

# DES OUTILS POUR CALCULER

Limitation des modèles numériques  
Hypothèses et précautions d'usages

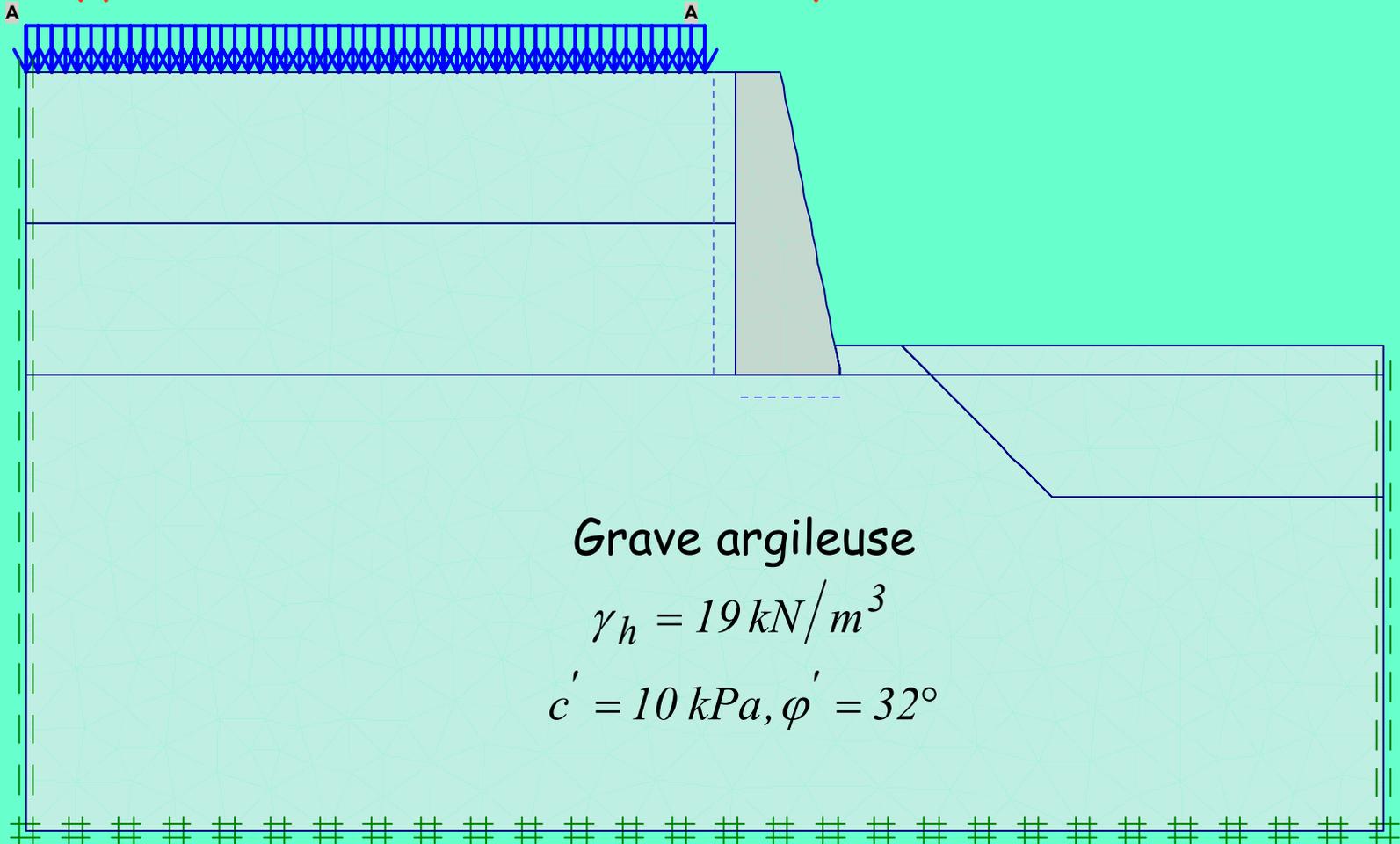
Olivier Pal

'Il faut toujours simplifier au maximum les problèmes  
mais ne jamais trop les simplifier...'

A. Einstein

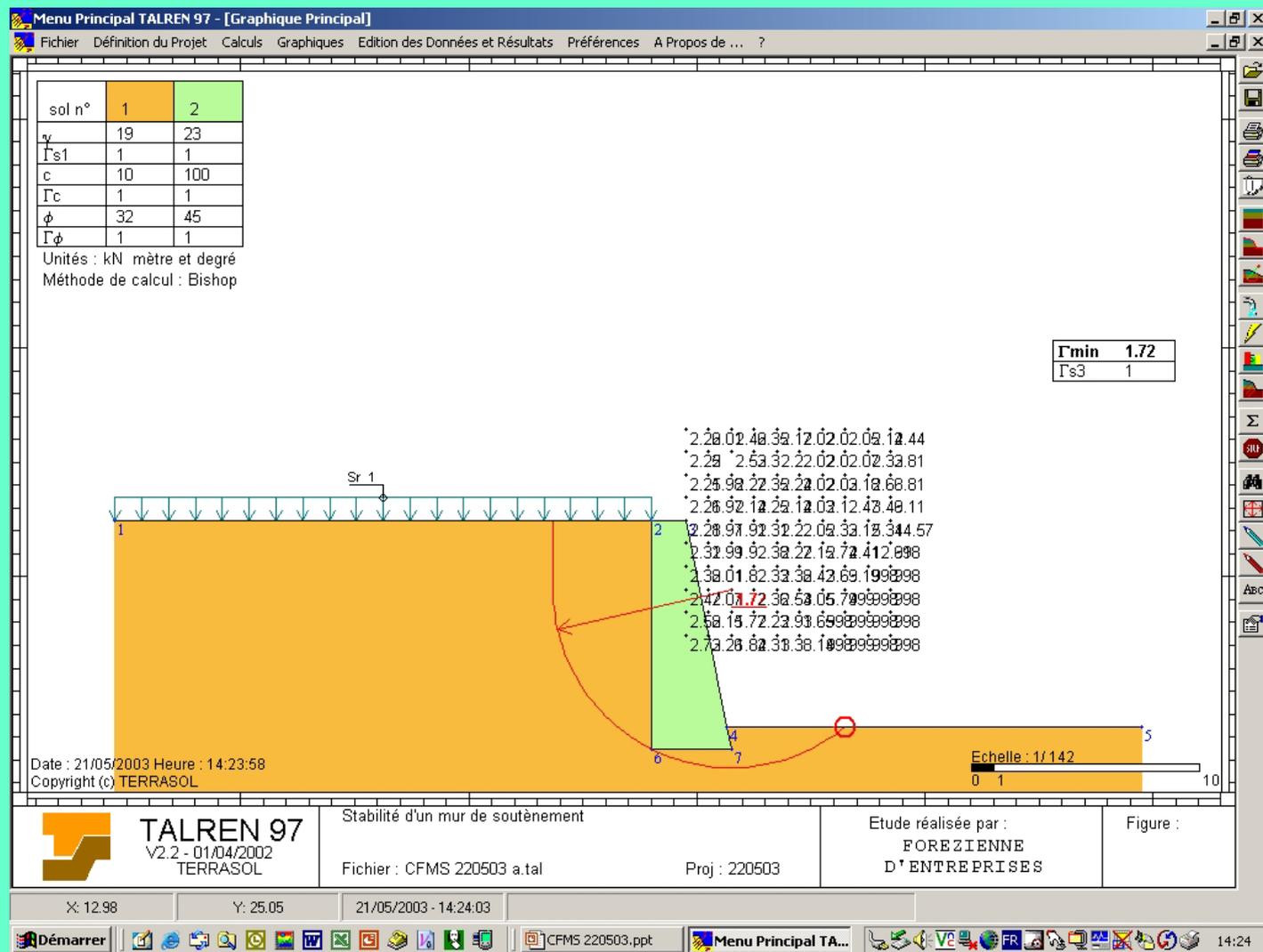
Un modèle n'est pas la réalité  
mais  
une représentation parmi d'autres que l'on n'en fait...

