



Webinaires des 12 Avril et 10 Mai 2022

Soutènements en zone sismique – Partie I

Séance animée par :

- Fahd CUIRA
 - Delphine BOUTHEON
 - Gilles VALDEYRON
 - Stéphane BRULE
 - Dominique BATISTA
- TERRASOL – CFMS
 - ERG – CFMS
 - CEREMA – CNJOG
 - MENARD – AFPS/CFMS
 - CEREMA

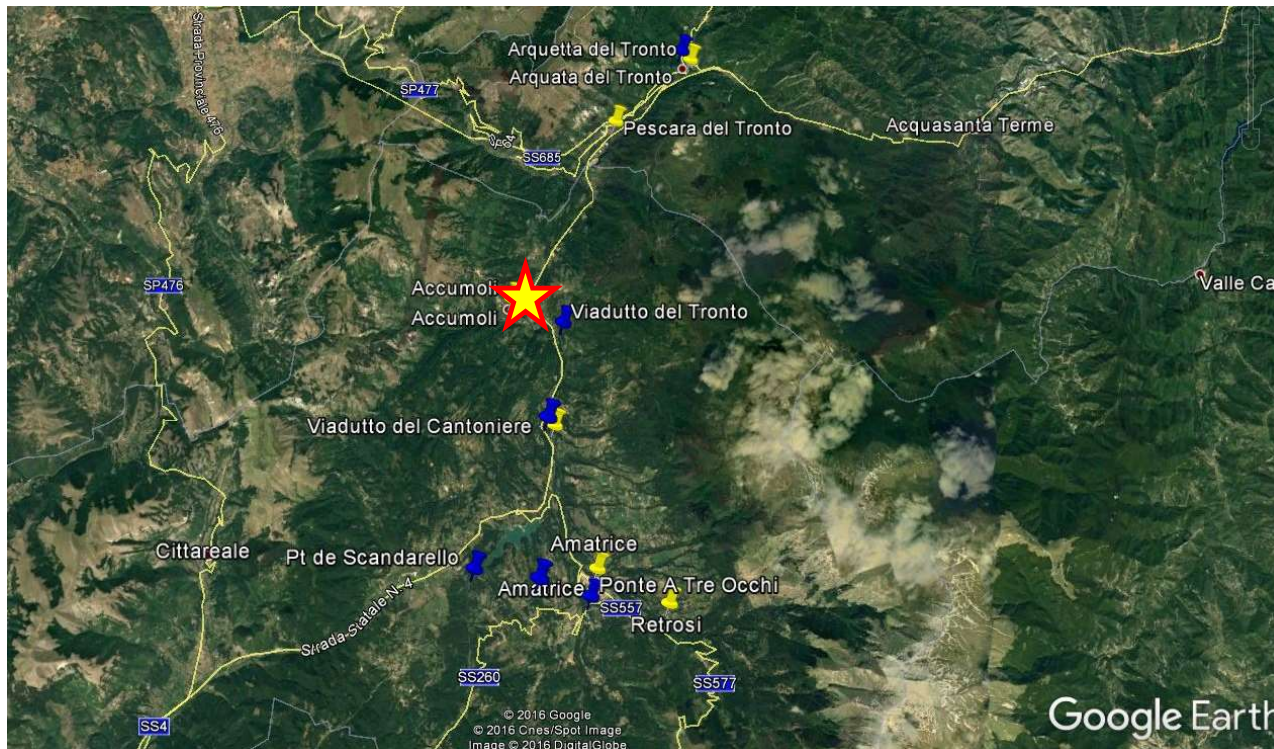
Sommaire

Partie I – 12 Avril 2022 de 10h30 à 12h30

- Stratégie de dimensionnement des soutènements sous séisme
- Evaluation des poussées et butées dynamiques des terres
- REX post-séisme sur le comportement des soutènements en milieux urbain et maritime

Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

Mission AFPS suite au séisme d'Accumoli-Amatrice (24 aout 2016)



Séisme du 24 aout 2016:

- **sols faiblement saturés;**
- **cohésion apparente des sols**
- **limitant les désordres**

