

# GAVRINIS : OUTIL 3D D'ANALYSE DE MAÇONNERIE EN BLOCS DE FORME QUELCONQUE

M. Moussa<sup>1</sup>, F. Meftah<sup>1</sup>, A. Fliscounakis<sup>1,2</sup>, M-K. Ferradi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Univ Rennes, INSA Rennes, LGCM - EA 3913, F-35000 Rennes, France

<sup>2</sup> Strains, Paris, France

<sup>3</sup> Univ Polytechnique Mohammed VI, Benguerir, Maroc

✉ **Contact** : mohamad.moussa@insa-rennes.fr

## Introduction

### Contexte scientifique

Développement de **GAVRINIS**, un outil de calcul dédié à la modélisation et à l'analyse 2D/3D d'ouvrages en maçonnerie, à la fois pour la recherche académique (avec une mise à disposition auprès étudiants) et pour des applications en ingénierie.

### Enjeux

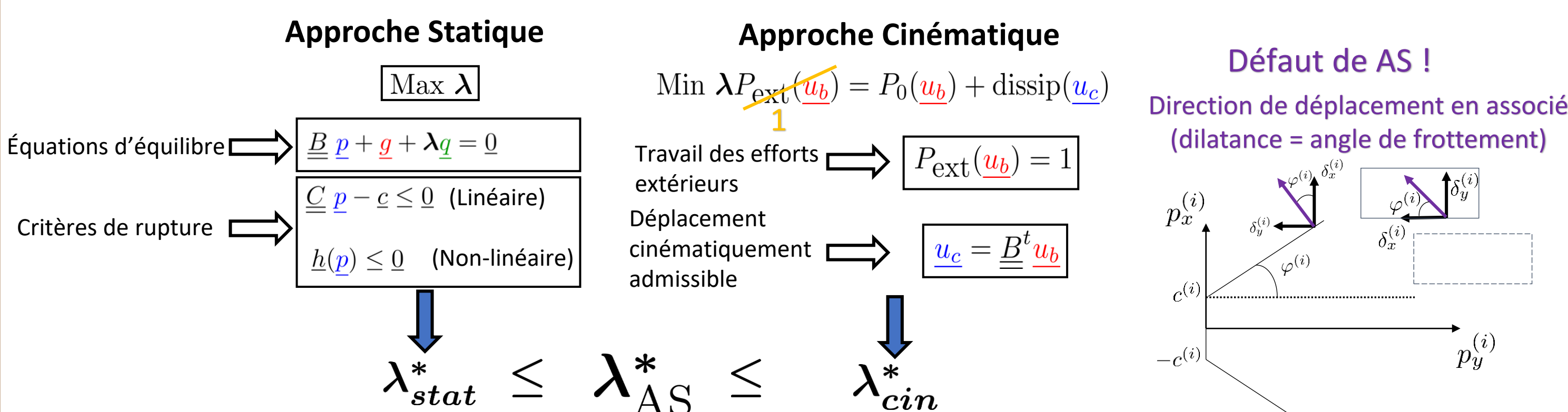
- Prise en compte du comportement non linéaire et anisotrope des assemblages maçonnés avec des blocs de géométrie quelconque (glissement, basculement, écrasement...).
- Besoin d'approches robustes pour la vérification d'ouvrages anciens et l'optimisation de la construction des structures neuves.

### Méthodologie

- Analyse limite pour l'estimation de la charge de ruine.
- Résolution de problèmes d'optimisation convexes et non convexes.
- Intégration du contact associé / non associé au sein d'une approche par blocs discrets rigides.