### Appréciation des mécanismes de rupture... ou du choix des outils



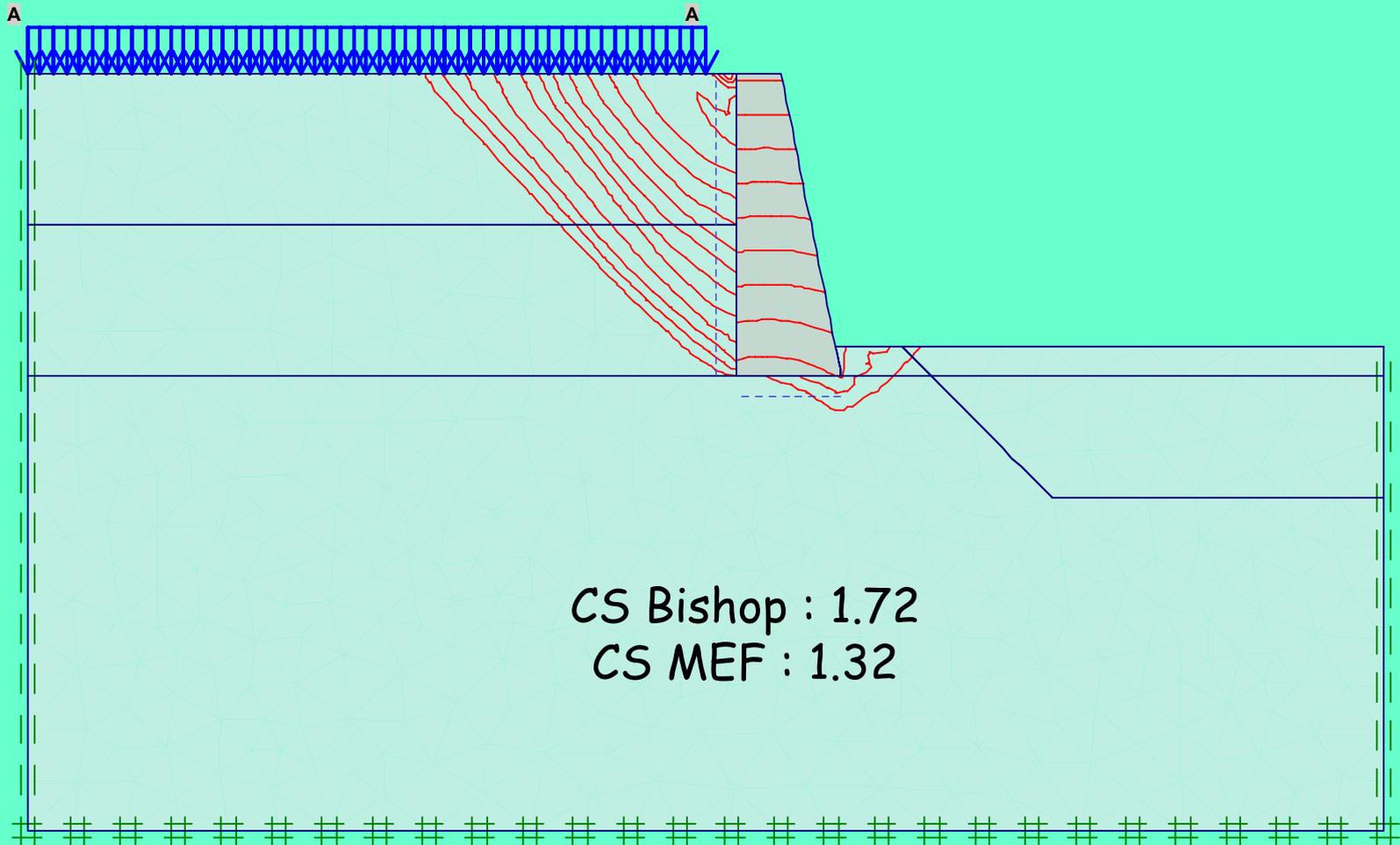
# Limitation des modèles numériques Hypothèses et précautions d'usages

## Appréciation des mécanismes de rupture...



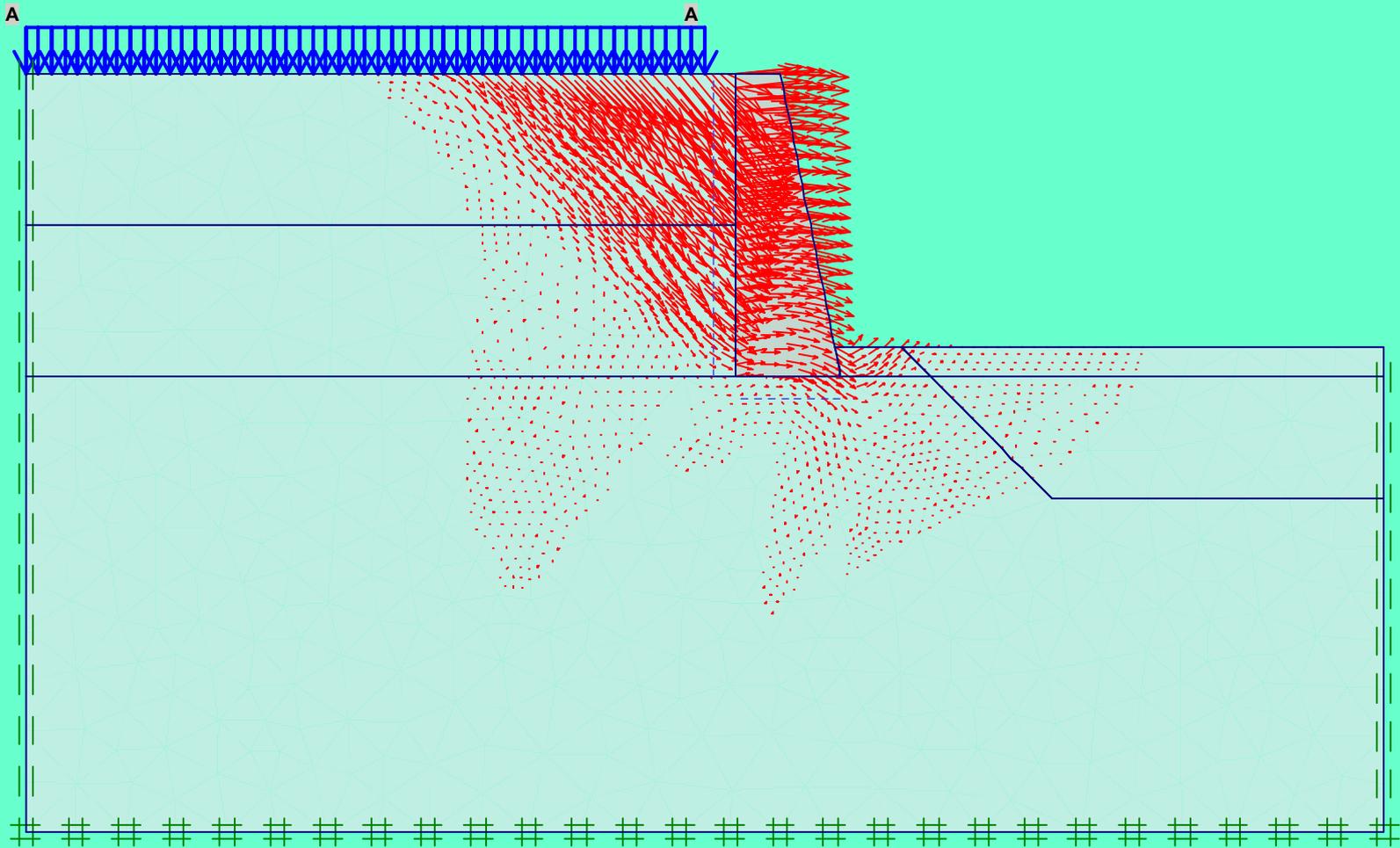
# Limitation des modèles numériques Hypothèses et précautions d'usages

