



## ANALYSE DE PONTS HISTORIQUES UTILISANT LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS DISCRETS MIXTE

**Gilberto Antunes Ferreira Rouxinol**

- Département de Génie Civil, Institut Polytechnique de Viseu, Portugal
- Professeur
- [rouxinol@dcivil.estv.ipv.pt](mailto:rouxinol@dcivil.estv.ipv.pt)

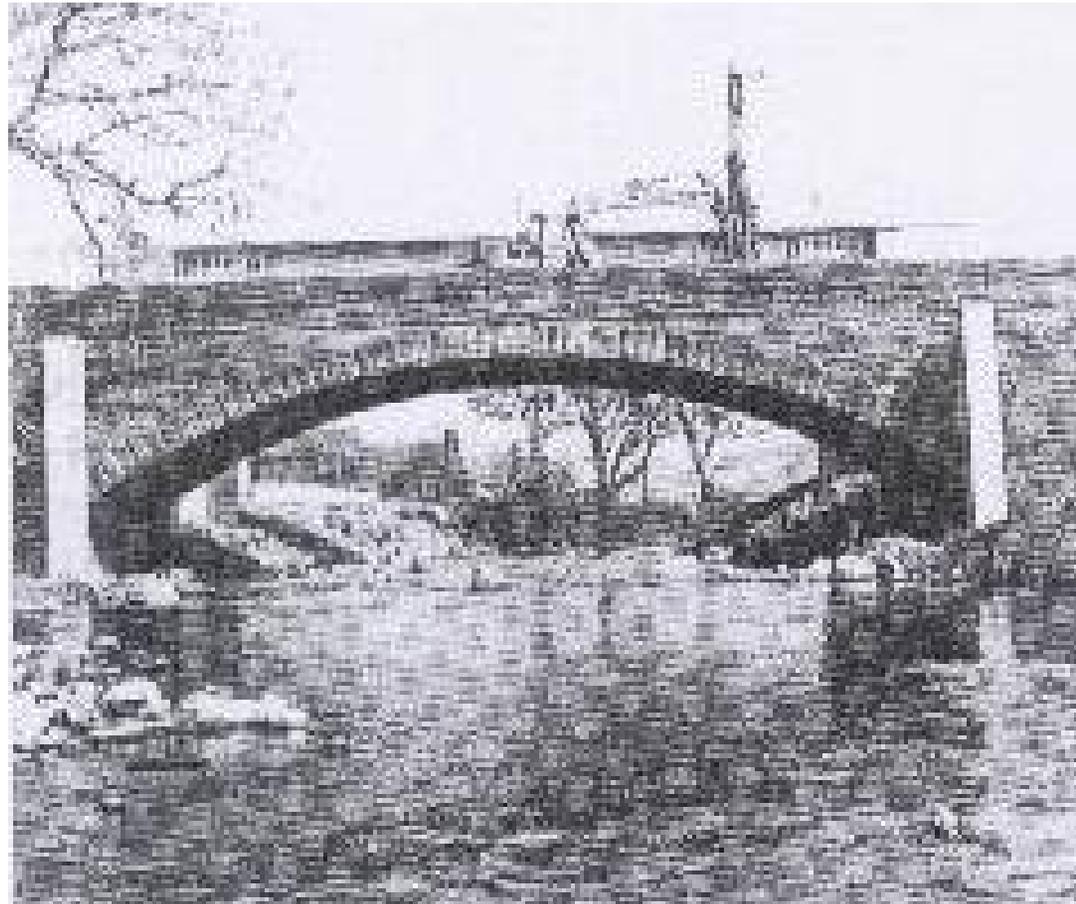




# CONTENU

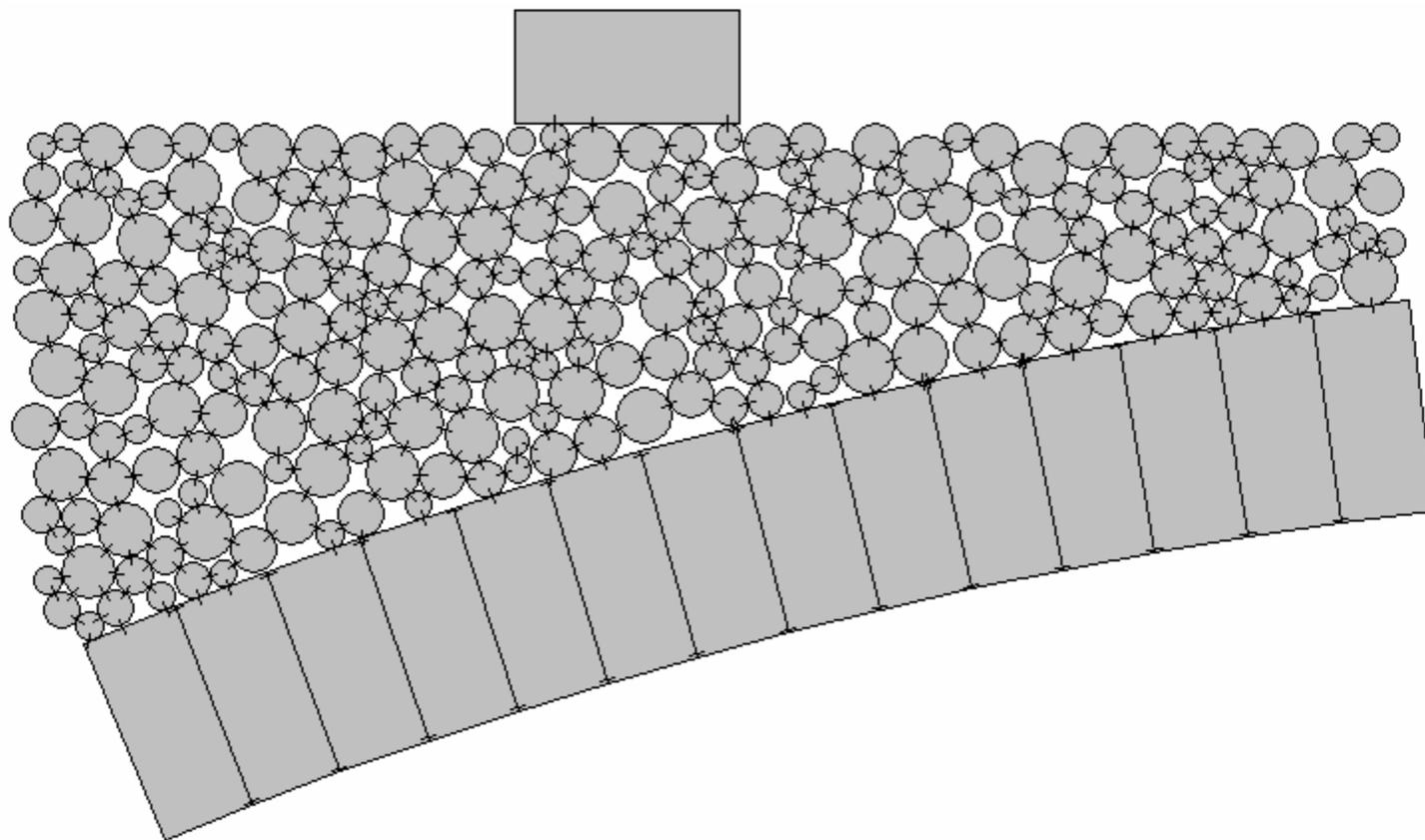
- 1) Objectifs
- 2) Brève description de la MEDM
- 3) Le pont en arche en maçonnerie de Bridgemill
  - i) Propriété géométrique et mécanique
  - ii) Schéma de charge
- 4) Conclusions