## Analyse limite en associé & non associé

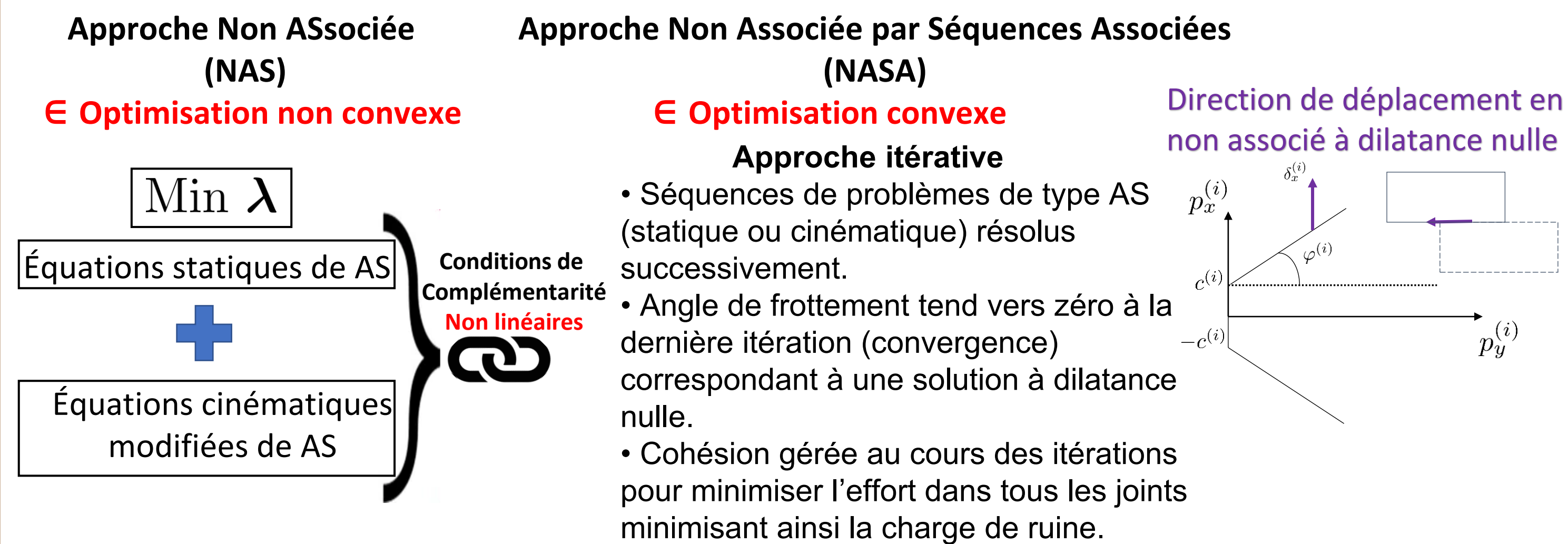
### Contact Associé – approches ASSociées (AS) ∈ Optimisation convexe



Charge de ruine possiblement surestimée par l'hypothèse de comportement associé (défaut des approches AS)