## Appréciation des mécanismes de rupture...



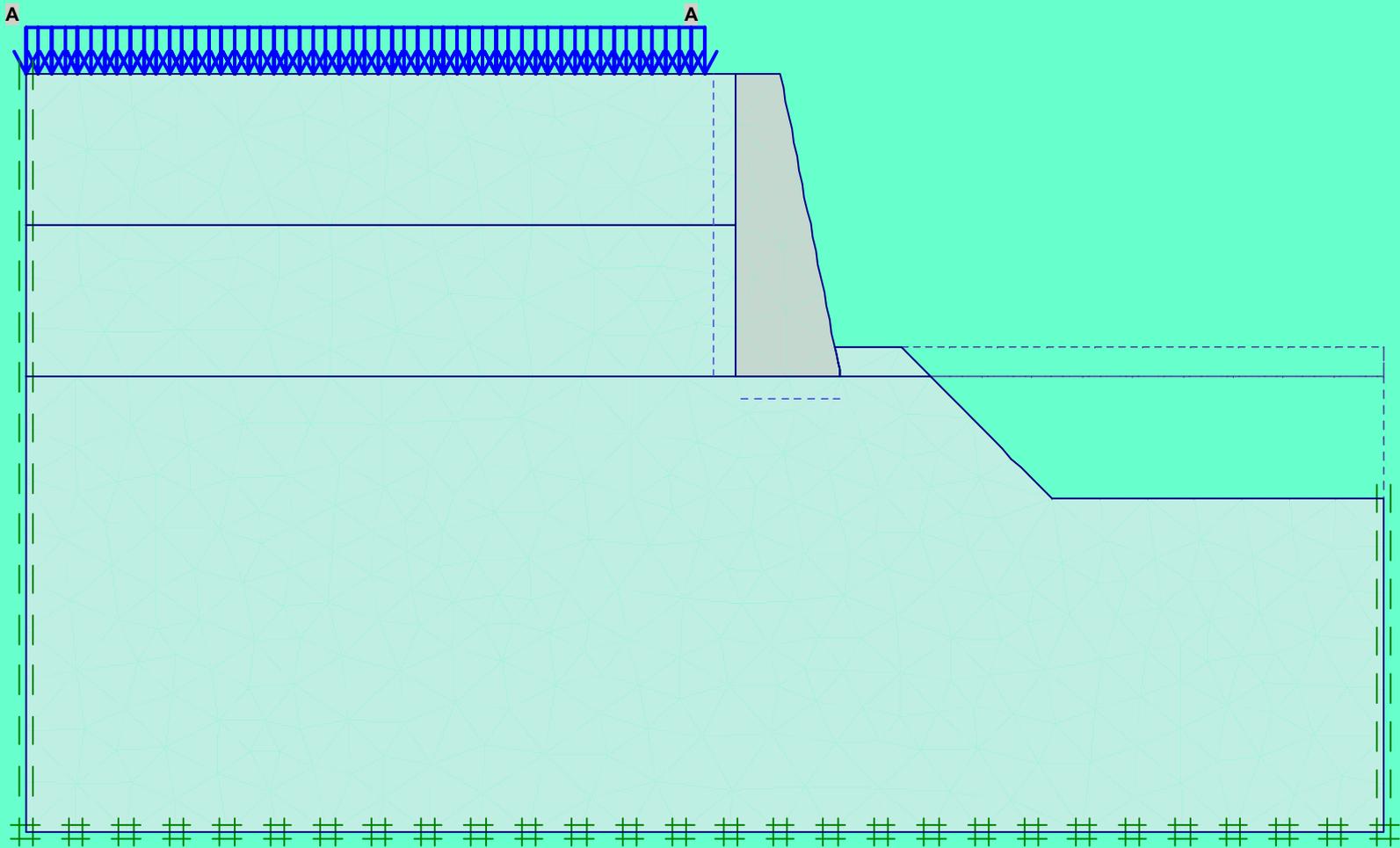
# Limitation des modèles numériques Hypothèses et précautions d'usages

## Appréciation des mécanismes de rupture...

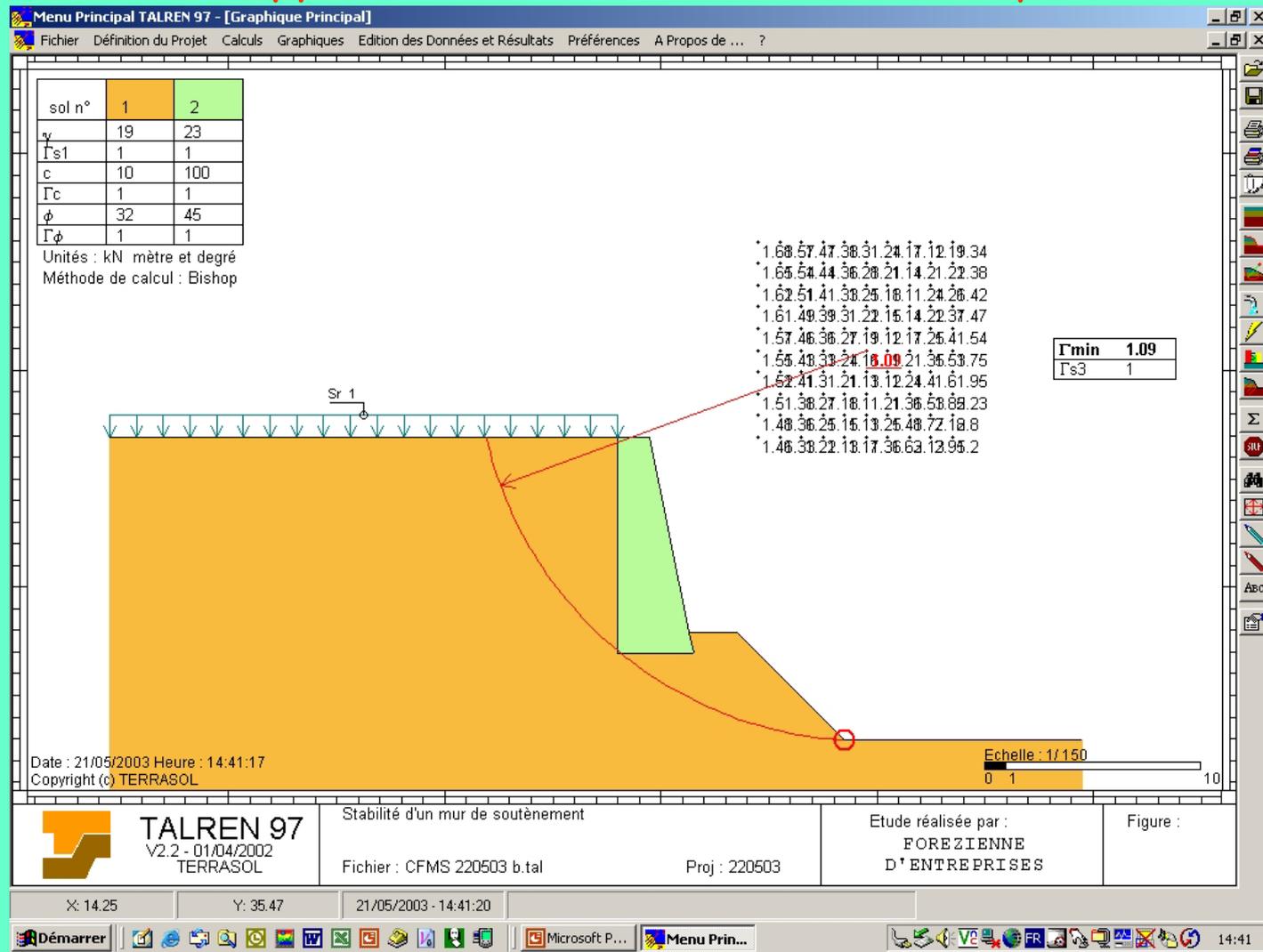


# Limitation des modèles numériques Hypothèses et précautions d'usages

Appréciation des mécanismes de rupture...