Comportement très variable en f° de

- **conception initiale (ouvrages anciens en maçonnerie, interfaces ...),**
- **état résiduel (disjoints)**
- **proximité de l'épicentre.**

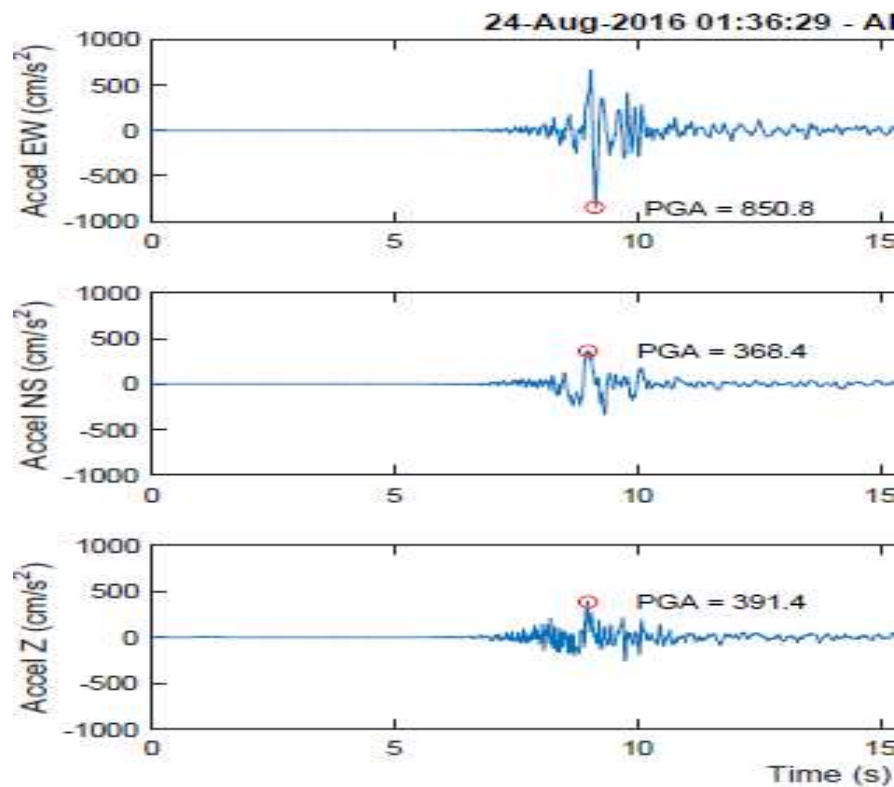


*Localisation des ouvrages observés : murs de culée : repères bleus
ouvrages de soutènement (soutènements modernes, murs anciens en maçonnerie) : repères jaunes*

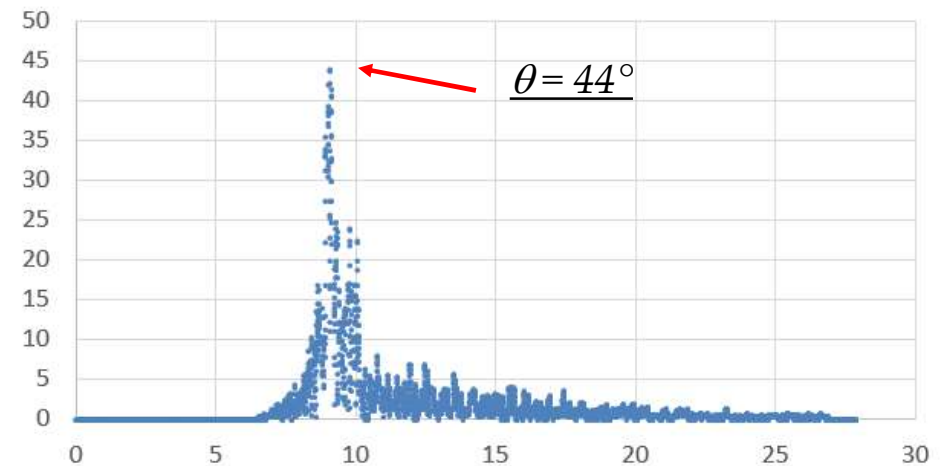
Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

Le séisme d'Accumoli-Amatrice

Séisme superficiel de magnitude $M_w=6$ (profondeur du foyer : 8km)



rotation de la gravité (°) en f° du temps (s)



