



Proposition Thèse - Projet PARASISTERRE (AAP SIC ADEME)

Sujet :

Modélisation de la réponse sismique de structures en pisé

Résumé :

Afin de maîtriser la réponse mécanique de structures en pisé sous divers chargements, cette thèse propose de développer un modèle de comportement non linéaire matériau représentatif des mécanismes de dégradation observés expérimentalement. Pour évaluer la réponse de structures, des méthodologies permettant de décrire les zones de fissuration et leur développement au cours du chargement seront mises en œuvre. Celles-ci permettront notamment de retrouver numériquement une objectivité des résultats vis-à-vis du maillage éléments finis considérés. Pour évaluer la capacité prédictive de la modélisation développée, une confrontation avec des résultats issus d'essais en laboratoire ou d'essais numériques produits lors du projet de recherche PISEZ! commencé en 2023 sera menée. Enfin, pour permettre la définition de quantités caractéristiques d'ingénierie pour la description du niveau de non linéarité sur ces structures (coefficient de comportement, ductilité, amortissement équivalent, ...) des méthodologies de calcul sismique simplifiées seront développées pour des typologies de structures en pisé.

Equipe encadrante :

C. Giry (LMPS), E. Vincens (Centrale Lyon - LTDS)

Mots clés :

Pisé, sismique, endommagement, éléments finis

Contexte sociétal et scientifique :

Les structures en pisé existent depuis des millénaires de par le monde. Face aux enjeux de réduction de l'impact environnemental du secteur de la construction, ces structures ont connu récemment un regain d'intérêt. Hormis leur faible impact environnemental, elles font appel à des compétences locales permettant de dynamiser l'économie régionale et de relancer des filières professionnelles.

Afin de cadrer le développement de la filière de construction en pisé, il est nécessaire de développer des méthodologies de calcul permettant de dimensionner ces structures sous un ensemble de charges réglementaires dont les charges sismiques.

Ainsi, ces travaux de thèse proposent le développement d'outils dédiés au calcul de la réponse non linéaire à l'échelle du matériau et de la structure.



Proposition Thèse - Projet PARASISTERRE (AAP SIC ADEME)

Ces travaux de thèse s'inscrivent dans le projet de recherche PARASISTERRE (AAP ADEME SIC) visant à comprendre, analyser et modéliser le comportement sismique de structure en pisé en vue d'établir à terme une méthodologie de calcul pour l'ingénieur. Ce projet s'insère dans la suite du projet de recherche PISEZ! (AAP ADEME SIC) débuté en 2023 dédié au comportement statique des ouvrages en pisé. PISEZ! et PARASISTERRE ont été labellisés par le projet National Terre Crue qui agrège une communauté de praticiens, ingénieurs architectes et chercheurs autour de la problématique de la massification de la technique de construction en terre crue sur le territoire français.

Démarche scientifique :

Dans un premier temps, afin de caractériser au mieux le comportement non linéaire de structures en terre crue sous chargement sismique, des modélisations physiques fines de la réponse matériau seront mises en œuvre. Ces développements se feront dans un cadre de formulation classique de la thermodynamique des processus irréversibles, en permettant notamment de décrire des mécanismes non linéaires tels que l'endommagement, la plasticité et leur couplage (e.g. Desmorat et al. (2007), Tisserand et al. (2022)).

Dans un second temps, pour pouvoir évaluer la réponse de structure, des méthodes de régularisation de type non local intégral et/ou à gradient (e.g. Girya et al. (2011), Ribeiro Nogueira et al. (2024)) seront mises en œuvre pour conserver l'objectivité des résultats vis-à-vis du maillage et décrire les faciès d'endommagement observés sur ces structures. Afin d'évaluer la pertinence de la dissipation, de la réponse globale et des faciès de rupture, une confrontation des résultats avec des résultats d'essais ainsi qu'avec des modélisations de type différences finies explicite sera considérée (e.g. Riyono et al. (2018)).

Dans une dernière phase, en s'intéressant à la réponse sismique d'une typologie d'ouvrage standard en terre crue, ces outils doivent permettre d'évaluer la vulnérabilité de structures (voir par exemple l'utilisation d'approche simplifiée pour la définition de courbe de fragilité de structure en maçonnerie Stocchi et al., 2021) sous des chargements réglementaires.

La thèse de doctorat se déroulera essentiellement au LMPS (Paris-Saclay). Certains séjours courts au LTDS (Lyon) pris en charge dans le cadre du projet PARASISTERRE pourront être effectués.

Bibliographie :

Desmorat, R., Ragueneau, F., & Pham, H. (2007). Continuum damage mechanics for hysteresis and fatigue of quasi-brittle materials and structures. *International journal for numerical and analytical methods in geomechanics*, 31(2), 307-329.

Girya, C., Dufour, F., & Mazars, J. (2011). Stress-based nonlocal damage model. *International Journal of Solids and Structures*, 48(25-26), 3431-3443.



Proposition Thèse - Projet PARASISTERRE (AAP SIC ADEME)

Nogueira, B. R., Rastello, G., Giry, C., Gatingt, F., & Callari, C. (2024). Eikonal gradient-enhanced regularization of anisotropic second-order tensorial continuum damage models for quasi-brittle materials. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 429, 117100.

Riyono, W. A., Vincens, E., & Plassiard, J. P. (2018). A hierarchical elasto-plastic constitutive model for rammed earth. *Construction and Building Materials*, 160, 351-364.

Stocchi, A., Giry, C., Capdevielle, S., Zentner, I., Nayman, E., & Ragueneau, F. (2021). A simplified non-linear modelling strategy to generate fragility curves for old masonry buildings. *Computers & Structures*, 254, 106579.