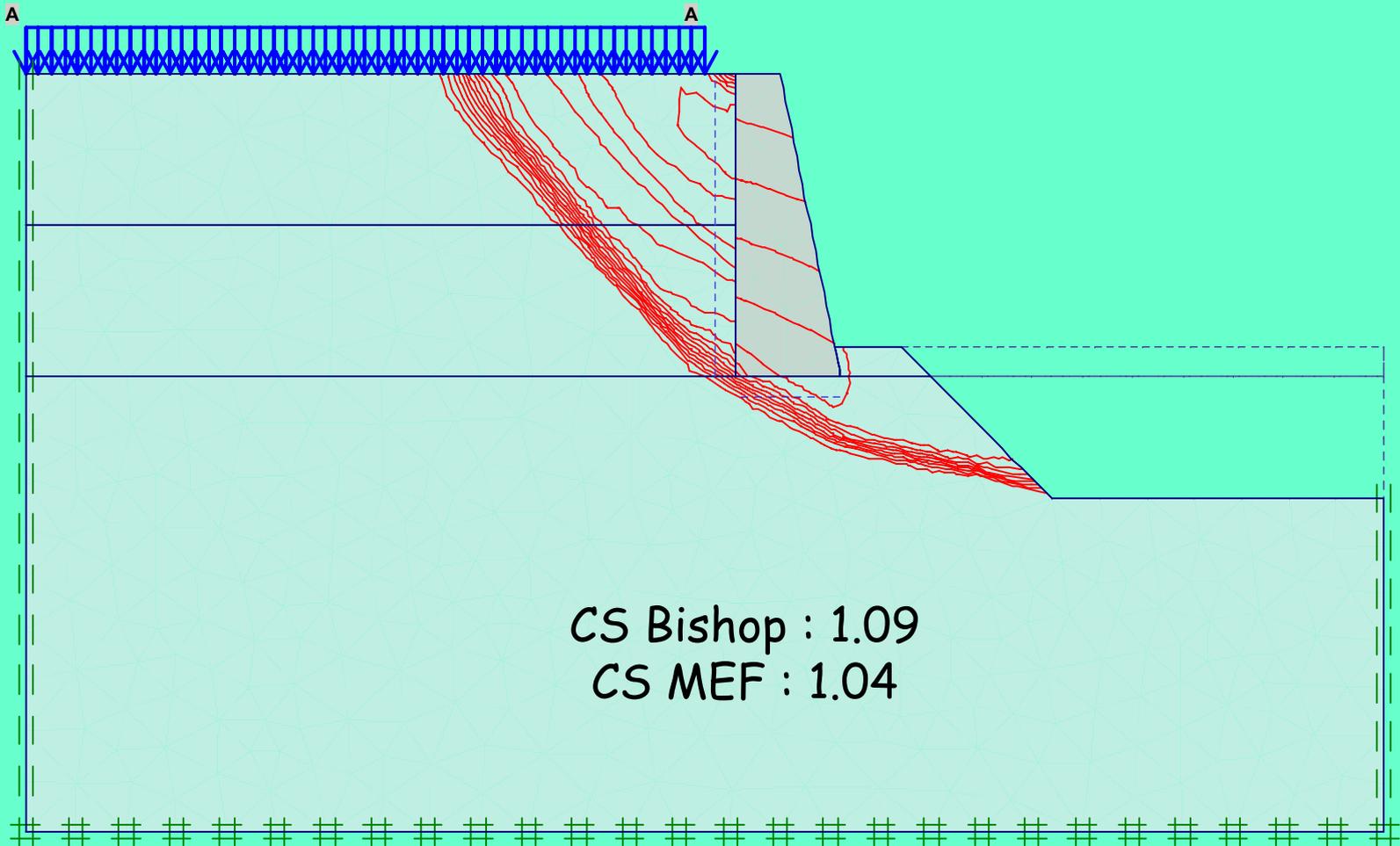


# Limitation des modèles numériques Hypothèses et précautions d'usages Appréciation des mécanismes de rupture...

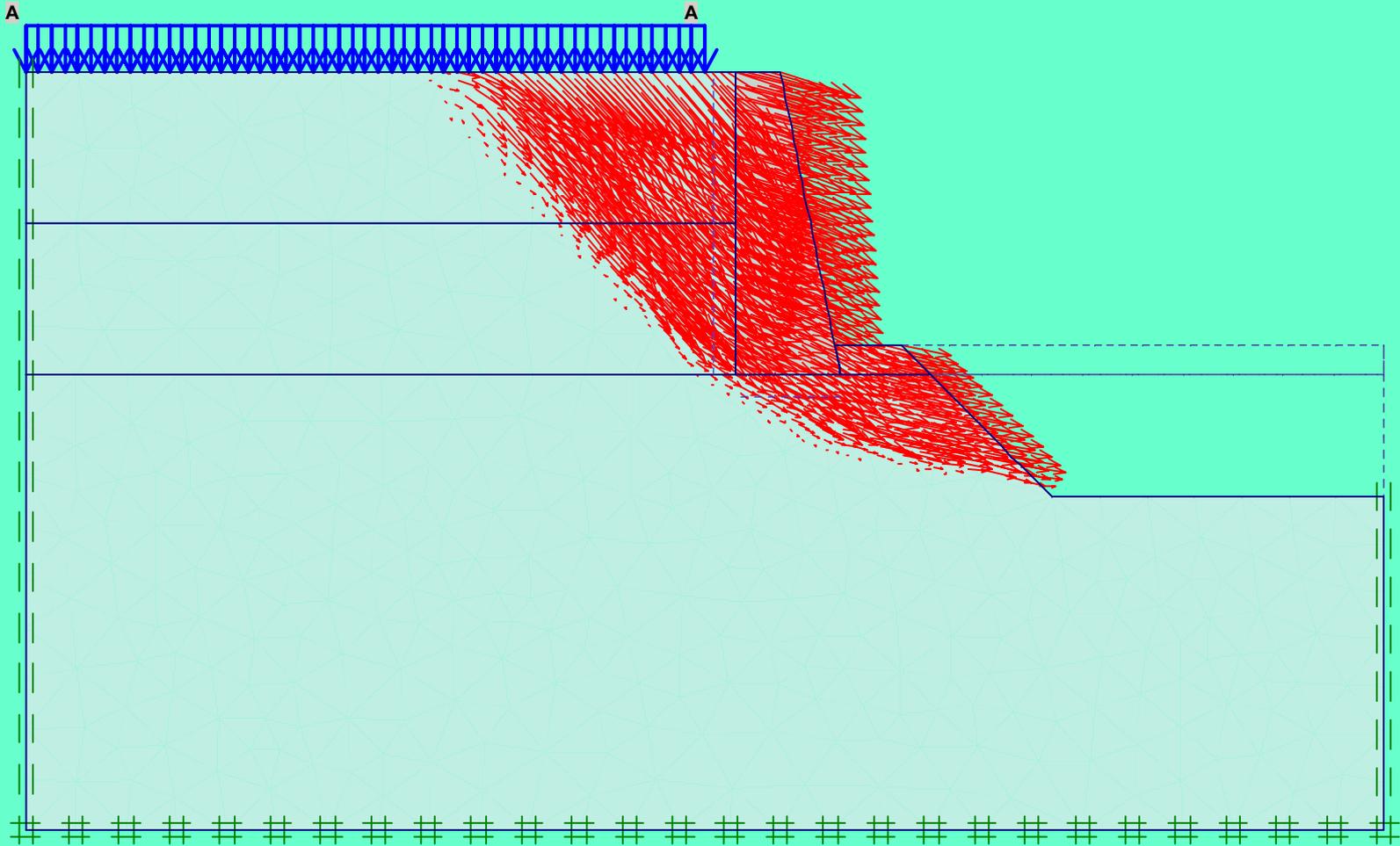


# Limitation des modèles numériques Hypothèses et précautions d'usages

Appréciation des mécanismes de rupture...