# 1. Objectifs



J. Page, 1995.  
Collapse load tests  
on masonry arch bridges.  
Proc. 1st Int. Conf. on Arch Bridges.

# 1. Objectifs



## 2. Brève description de la MEDM

**La méthode suit d'une forme générale les deux formulations de la méthode des éléments discrets pour les blocs rigides et pour les particules rigides.**

# MEDM – Brève description

Loi de mouvement:

$$\mathbf{F} = m \mathbf{a}$$

Loi Force-déplacement:

$$\mathbf{f}_c = \mathbf{k} \mathbf{u}$$

Amortissement:

global ou local

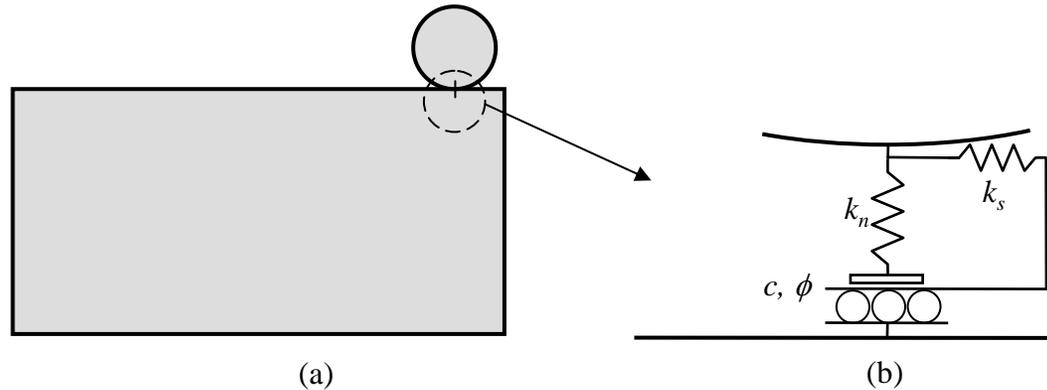
Pas de temps:

$$\Delta t \leq \Delta t_{\text{crit}} = \frac{2}{\omega_{\text{max}}}$$

$$\omega_{\text{max}} \approx \frac{1}{\varphi} \sqrt{\frac{k_{\text{max}}}{m_{\text{min}}}}$$

# MEDM – Brève description

## Model de contact

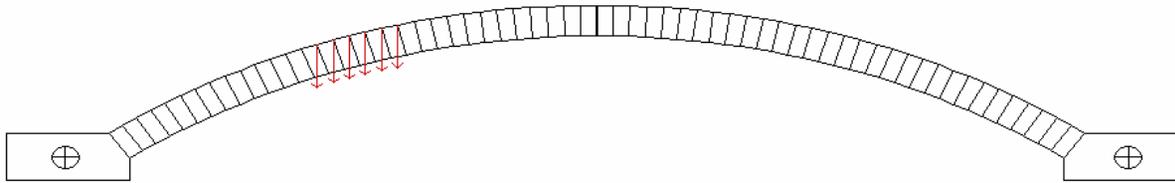


## Composant des forces de contacts:

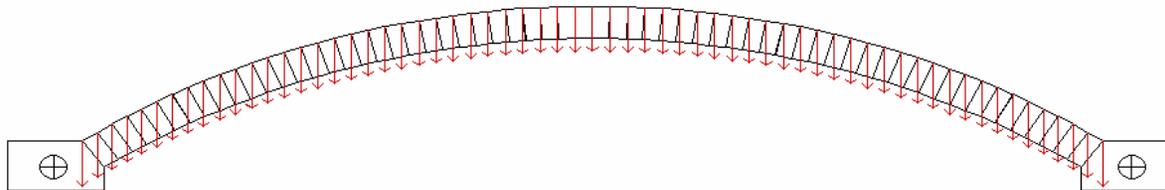
- normal – loi élastique linéaire ou élastique-plastique
- tangentiel – critère de Mohr-Coulomb