### Contact non associé (Dilatance ≠ angle de frottement)

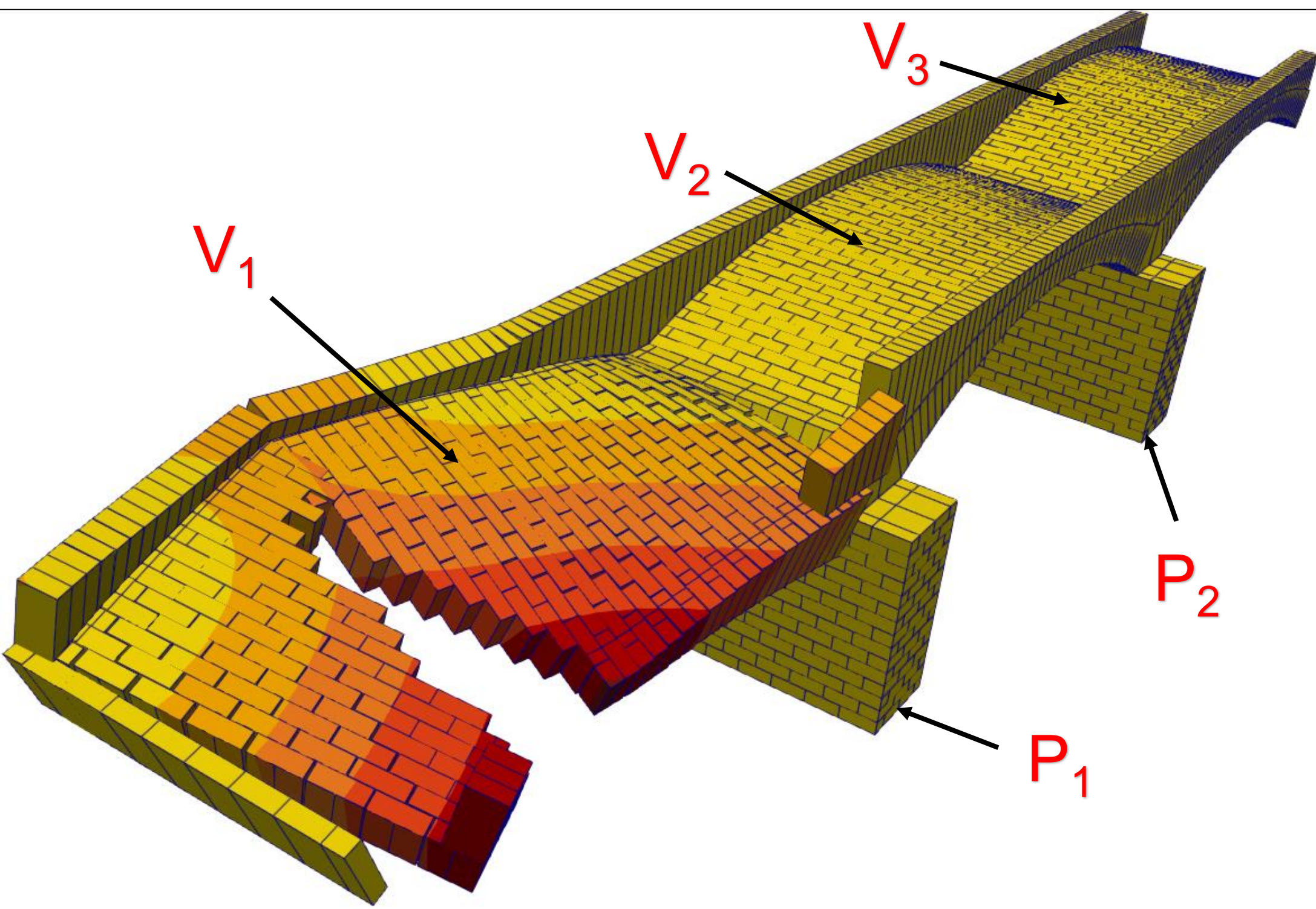
Modélise un déplacement avec une dilatance différente de l'angle de frottement. Lorsqu'elle est nulle, cela conduit à une ruine plus réaliste et à une charge généralement inférieure à  $\lambda_{AS}^*$



## Analyse de structures réelles

### Pont d'Osserain – Ruine observée lors de sa déconstruction programmée en 2023

- Observation sur site : la ruine du pont a été initiée en découpant la voûte V1 autour de sa clé, provoquant ainsi l'effondrement de la voûte V1. Environ une minute plus tard, les voûtes V2 et V3 se sont également effondrées par perte de prise de poussée.
- Simulation numérique : la ruine du pont a été simulée dans **GAVRINIS** en trois phases de ruine successives, conformément aux observations de terrain. Le premier mode de ruine, représenté ci-dessous, impliquant l'effondrement de la voûte V1, a été simulé en retirant un ensemble de blocs autour de la clé de V1, de manière à reproduire les conditions expérimentales observées sur site.



Scannez pour voir la déconstruction en action !