Limitation des modèles numériques  
 Hypothèses et précautions d'usages  
 Appréciation des mécanismes de rupture...



# Limitation des modèles numériques

## Hypothèses et précautions d'usages

Appréciation des conditions aux limites...

En statique, en dynamique, en hydraulique souterraine

Exemple en hydraulique souterraine : le rayon d'action

$$R = 3000 \cdot (H - h_0) \cdot \sqrt{k}$$

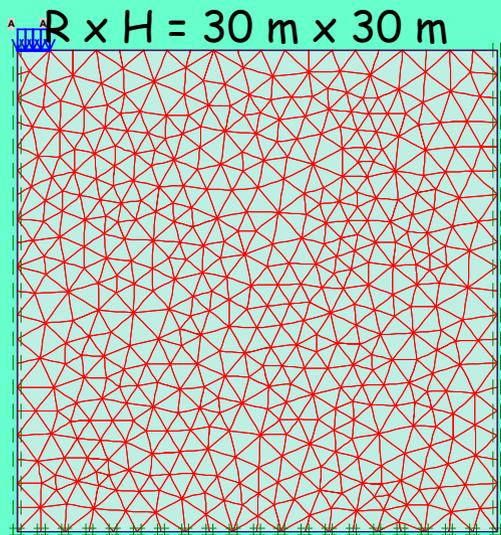
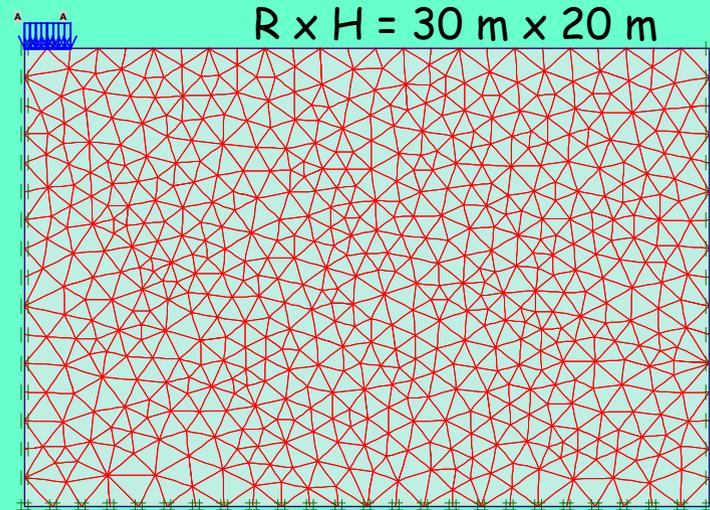
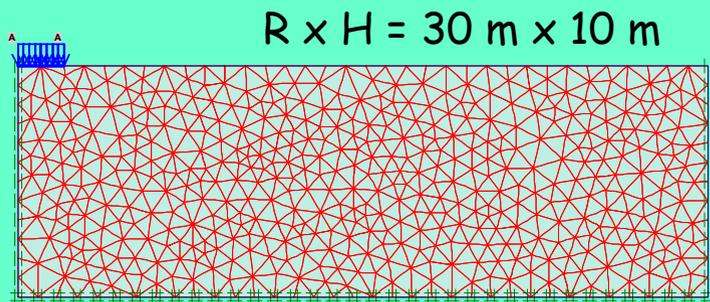
Rabattement : 1 m

$k$ (m/s)	$R$ (m)
$10^{-6}$	3
$10^{-4}$	30
$10^{-2}$	300

Adéquation entre modèle mécanique et modèle hydraulique !

Limitation des modèles numériques  
Hypothèses et précautions d'usages

$\sigma = 10 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 0.3$



Modèle semi-infini en DP et SR

$\delta \text{ max SR}$	$\delta \text{ max DP}$
22.88 mm	49.29 mm
24.92 mm	64.61 mm
25.69 mm	72.98 mm

Un modèle est nécessairement limité ! 

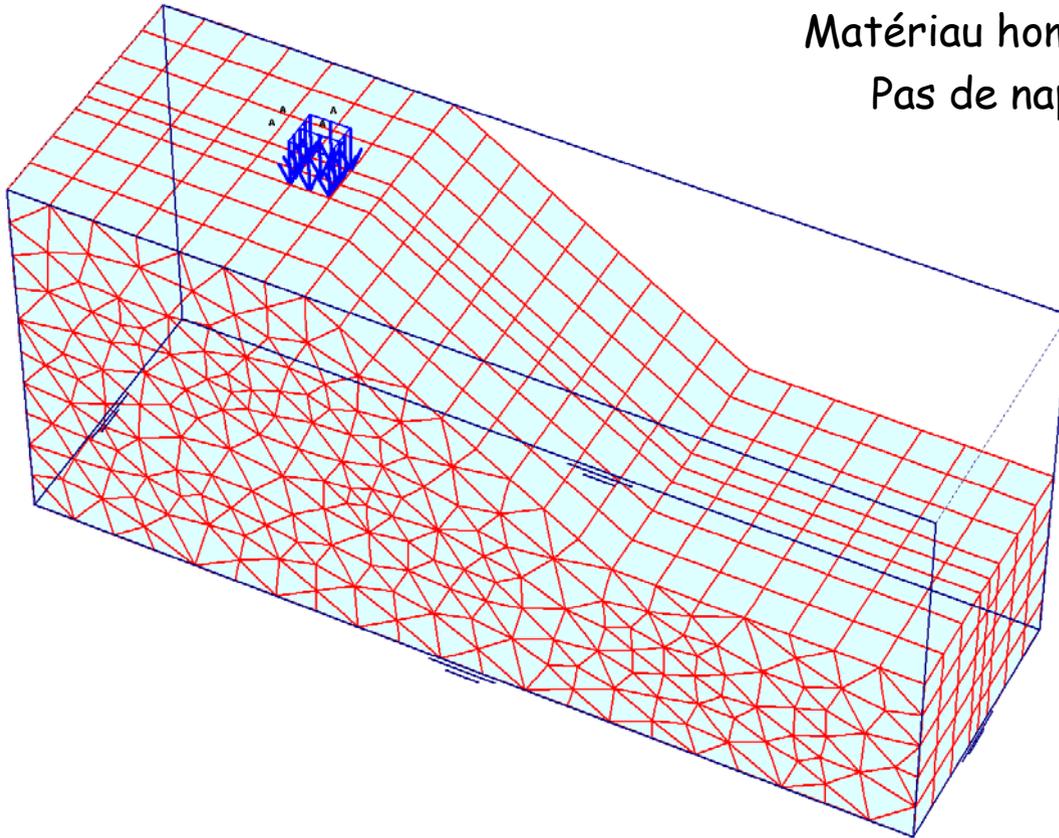
# Limitation des modèles numériques Hypothèses et précautions d'usages