### 3. Le pont en arche en maçonnerie de Bridgemill

#### Cas 1: arche en maçonnerie isolée

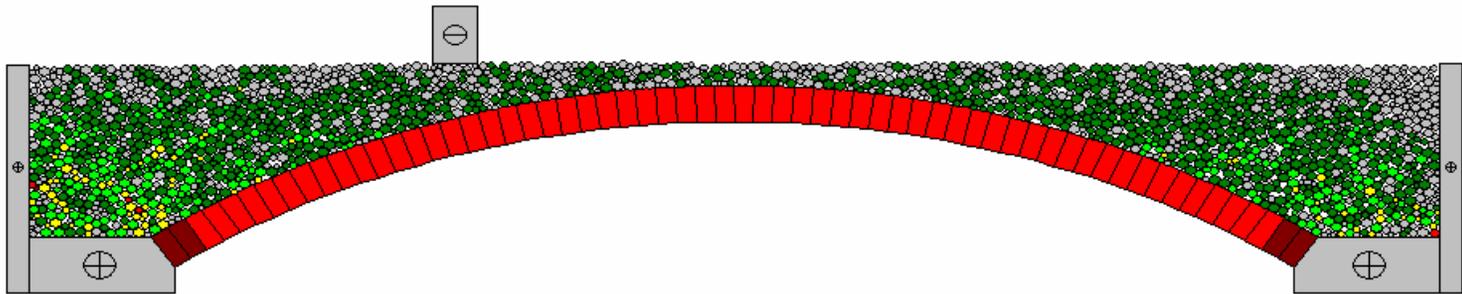


#### Cas 2: arche en maçonnerie isolée + poids du remplissage

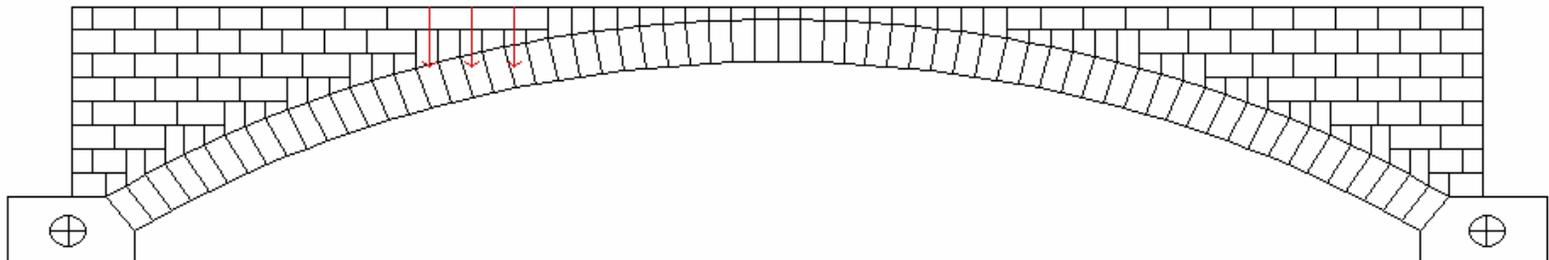


### 3. Le pont en arche en maçonnerie de Bridgemill

#### Cas 3: arche en maçonnerie + matériel de remplissage



#### Cas 4: arche en maçonnerie + mur de tympan



## 3.i. Propriété géométrique et mécanique

**Paramètres disponible (Page):**

**Géométrie**

**Module de déformation**

**Densité**

**Resistance de compression  
(43.8 MPa)**

**Paramètres indéfini:**

**Resistance de traction (ignorer)**

**Coefficient de Poisson (Costa)**

**Cohésion (Cavicchi and Gago)**

**Coefficient de frottement (Muralha)**

### 3.i. Propriété géométrique et mécanique

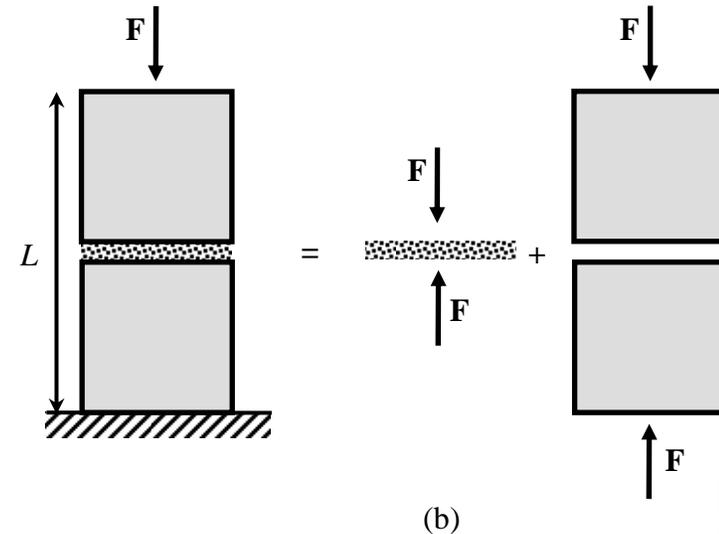
#### Contact entre bloc-bloc et bloc-particule

$k_n$  rigidité élastique normal de contact du bloc + joint

$k'_n$  rigidité effectif normal du joint

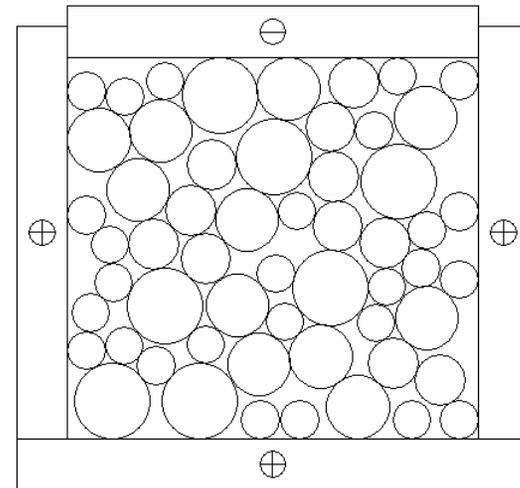
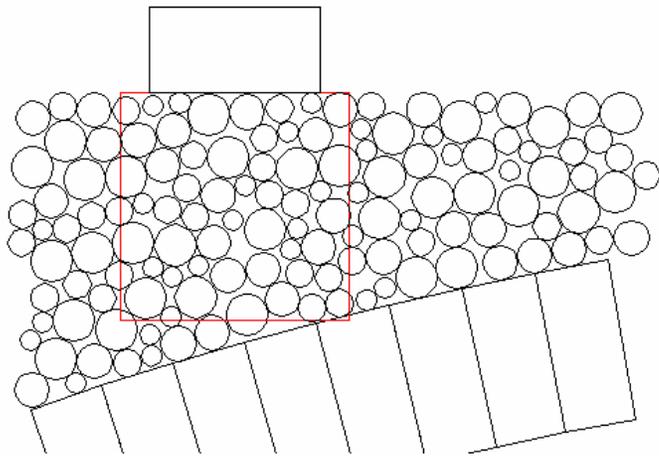
$E_b/l_{cm}$  rigidité normal du bloc

$$\frac{1}{k_n} = \frac{1}{k'_n} + \frac{L}{E_b}; \quad \frac{1}{k_s} = \frac{1}{k'_s} + \frac{L}{G_b}$$



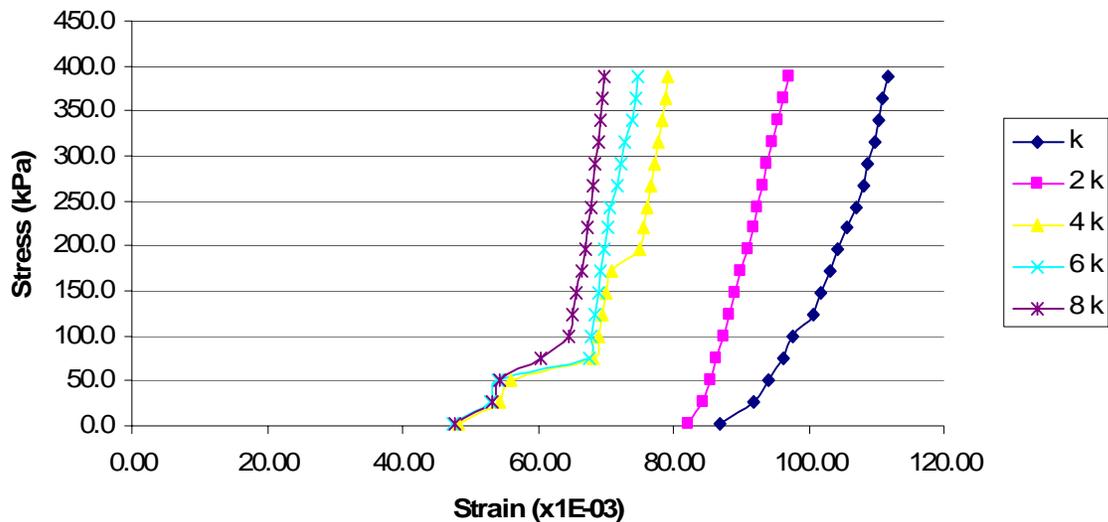
## 3.i. Propriété géométrique et mécanique

### Contact entre les particules



## 3.i. Propriété géométrique et mécanique

### Contact entre les particules



### Module de déformation

tangente	sécante
22	16
28	26
34	12   28
42	14   43
48	18   54

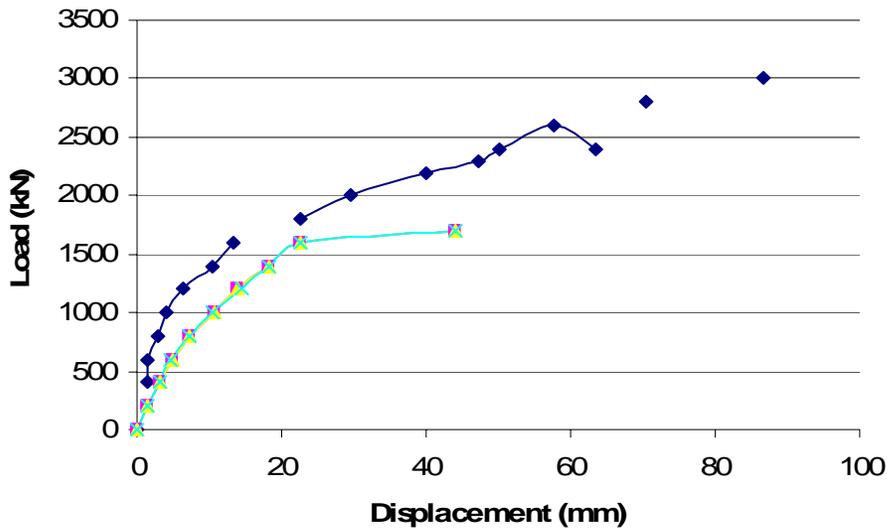
Valeur expérimentale:

$$E_f = 40 \text{ MPa}$$

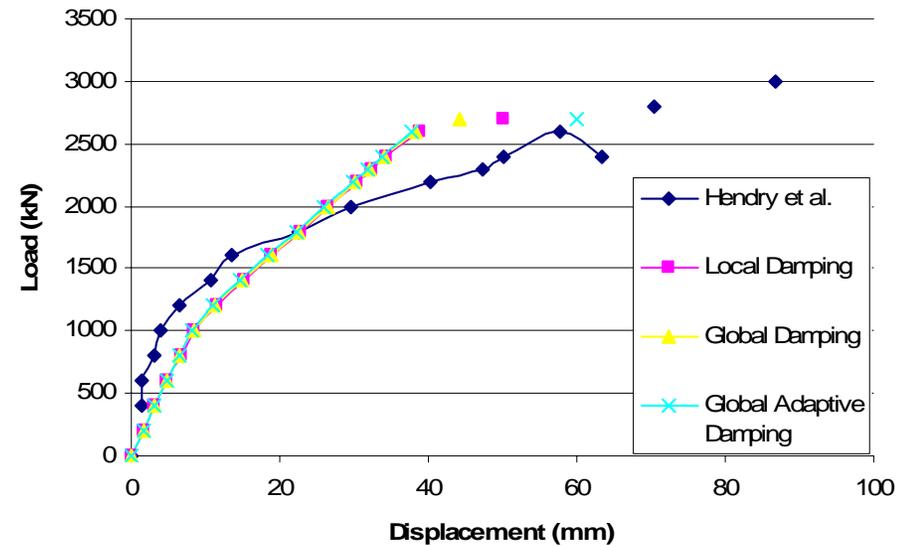
## 3.ii. Schéma de charge

Cas 1 et 2 (arche en maçonnerie isolé):

**P = 1700 kN**



**P = 2700 kN**



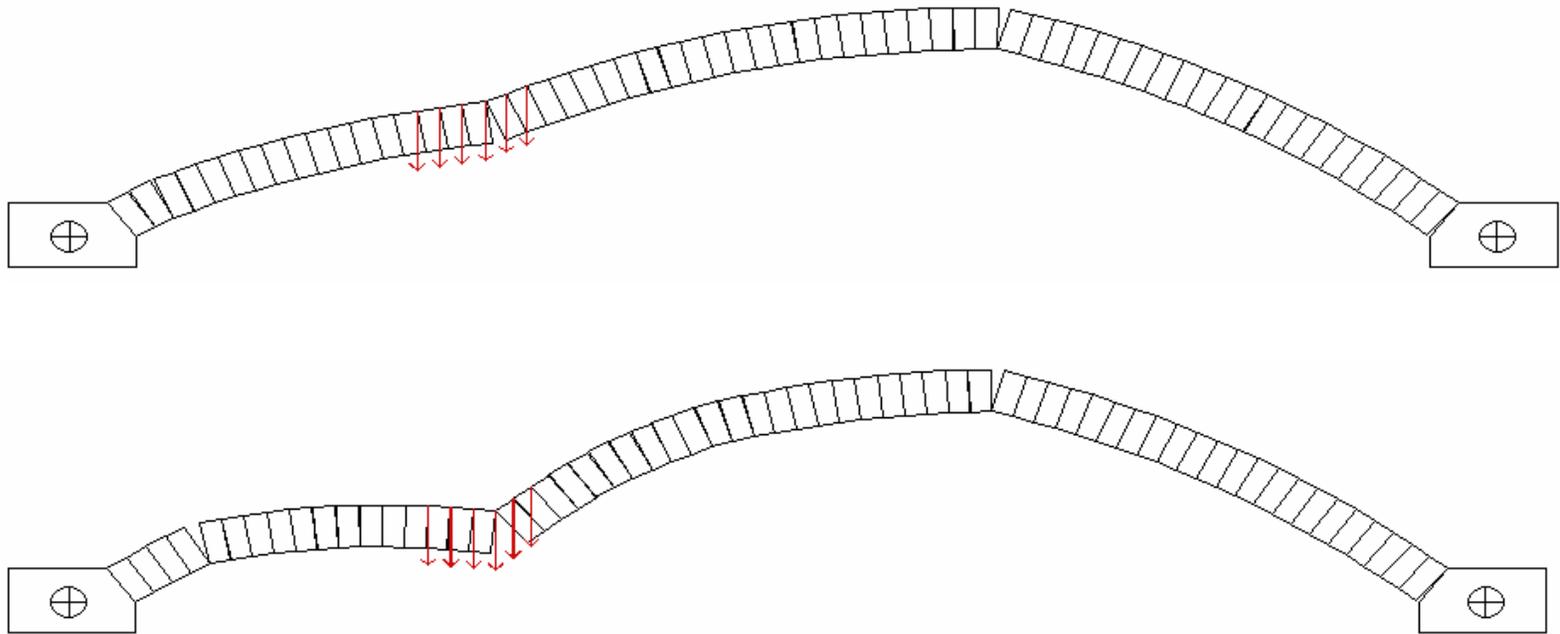
Poids du matériel de remplissage:

non

oui

## 3.ii. Schéma de charge

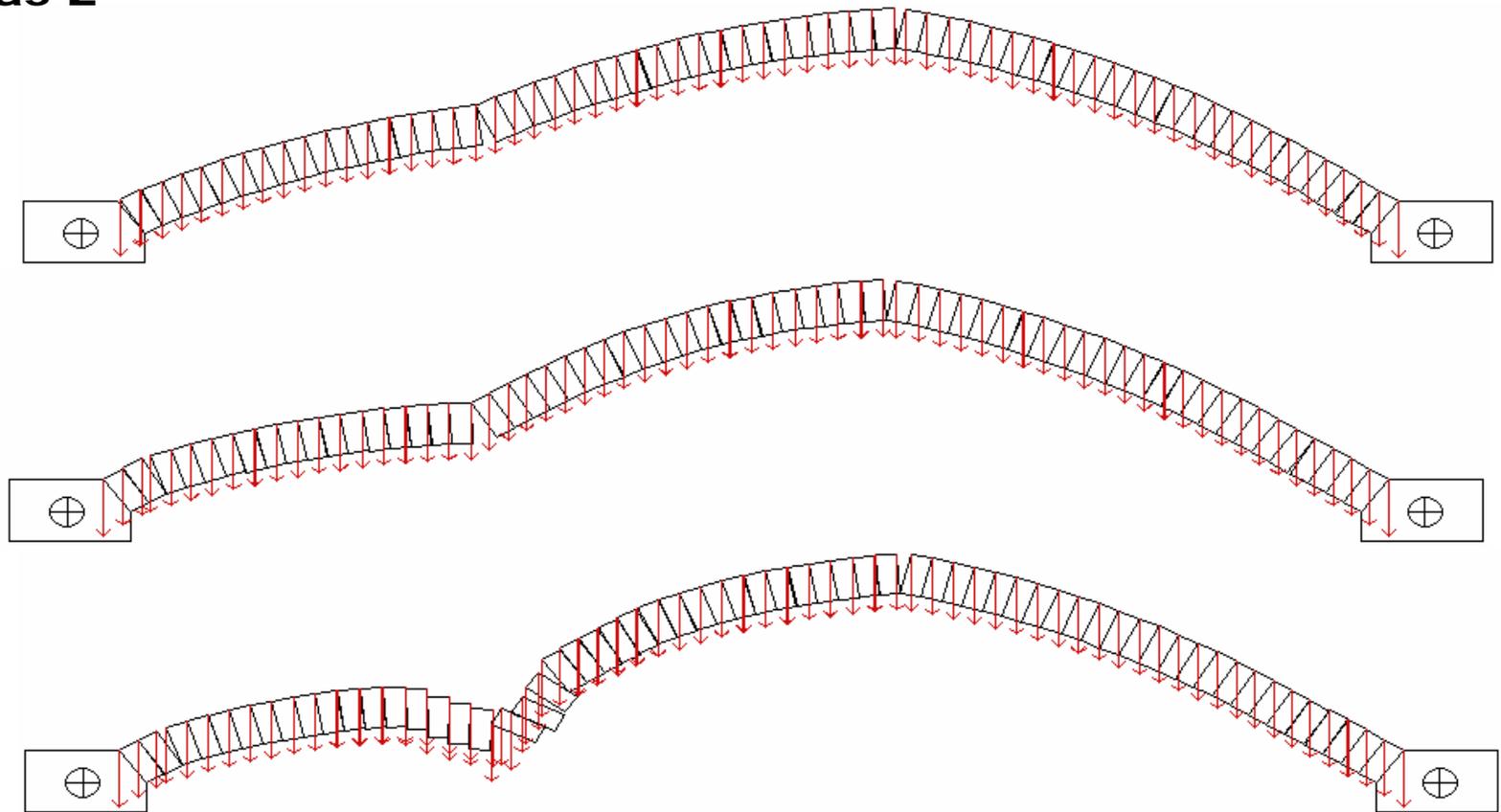
### Cas 1



$$P = 1700 \text{ kN}$$

## 3.ii. Schéma de charge

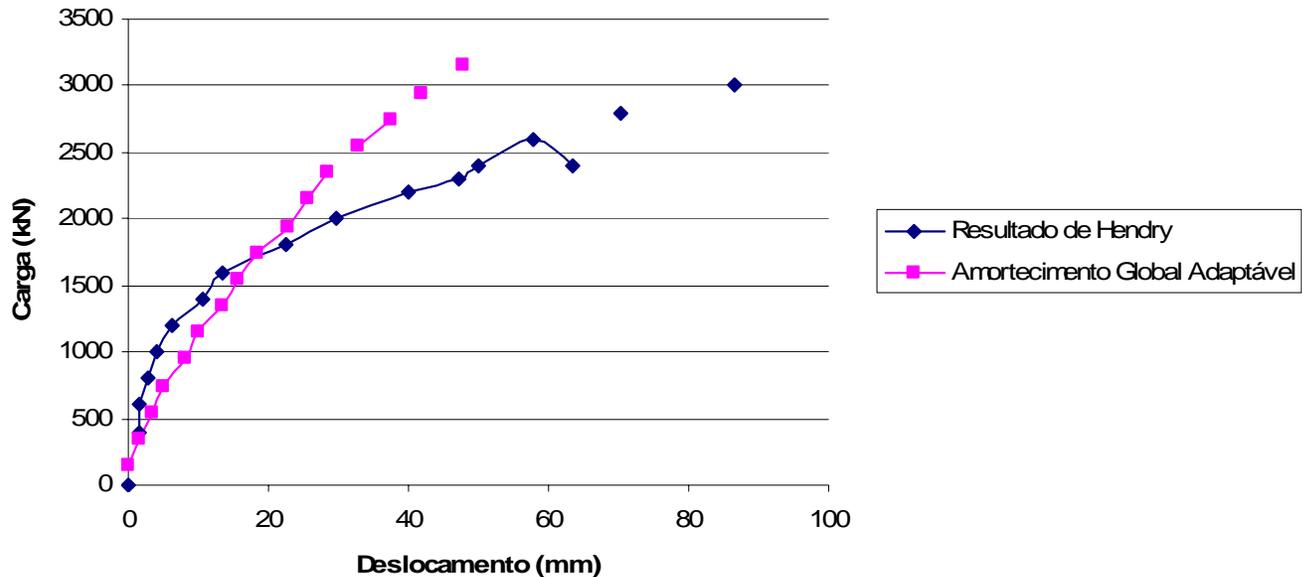
### Cas 2



$$P = 2700 \text{ kN}$$

## 3.ii. Schéma de charge

### Cas 3 (arche en maçonnerie + matériel de remplissage)



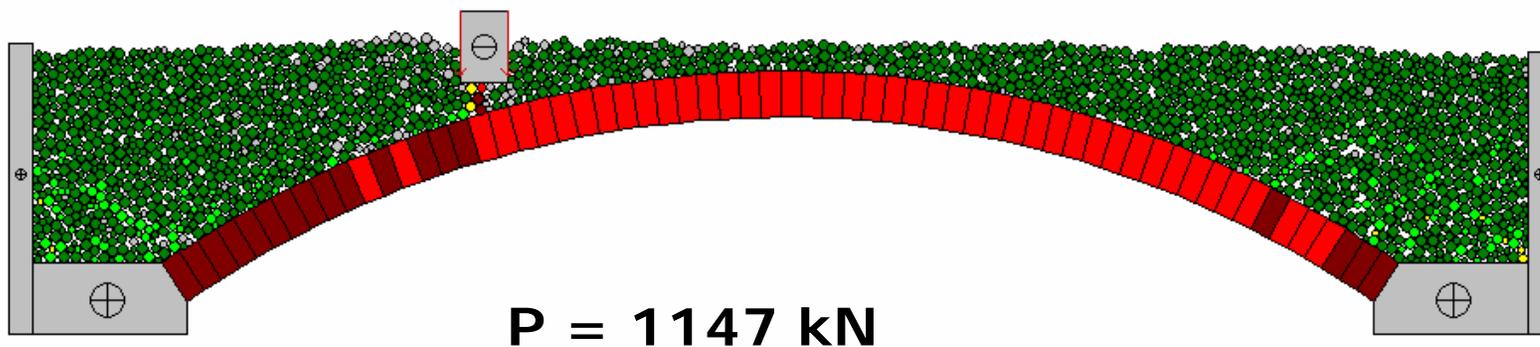