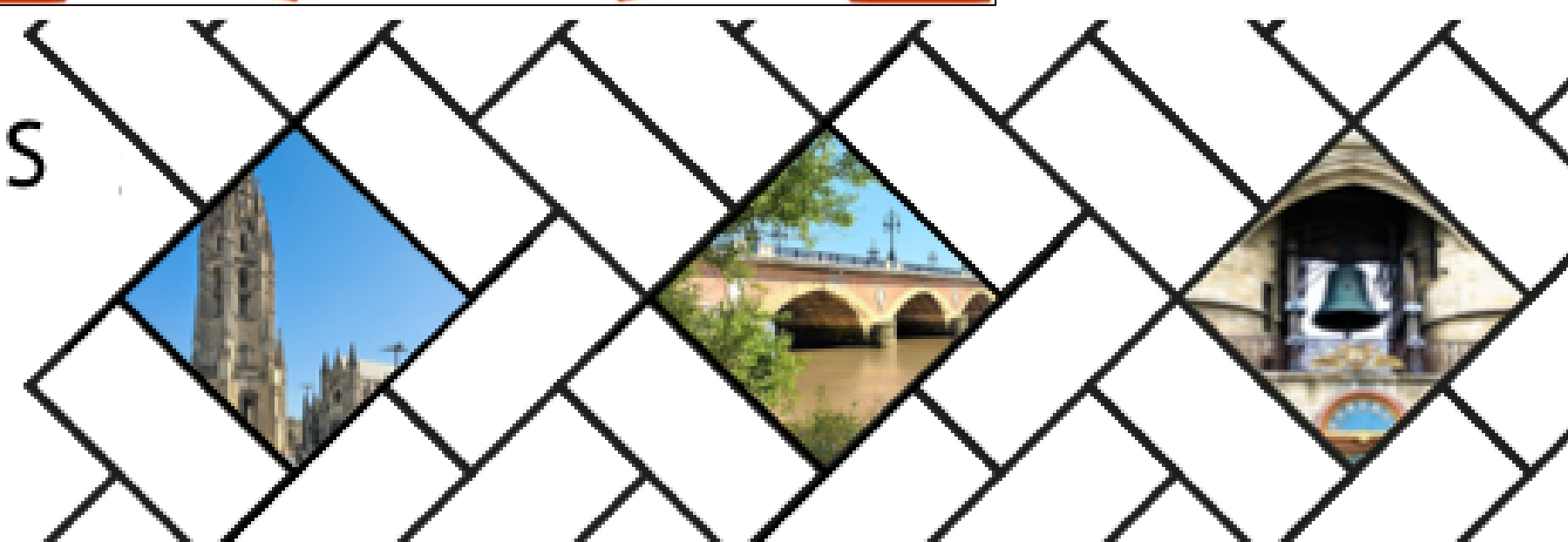
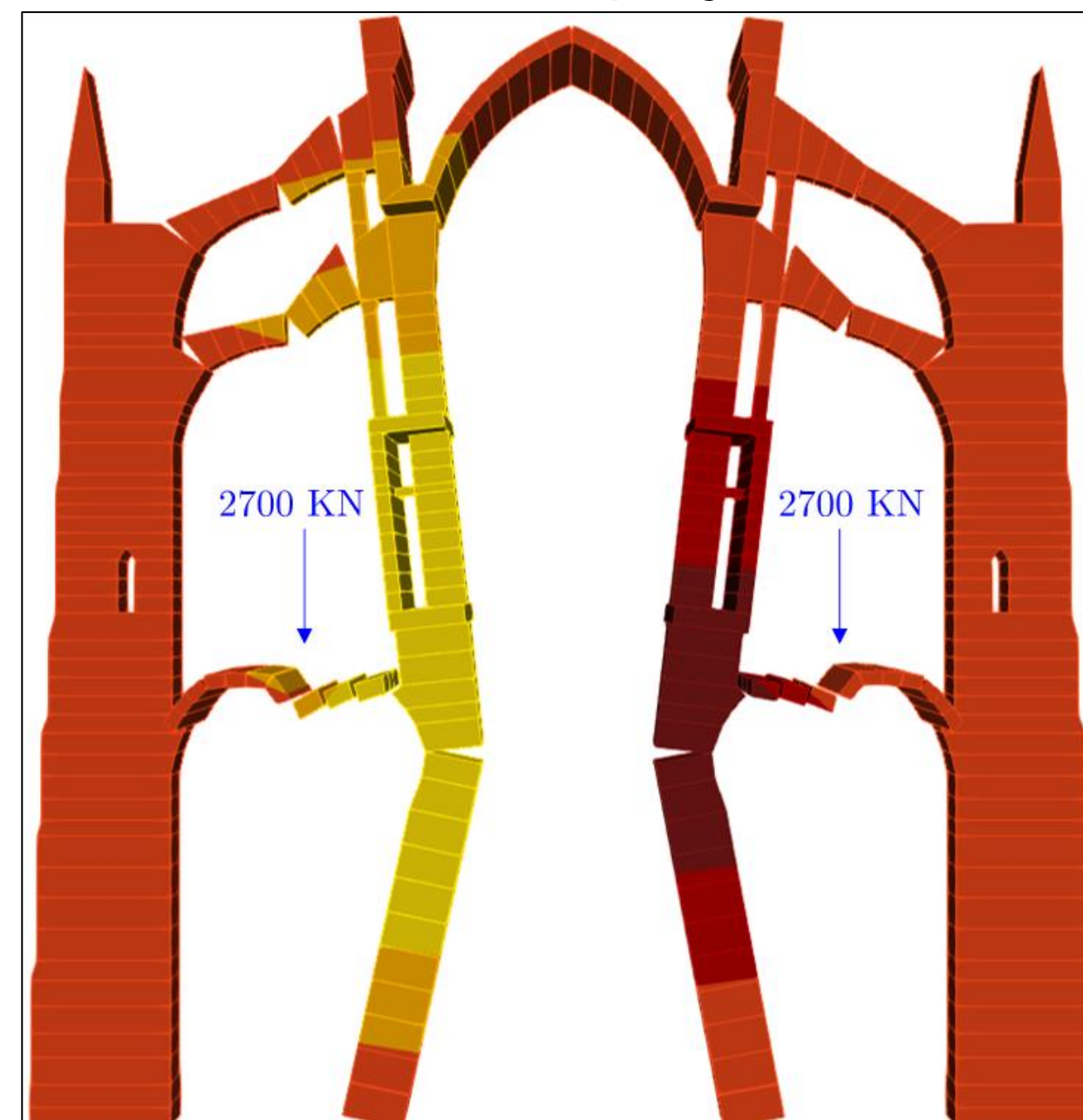
**JOURNÉES NATIONALES  
MAÇONNERIE**