Chargement: 2mx2m, 300 kPa

Distance crête talus: 2 m

Matériau homogène

Pas de nappe



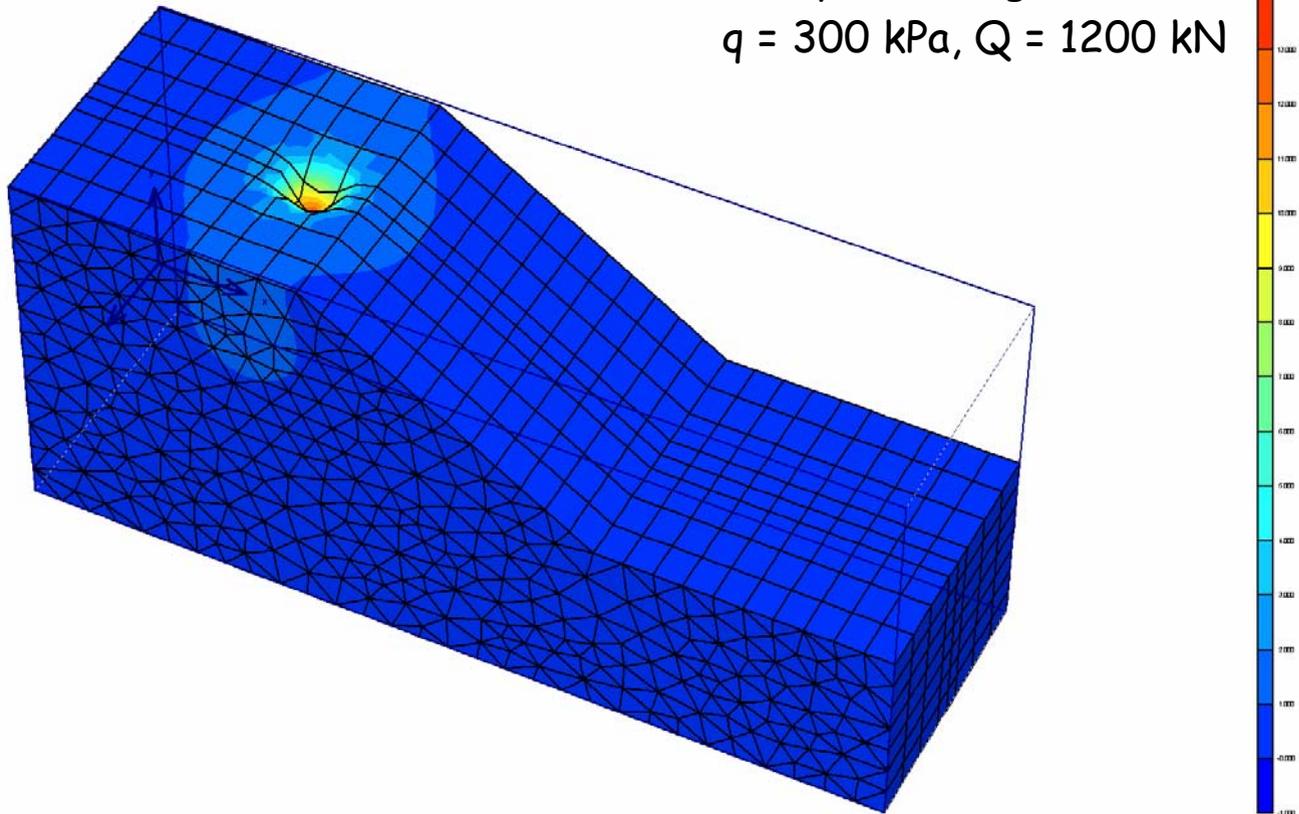
Etude d'un chargement en tête d'un talus

# Limitation des modèles numériques Hypothèses et précautions d'usages

Carte isovaleurs de déplacements

Après chargement

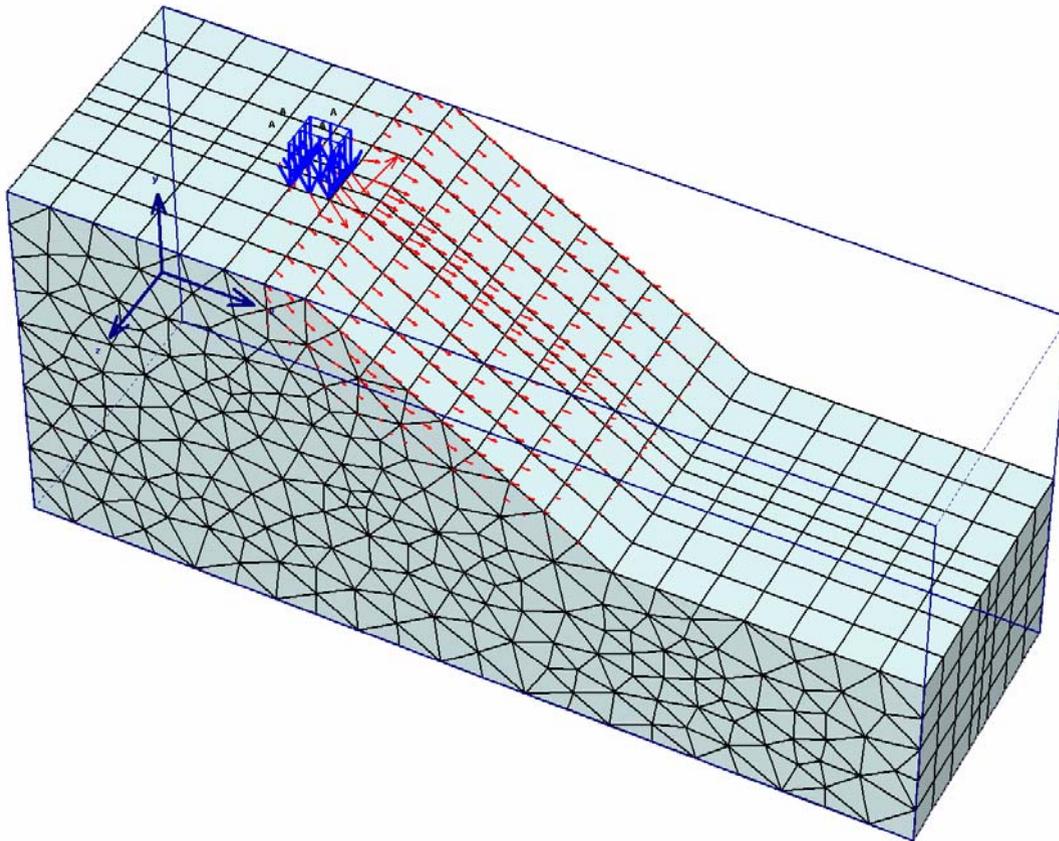
$q = 300 \text{ kPa}$ ,  $Q = 1200 \text{ kN}$