**P = 3147 kN**



## 3.ii. Schéma de charge

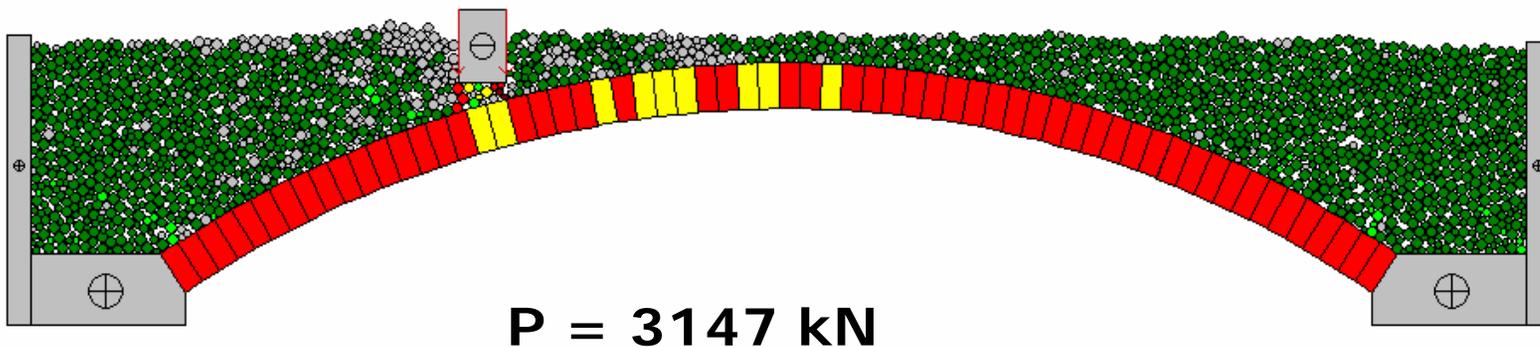
### Cas 3

3/9



$$P = 1147 \text{ kN}$$

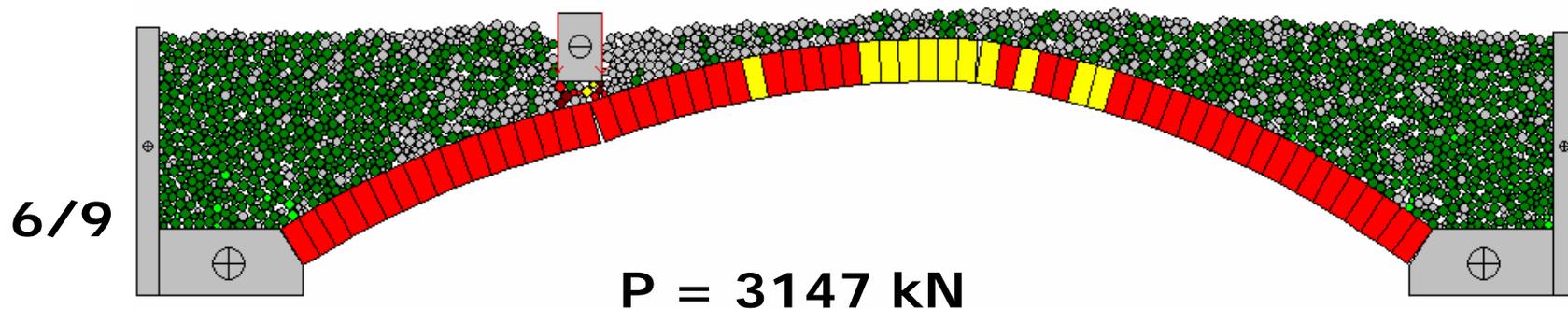
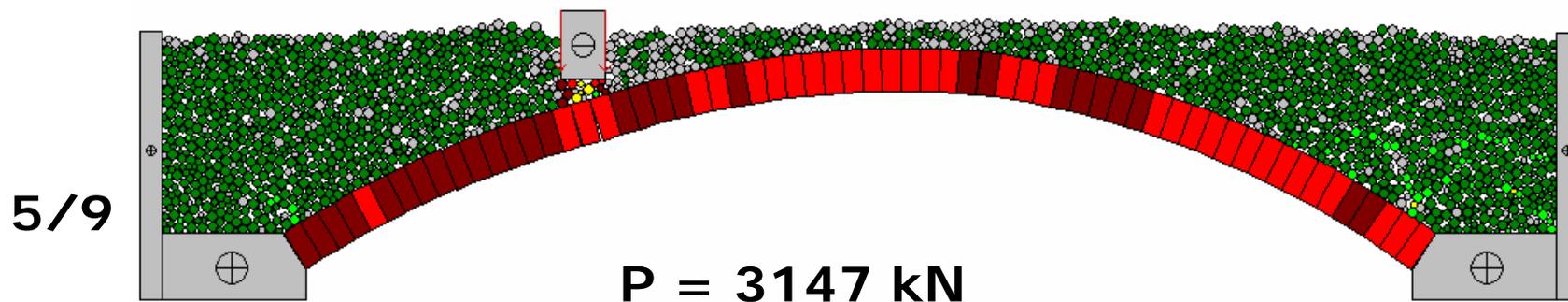
4/9



$$P = 3147 \text{ kN}$$

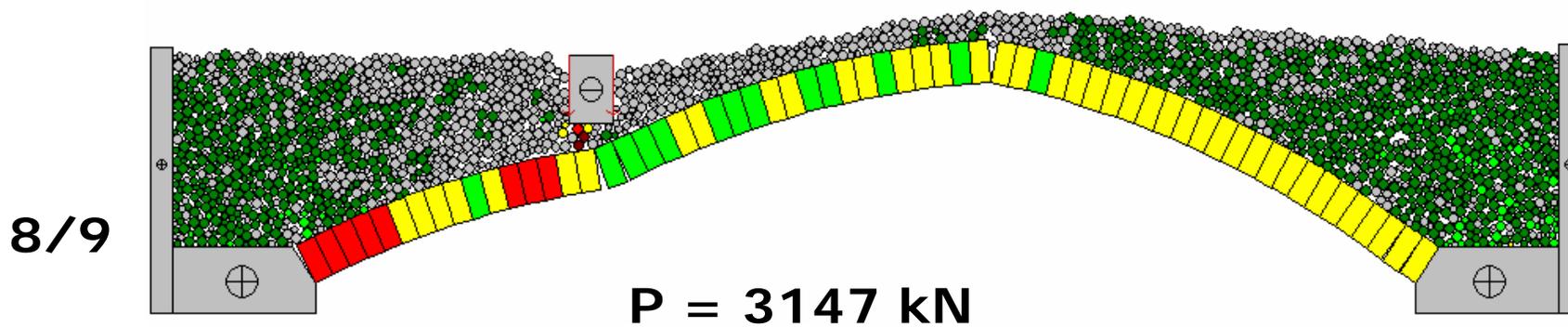
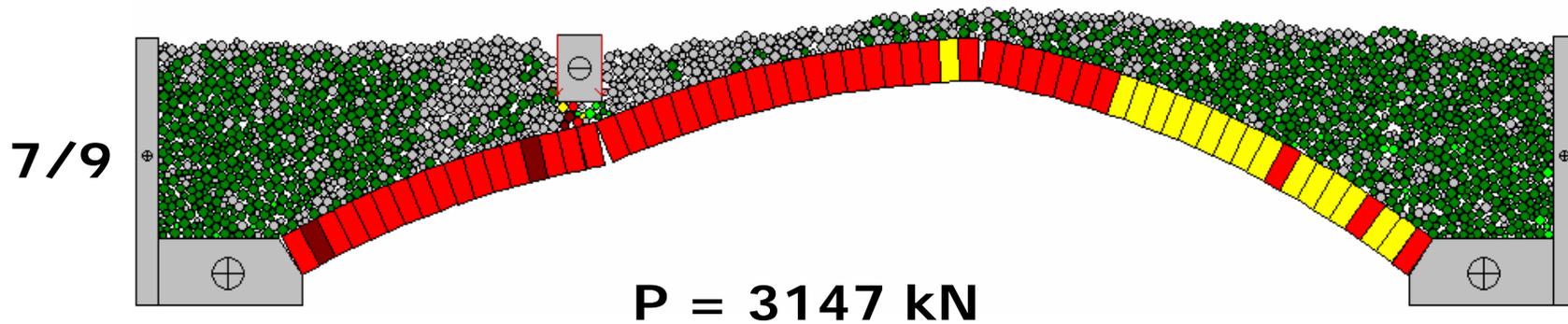
## 3.ii. Schéma de charge

