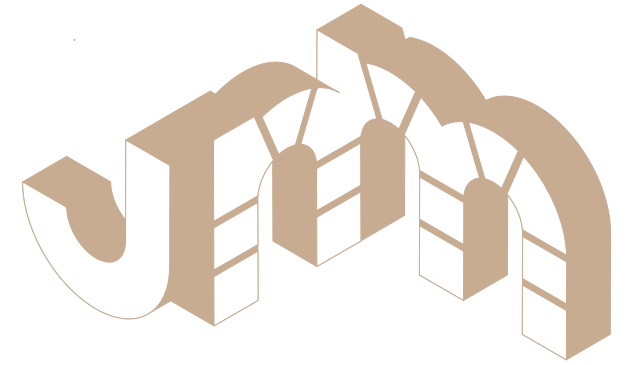
## Conclusion:

- ❑ **Vulnérabilité** des murs de soutènement en maçonnerie face aux aléas hydrauliques
- ❑ Montage d'une campagne expérimentale sur modèles réduits :
  - ✓ **27** essais sur maquettes de 18 à 39 cm de hauteur soumises à un gradient hydraulique
  - ✓ Identification de la charge de la **cinématique de la rupture**
  - ✓ Suivi du comportement par analyses d'image (**tracker, 2D/stéréo-DIC, PIV...**)

## Perspectives :

- ❑ Validation d'un modèle de calcul à la rupture afférent à partir des essais
- ❑ Etude de la vulnérabilité face à d'autres risques naturels (séisme, impact...) en cours

# Merci de votre attention



**Contact :** 🧑‍🔬 Hicham Cherifi (Ing., MSc)

✉️ [Hicham.cherifi@univ-eiffel.fr](mailto:Hicham.cherifi@univ-eiffel.fr)

📍 Laboratoire RRO (Risques Rocheux et Ouvrages Géotechniques)

🏢 Département GERS – Université Gustave Eiffel

🌐 <https://fr.linkedin.com/in/hicham-cherifi-273428b9>

Journées Nationales de la Maçonnerie

5ème édition | Bordeaux

12 et 13 juin 2025