Etude d'un chargement en tête d'un talus

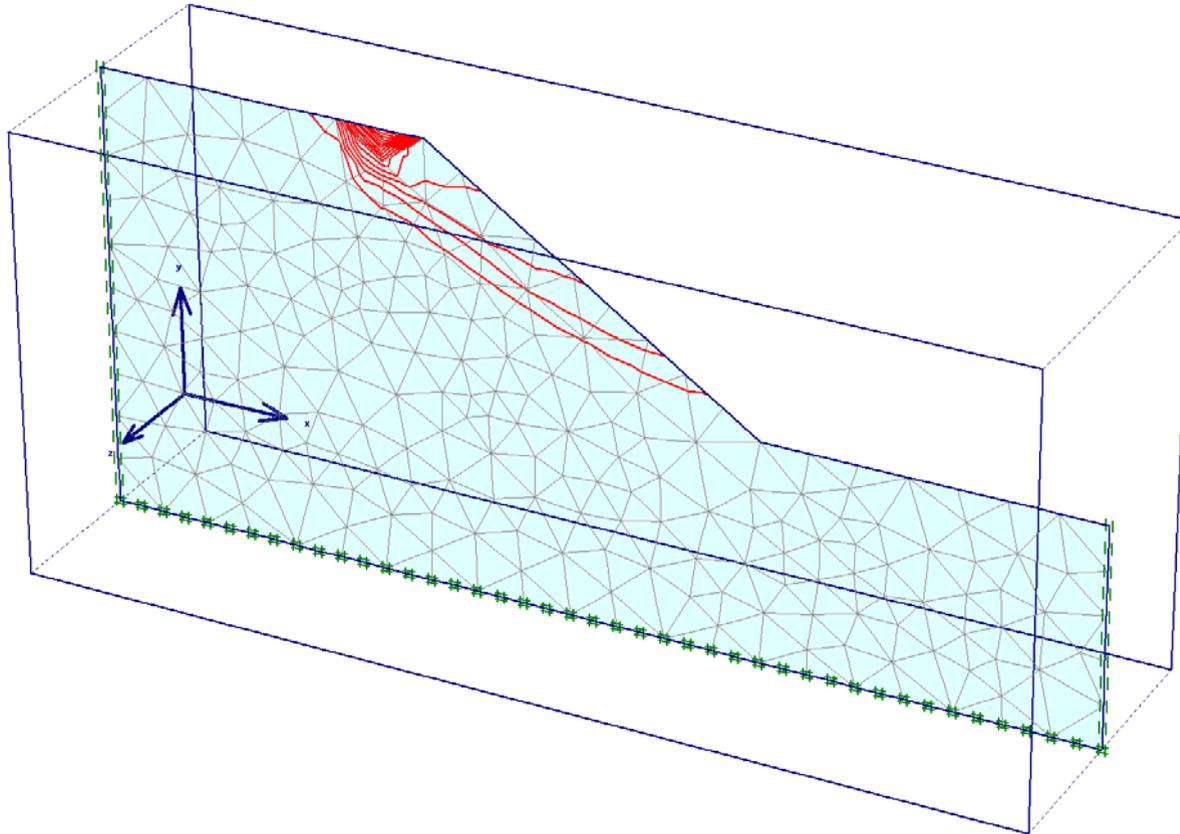
# Limitation des modèles numériques Hypothèses et précautions d'usages

Vecteurs vitesse de déplacement  
À la rupture



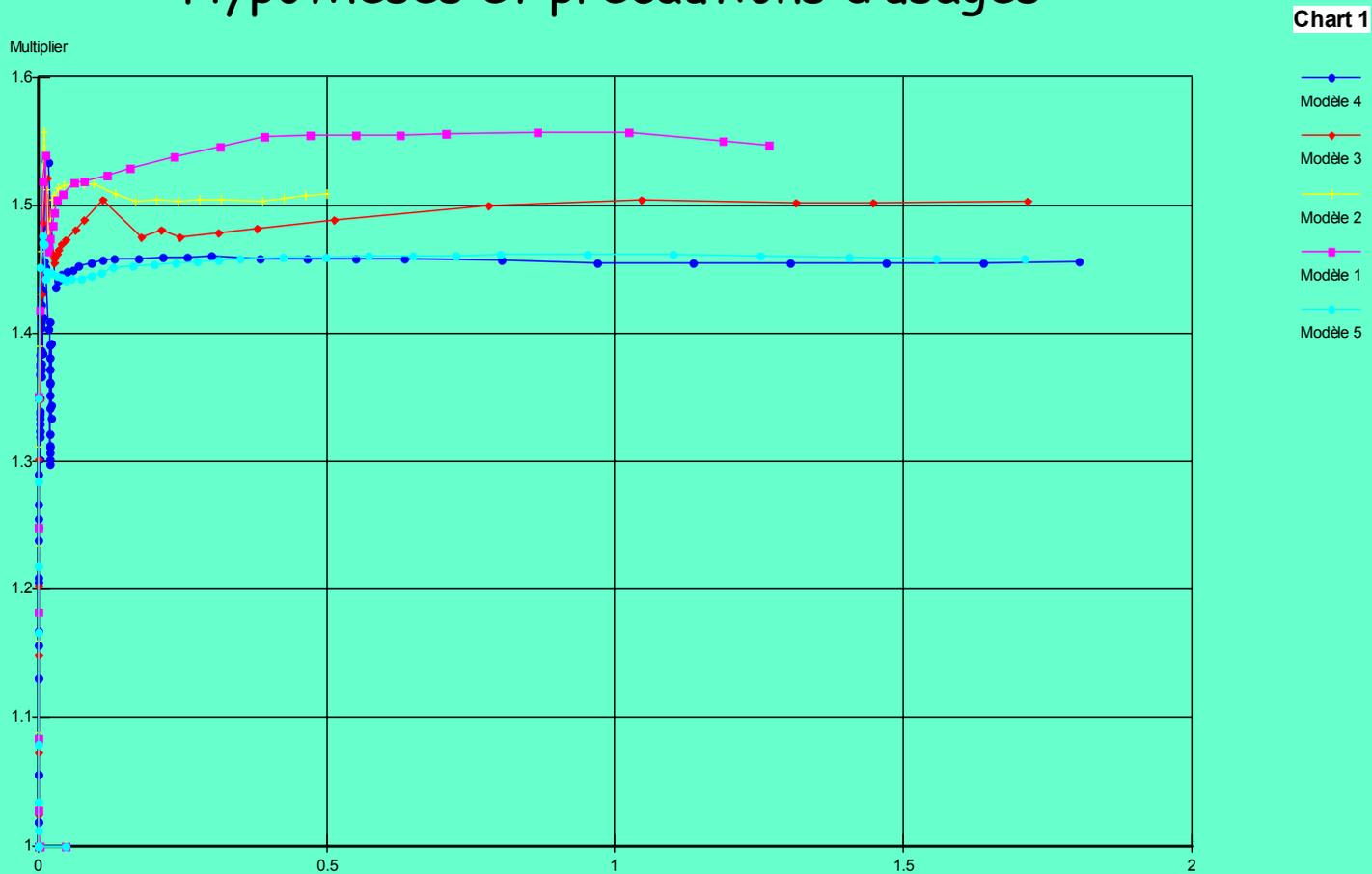
Etude d'un chargement en tête d'un talus

# Limitation des modèles numériques Hypothèses et précautions d'usages



Etude d'un chargement en tête d'un talus

# Limitation des modèles numériques Hypothèses et précautions d'usages



Modèle	Nb éléments (*)	Nb de noeuds	Nb point intégration	Coefficient de sécurité
1	328	1218	1968	1.55
2	632	2158	3792	1.51
3	1312	4171	7872	1.51
4	3144	9430	18864	1.46
5	4824	14336	28944	1.46