5ème édition – Bordeaux

12 et 13 Juin 2025

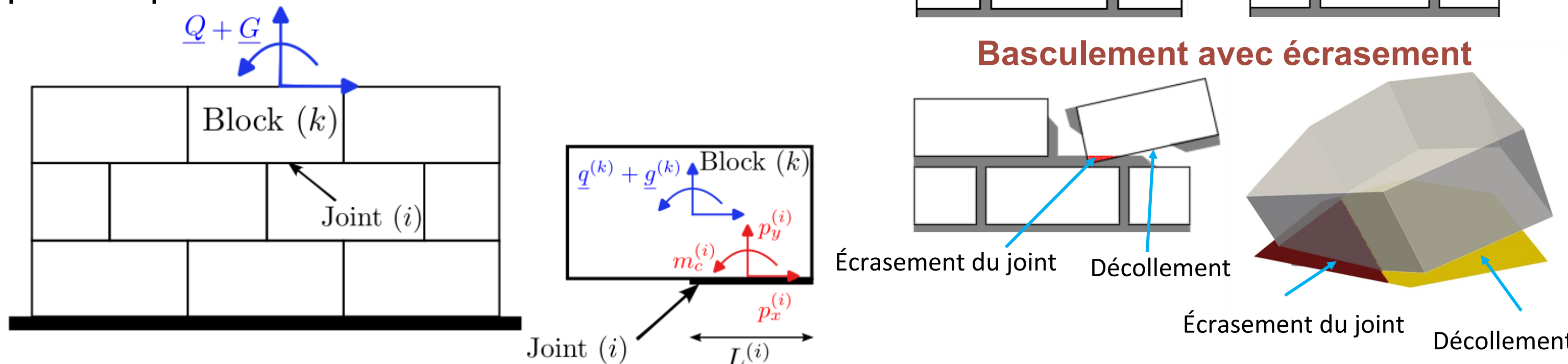
### Cathédrale d'Amiens – Analyse de la ruine sur une tranche de la cathédrale

- Simulation numérique : Ruine simulé sous un chargement vertical appliqué sur les deux voûtes latérales de la cathédrale.
- Étude réalisée par les étudiants de 4e année du cycle ingénieur à l'INSA Rennes, dans le cadre d'un projet d'initiation à la recherche.



## Approche par blocs discrets rigides

- Modélisation des modes de ruine de la maçonnerie en 2D et en 3D via des critères de ruine définis aux joints de géométrie quelconque (y compris non convexes).
- Bonne prise en compte du basculement avec écrasement du joint, en particulier en 3D, souvent difficile à modéliser pour des blocs de géométrie quelconque.



## Schéma de fonctionnement de GAVRINIS