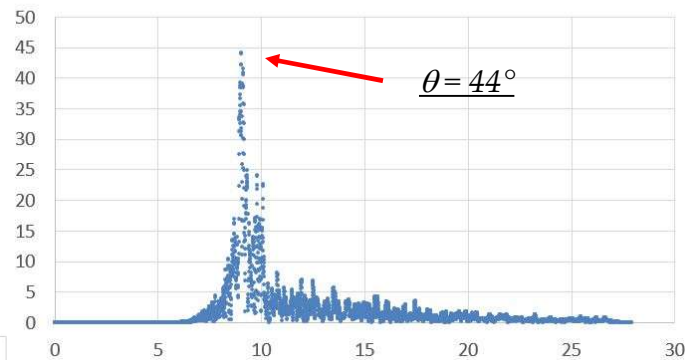
rotation maximale de la gravité de 44° !

Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

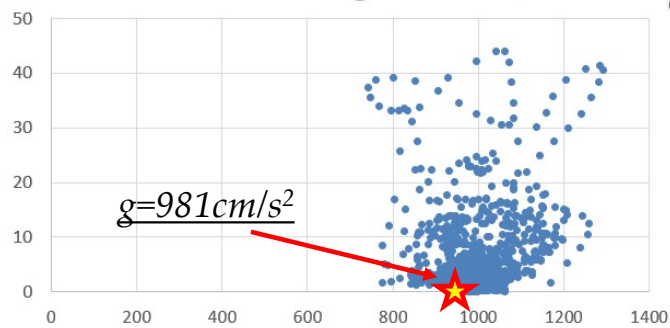
Séisme d'Amatrice : rotation maximale de la gravité de 44°

- *rotation \geq frottement bloc/bloc*
- *glissement des pierres et phénomène d'« expulsion des blocs »*

rotation de la gravité ($^\circ$) en fonction du temps (s)



rotation instantanée de la gravité ($^\circ$) en f $^\circ$ de la norme de la gravité en cm/s 2

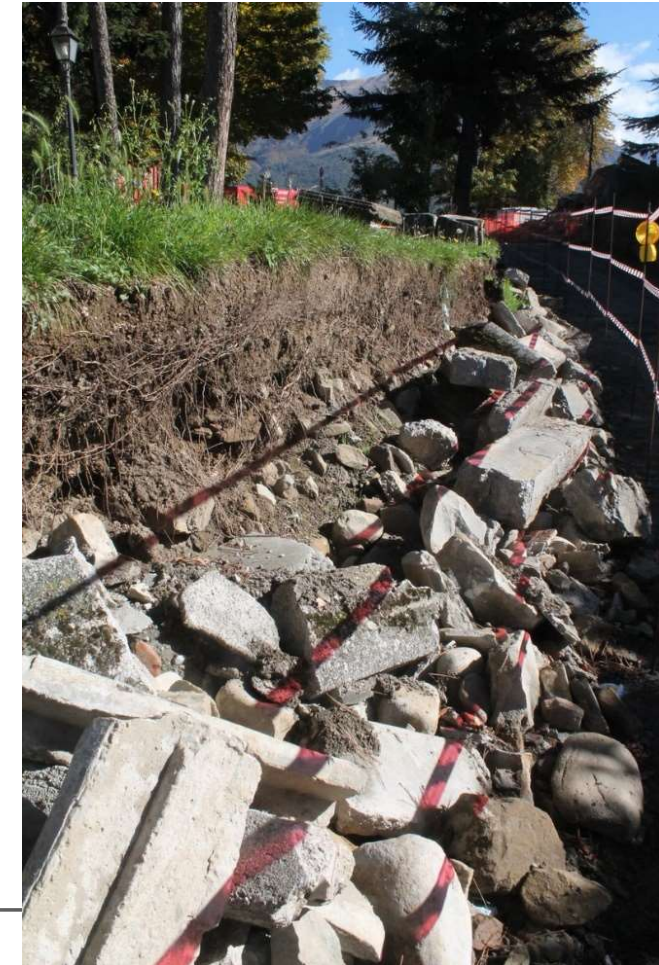
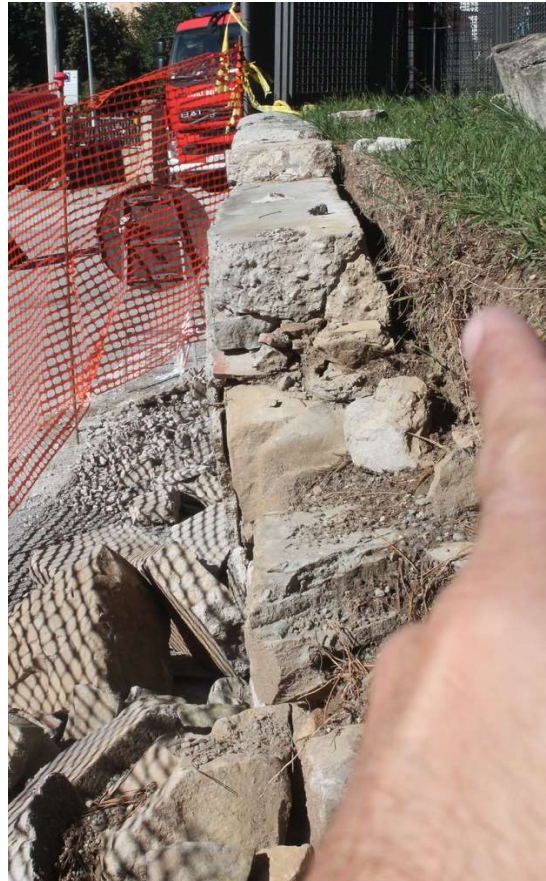


Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

Séisme d'Amatrice : rupture liée uniquement aux actions inertielles

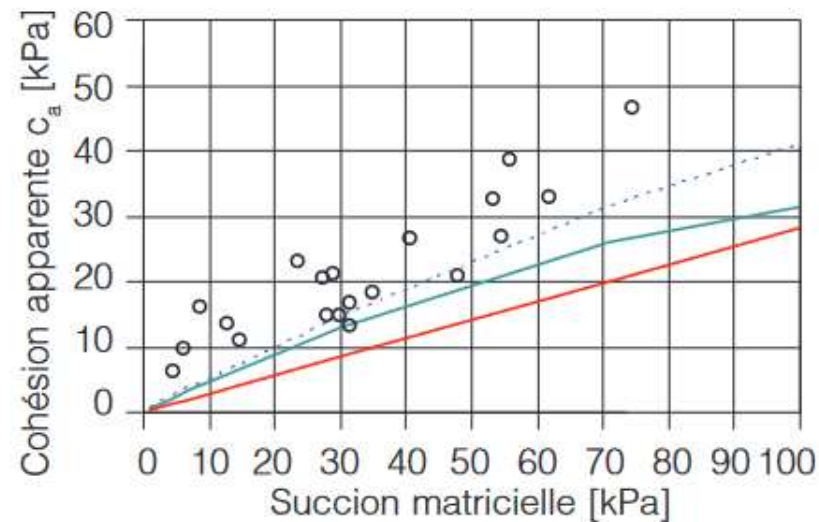
Rupture d'un mur par déversement et expulsion de blocs

- *pas de poinçonnement du sol*
- *pas de glissement du mur*
- *Pas de poussée dynamique :*
 - *rupture du mur sans rupture du sol soutenu !*
 - *sol non saturé stable sans soutènement à court terme*
 - *effet non négligeable de la cohésion apparente (Mononobe Okabe ...)*