Tisserand, P. J., Rostagni, H., Giry, C., Nguyen, T. T. H., Desmorat, R., & Ragueneau, F. (2022). An orthotropic damage model with internal sliding and friction for masonry-like material. *Engineering Fracture Mechanics*, 267, 108397.

Début de thèse : Octobre 2024

Candidature :

CV, lettre de motivation, résultats académiques à adresser à : cedric.giry@ens-paris-saclay.fr



Proposition Thèse - Projet PARASISTERRE (AAP SIC ADEME)

Subject:

Modelling the seismic response of adobe structures

Abstract:

In order to control the mechanical response of adobe structures under various loadings, this thesis proposes to develop a non-linear material behaviour model representative of the degradation mechanisms observed experimentally. In order to assess the response of structures, regularization methods will be implemented to describe cracking zones and their development during loading. In particular, these will enable the results to be rendered numerically objective with respect to the finite element mesh considered. To assess the predictive capacity of the modelling developed, a comparison will be made with experimental results from laboratory tests or numerical results produced during the PISEZ! research project begun a year earlier. Finally, to enable the definition of characteristic engineering quantities for describing the level of nonlinearity in these structures (strength reduction factor, ductility, equivalent damping, etc.), simplified seismic calculation methodologies will be developed for different types of adobe structures.

Supervisor team:

C. Giry (LMPS), E. Vincens (Centrale Lyon - LTDS)

Key words:

adobe, seismic, damage, finite elements

Societal and scientific context:

Adobe structures have existed throughout the world for thousands of years. Faced with the challenge of reducing the environmental impact of the construction sector, these structures have recently seen a resurgence in interest. Furthermore, they draw on local skills, boost the regional economy and revitalise professional sectors.

In order to provide a framework for the development of the adobe construction sector, it is necessary to develop calculation methodologies enabling these structures to be dimensioned under different regulatory loads, including seismic loadings.

As part of recent regulatory developments, certification is required for various hazards such as clay shrinkage and earthquake.

In order to better assess the response of adobe structures under severe mechanical loads such as earthquakes, this thesis proposes the development of tools dedicated to calculating the non-linear response at the scale of the material and the structure.



Proposition Thèse - Projet PARASISTERRE (AAP SIC ADEME)

This thesis aims to understand, analyse and model the seismic behaviour of adobe structures with a view to eventually establishing a calculation methodology for engineers.

This project is a follow-up to the PISEZ! research project (AAP ADEME SIC), which began in 2023 and focuses on the static behaviour of adobe structures. PISEZ! and PARASISTERRE have been approved by the National project Terre Crue, which brings together a community of practitioners, architectural engineers and researchers to address the issue of the widespread use of the adobe construction technique in France.

Scientific program:

Initially, in order to better characterise the nonlinear behaviour of adobe structures under seismic loading, detailed physical modelling of the material response will be carried out. These developments will be carried out within a framework of classical formulation of the thermodynamics of irreversible processes, making it possible in particular to describe non-linear mechanisms such as damage, plasticity and their coupling (e.g. Desmorat et al. (2007), Tisserand et al. (2022)).

Secondly, in order to be able to assess the response of the structure, regularisation methods such as non-local integral and/or gradient type (e.g. Giry et al. (2011), Nogueira et al. (2024)) will be adapted in order to maintain the objectivity of the results with respect to the mesh and to describe the damage pattern observed on these structures. In order to assess the relevance of dissipation, global response and failure facies, a comparison of the results with test results as well as with explicit finite difference modelling will be considered (e.g. Riyono et al. (2018)).

In a final phase, by focusing on the seismic response of a standard type of adobe structure, these tools should make it possible to assess the vulnerability of structures (see, for example, the use of a simplified approach for defining the fragility curve of a masonry structure (Stocchi et al., 2021) under regulatory loads.

The doctoral thesis will take place mainly at the LMPS (Paris-Saclay). Some short stays at the LTDS (Lyon), paid for as part of the PARASISTERRE project, will be possible.

Bibliography:

Desmorat, R., Ragueneau, F., & Pham, H. (2007). Continuum damage mechanics for hysteresis and fatigue of quasi-brittle materials and structures. *International journal for numerical and analytical methods in geomechanics*, 31(2), 307-329.

Giry, C., Dufour, F., & Mazars, J. (2011). Stress-based nonlocal damage model. *International Journal of Solids and Structures*, 48(25-26), 3431-3443.

Nogueira, B. R., Rastiello, G., Giry, C., Gatuingt, F., & Callari, C. (2024). Eikonal gradient-enhanced regularization of anisotropic second-order tensorial continuum damage models for



Proposition Thèse - Projet PARASISTERRE (AAP SIC ADEME)

quasi-brittle materials. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 429, 117100.

Riyono, W. A., Vincens, E., & Plassiard, J. P. (2018). A hierarchical elasto-plastic constitutive model for rammed earth. *Construction and Building Materials*, 160, 351-364.

Stocchi, A., Giry, C., Capdevielle, S., Zentner, I., Nayman, E., & Ragueneau, F. (2021). A simplified non-linear modelling strategy to generate fragility curves for old masonry buildings. *Computers & Structures*, 254, 106579.

Tisserand, P. J., Rostagni, H., Giry, C., Nguyen, T. T. H., Desmorat, R., & Ragueneau, F. (2022). An orthotropic damage model with internal sliding and friction for masonry-like material. *Engineering Fracture Mechanics*, 267, 108397.

Start of thesis: October 2024

Application:

CV, covering letter and academic results should be sent to: cedric.giry@ens-paris-saclay.fr