### Cas 3



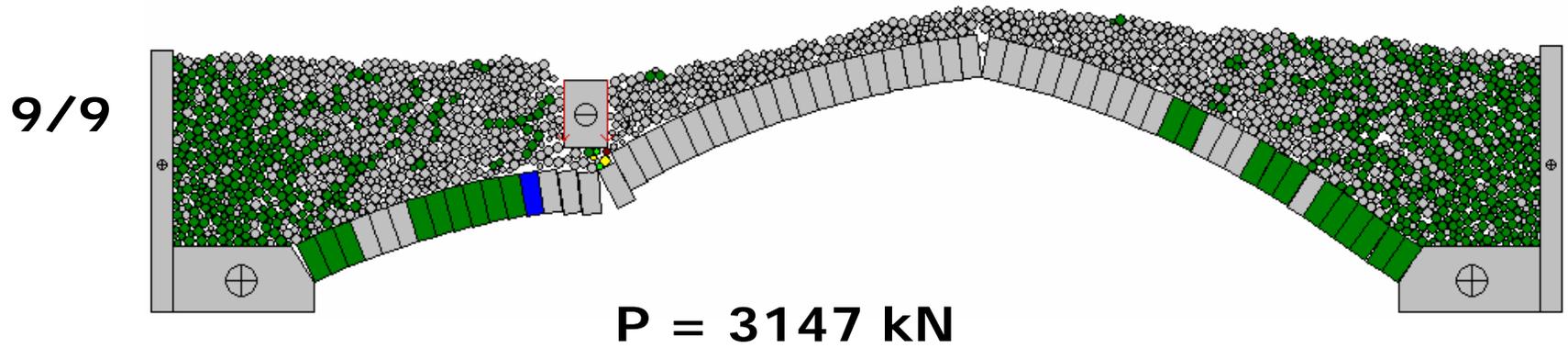
### 3.ii. Schéma de charge

#### Cas 3



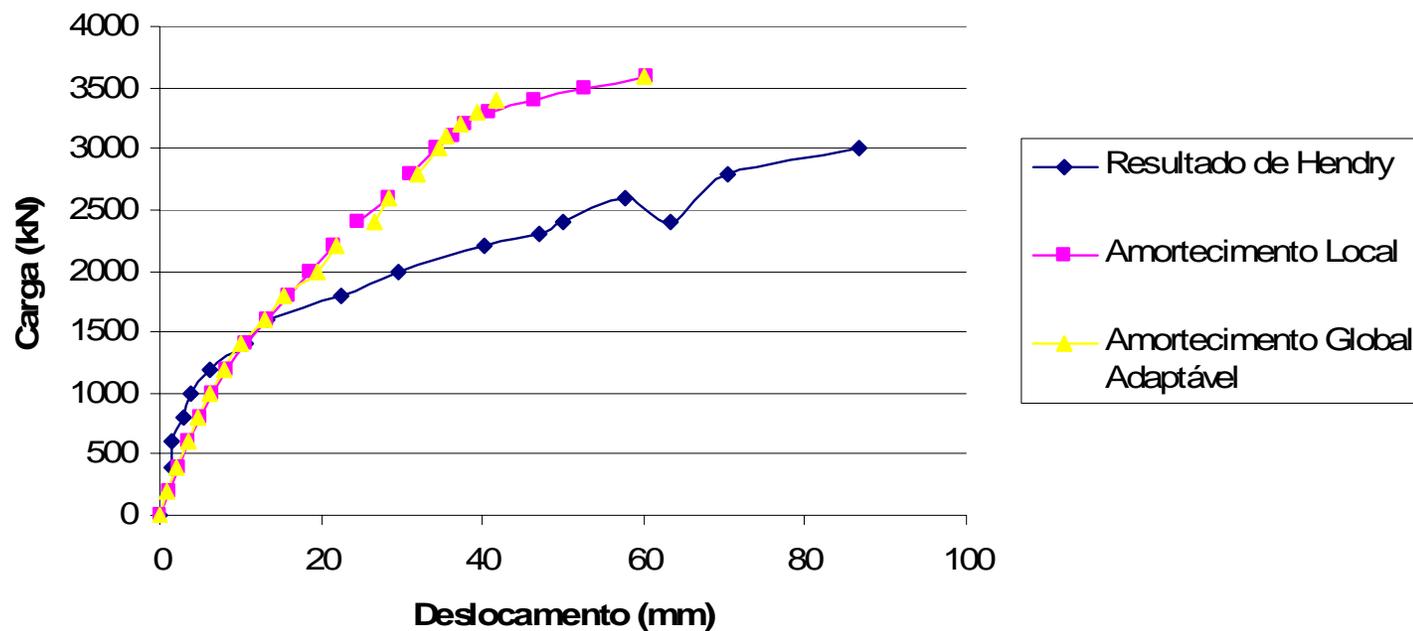
## 3.ii. Schéma de charge

### Cas 3



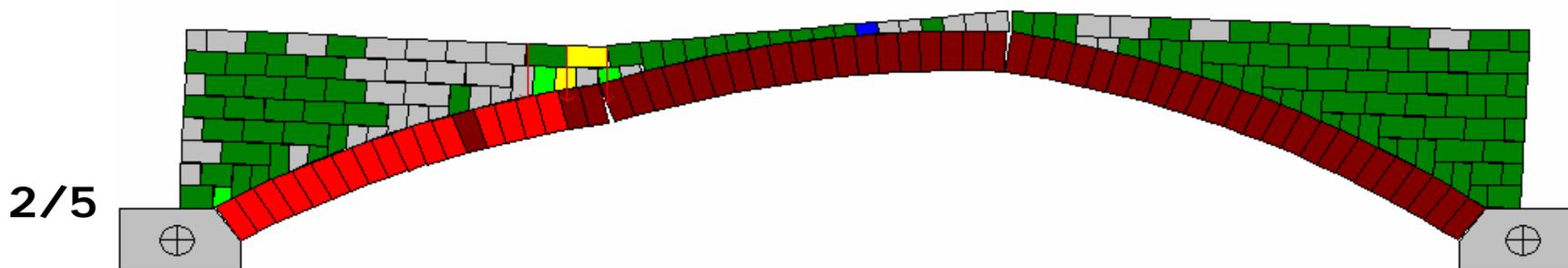
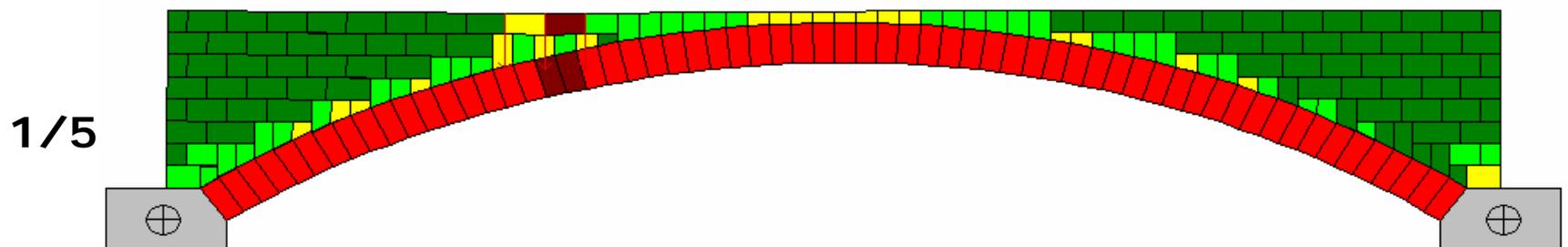
## 3.ii. Schéma de charge