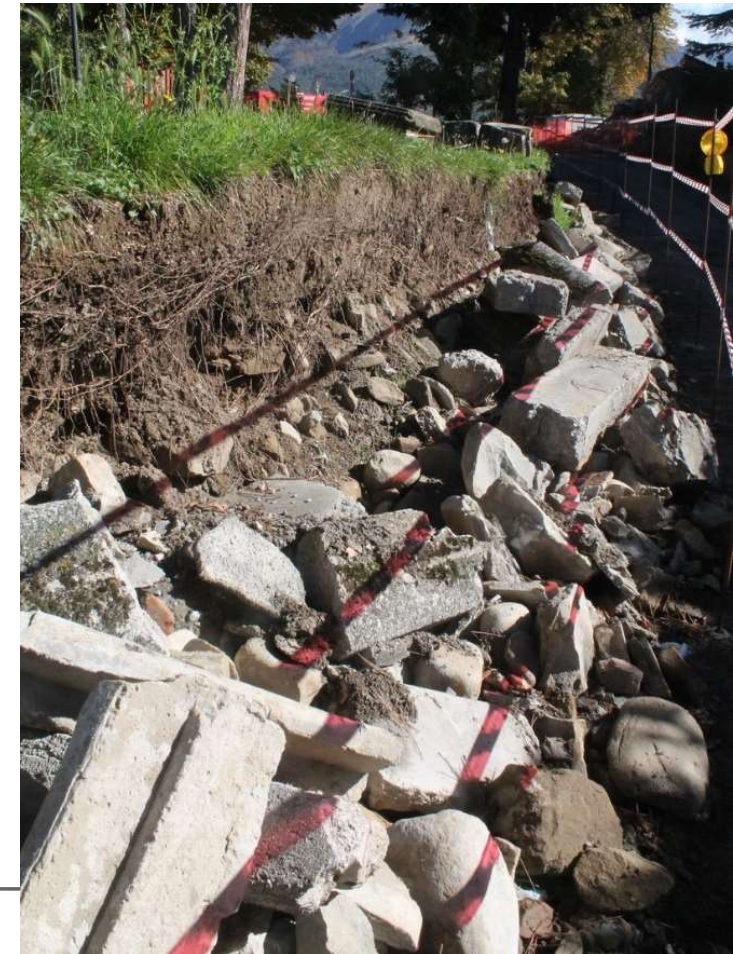


Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

Séisme du 24 aout - Amatrice : effet de la cohésion apparente et limitation de la poussée dynamique



Relation entre cohésion apparente et la succion matricielle pour le limon de Limelette (Fredlund D.G. et Rahardjo H., 1993)



Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

mur renforcé par clouage (Castelluccio di Norcia) : efficacité du clouage



- *rupture et déversement du parapet témoignant de l'intensité sismique*
- *absence de désordres sur le mur renforcé par clouage*

➔ *absence de désordres de type poinçonnement et glissement*

➔ *efficacité du clouage en tête vis-à-vis du déversement*

Mur maçonné 3-4m renforcé par clouage

Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

Rupture d'un mur en pierres sèches à Pescara del Tronto



Rupture d'un petit mur en pierres sèches

- mur de 1m de hauteur
- propagation des blocs sur une bande de plus de 2m de largeur
- déversement aux extrémités



Aucun signe de rupture géotechnique

- ≠ poinçonnement du sol
- ≠ glissement du mur
- ≠ rupture en poussée du sol (qui tient verticalement)
- sols non saturés => cohésion apparente
- Rupture par déversement : actions inertielles seules

Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

Mur à Arquata del Tronto



fracture de la chaussée soutenue avec rejet vertical

- rupture et déversement du parapet (action inertielle)
 - Fractures de la maçonnerie
 - déversement de la tête du mur
- ➔ rupture interne du mur par excès de poussée et déversement
- ➔ aucun signe de glissement et poinçonnement du sol ...



Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

Comportement des murs présentant un fruit positif significatif

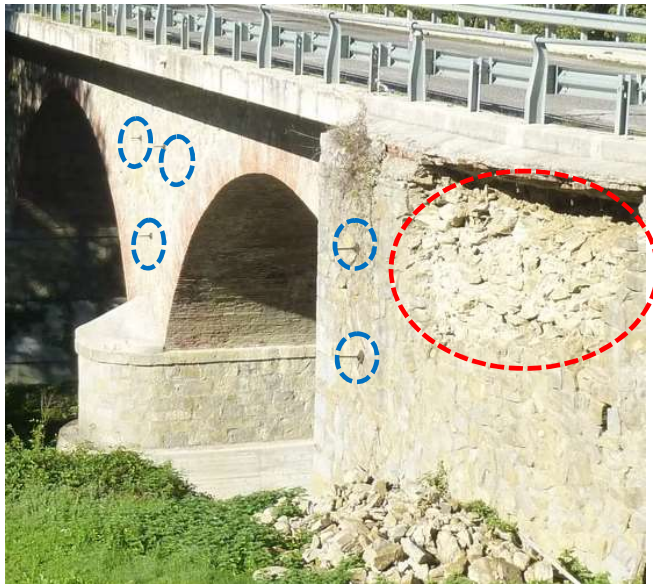


Bon comportement de murs en béton armé présentant des fruits $\approx 15^\circ$

- *\neq poinçonnement du sol*
- *\neq glissement du mur*
- *\neq déversement*

Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

Désordres sur les murs en retour du pont A Tre Occhi sur la SR260 à Amatrice



déversement de la partie haute du mur

- décollement du parement maçonné
- affaissement de 20cm de la chaussée
- zones clouées montrant un bon fonctionnement



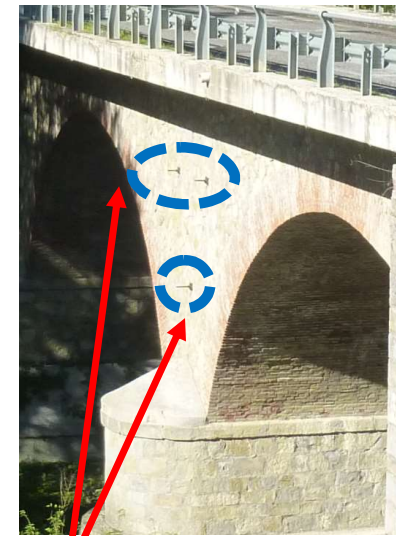
déversement du mur en retour de 9m

- rupture par cisaillement des contreforts
- Interface entre parement et remplissage : \neq perte de monolithisme et d'inertie
- Intérêt du renforcement par clouage ...



Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

Désordres sur les tympans du pont en amont du lac de Scandello



décollement et ruine de la maçonnerie des tympans

- *Vétusté : altération généralisée des joints, lessivage du liant*
- *défaut d'accrochage du parement expulsé par actions inertielles*

Le clouage : une solution efficace

Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

Comportement des murs en retour des viaducs modernes

Culée du viaduc del Tronto

- *fracturation à l'interface culée/mur :
glissement centimétrique du mur en retour
petit tassement centimétrique*
- *ouvrage circulable (secours)*
- *Réparation à prévoir : petit rechargement
de la chaussée*



Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

Comportement des murs en retour des viaducs modernes

Viadotto del Cantoniere sur la SS4 :

- *Tassement de 1 à 2 cm la culée visible sur chaussée*
- *mur en retour de type poids en béton avec un fruit de 15° : aucun désordre apparent pour ce mur de 6,5m de hauteur*



Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

Mur de grande hauteur soutenant le village de Pescara del Tronto

Mur soutenant un sol cohérent à proximité d'une falaise de près de 20m de hauteur

- *Tufs et débris calcaires dans une matrice argilo sableuse*



Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

Rupture par endommagement du mur de grande hauteur soutenant le village de Pescara del Tronto



Endommagement du massif identifié après le séisme du 24 août : perte de cohésion du matériau



Rupture fragile de la falaise et du mur lors d'un 2^{ème} séisme (30 octobre)

Rex post-séisme : effets induits sur les soutènements en site terrestre

Conclusions et retours d'expériences géotechniques

- *endommagements géotechniques et structurels liés aux successions de séismes : ruptures fragiles (ex. rupture du mur et de la falaise de Pescara del Tronto)*
- *faible saturation des sols :*
 - *réduction de la poussée dynamique induite par la cohésion apparente des sols*
 - *relatif « bon » comportement des murs lors du séisme d'aout*
- *Pathologies rencontrées :*
 - *peu de ruptures par glissement (approches déplacement - Newmark)*
 - *pas de ruptures par poinçonnement (faible saturation des sols ?)*
 - *beaucoup de rupture par déversement (actions inertielles) et décollement du parement (faiblesse constructive)*
- *Forte efficacité du clouage vis-à-vis des sollicitations sismiques (durcissement au séisme des ouvrages maçonnés)*
- *Fruit des murs poids : disposition constructive intéressante en contexte sismique*