### Cas 4



### 3.ii. Schéma de charge

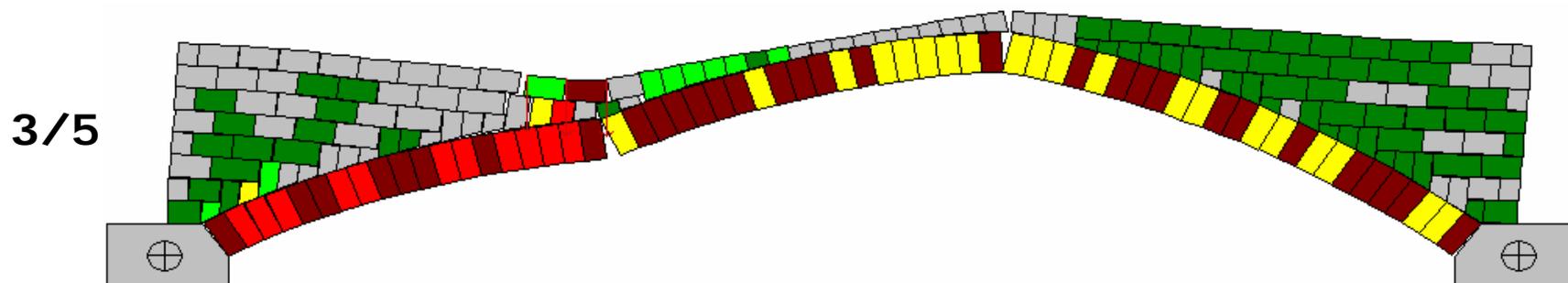
Cas 4



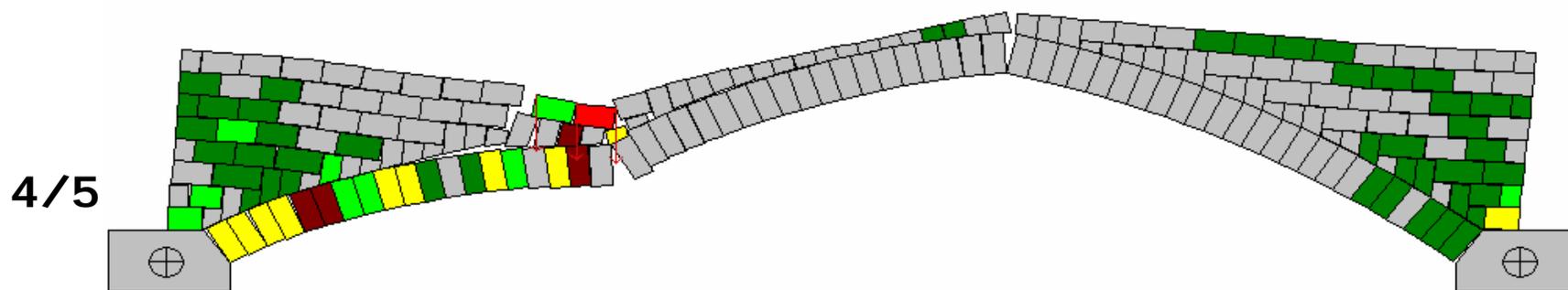
$P = 3600 \text{ kN}$

### 3.ii. Schéma de charge

Cas 4



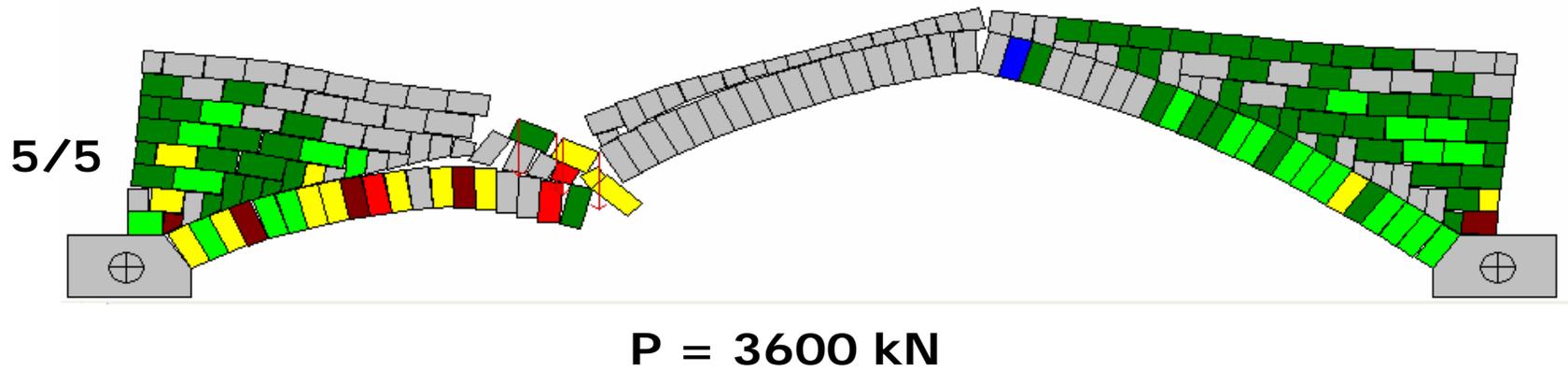
$P = 3600$  kN



$P = 3600$  kN

## 3.ii. Schéma de charge

Cas 4



### 3.ii. Schéma de charge

La force total 3D supporté par le pont peut être rapprochée considérant la collaboration combiné des effets des cas 3 et 4 qui correspond à une largeur de 786 et 44 cm

$$\frac{3600 \times 44 + 3147 \times (830 - 44)}{830} = 3171 \text{ kN}$$

## 4. Conclusions

### Les conclusions (1/2)

**L'exemple présenté montre la capacité du programme de la MEDM comme un outil numérique utile et digne de confiance pour la détermination de la charge de collapsus des ponts en arches en maçonnerie.**

**Le cas 1 donne une valeur inférieure pour la charge de collapsus ce qui confirme la pertinence du matériel de remplissage dans le modèle de la MEDM.**

**Le cas 2 est intéressant du point de vue pratique parce qu'il fournit une façon simple d'estimer la charge de collapsus.**

## 4. Conclusions

### Les conclusions (2/2)

**Le cas 3 montre que l'usage d'éléments discrets circulaires dans le modèle pour simulé le matériel de remplissage donne une valeur pour la charge de collapsus très près de celle obtenu expérimentalement par Hendry**

**Le cas 4 qui est le plus rigide, donne la plus haute valeur pour la charge de collapsus, comme il été attendu.**

**Enfin, la tension de compression maximale est toujours en dessous de la tension de résistance de compression de la maçonnerie en pierre.**