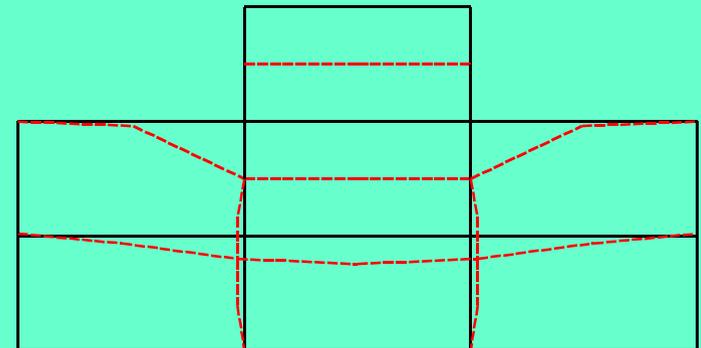
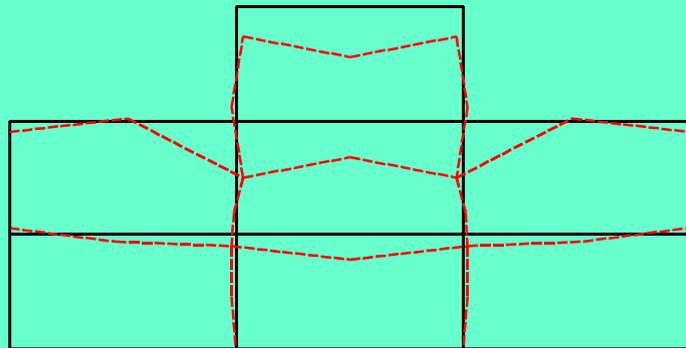
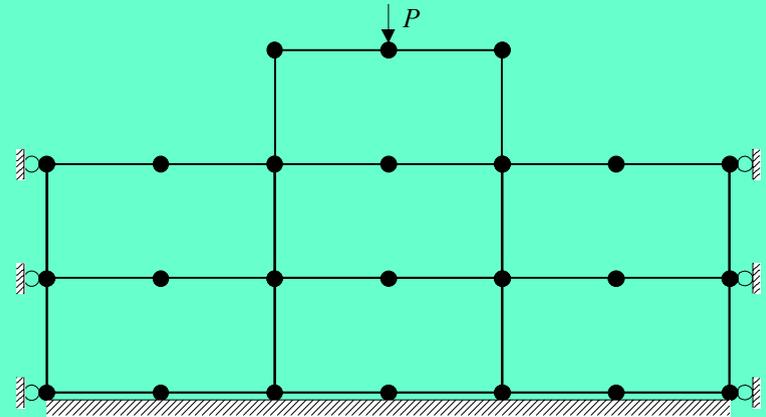
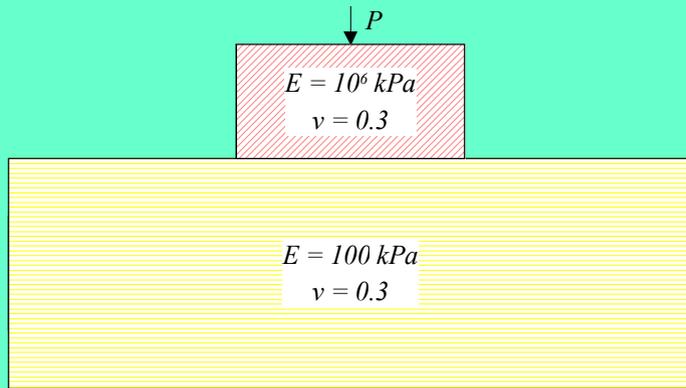
# Limitation des modèles numériques

## Hypothèses et précautions d'usages

### Problèmes nécessitant une approche 3D

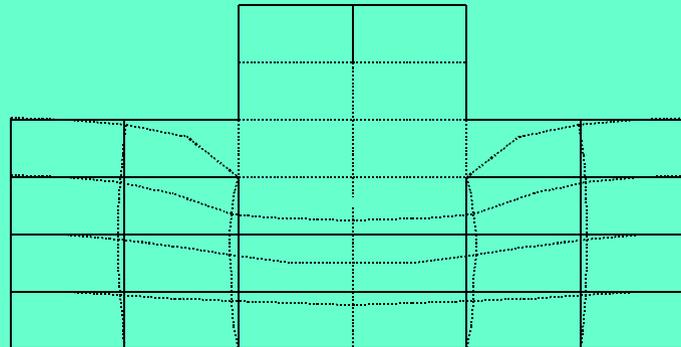
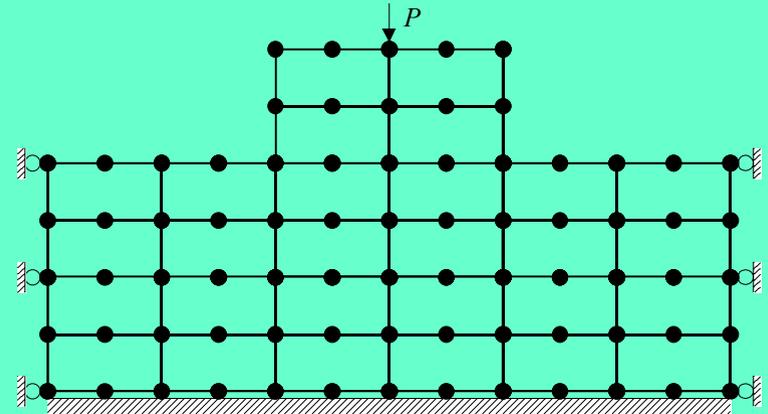
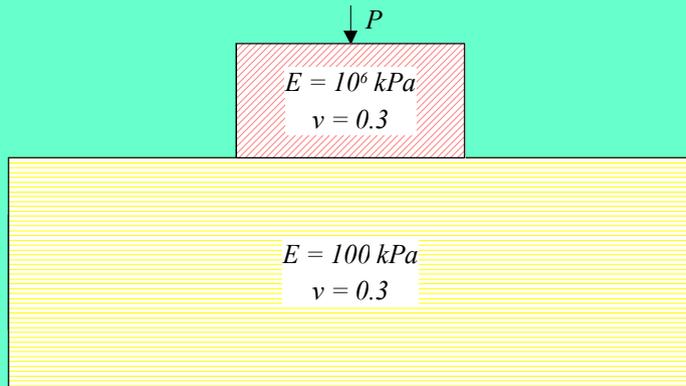
- ↪ Tout problème de fondation à chargement non symétrique,
  - ↪ Intersection de tunnels, de galeries, etc...
  - ↪ Ouvrages gauches, courbes, non symétriques...
    - ↪ Anisotropie marquée des terrains,
    - ↪ Groupe de pieux, ou inclusions...
    - ↪ Chargement latéral des pieux,
    - ↪ Interaction entre ouvrages,
  - ↪ Ouvrages de soutènement, notamment dans les angles,  
Ouvrages renforcés : clouage, sols renforcés...
- ↪ Barrages voûtes en site étroit, interaction forte entre arcs et consoles,  
Etc...

# Limitation des modèles numériques Hypothèses et précautions d'usages



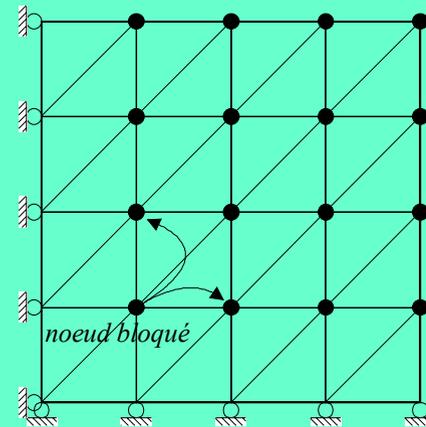
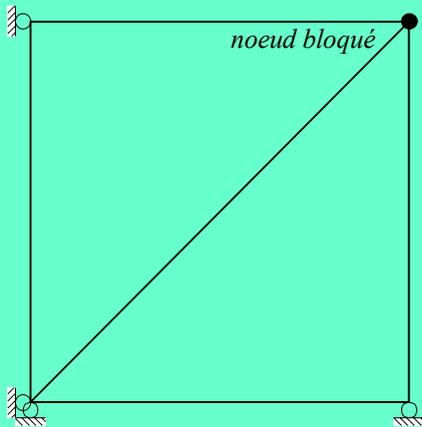
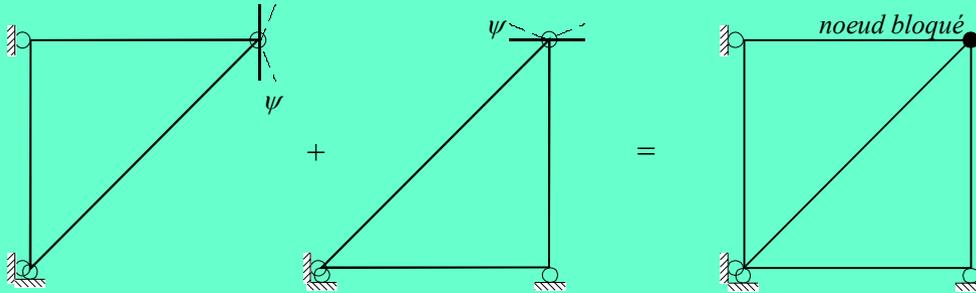
Effet d'une intégration réduite

# Limitation des modèles numériques Hypothèses et précautions d'usages



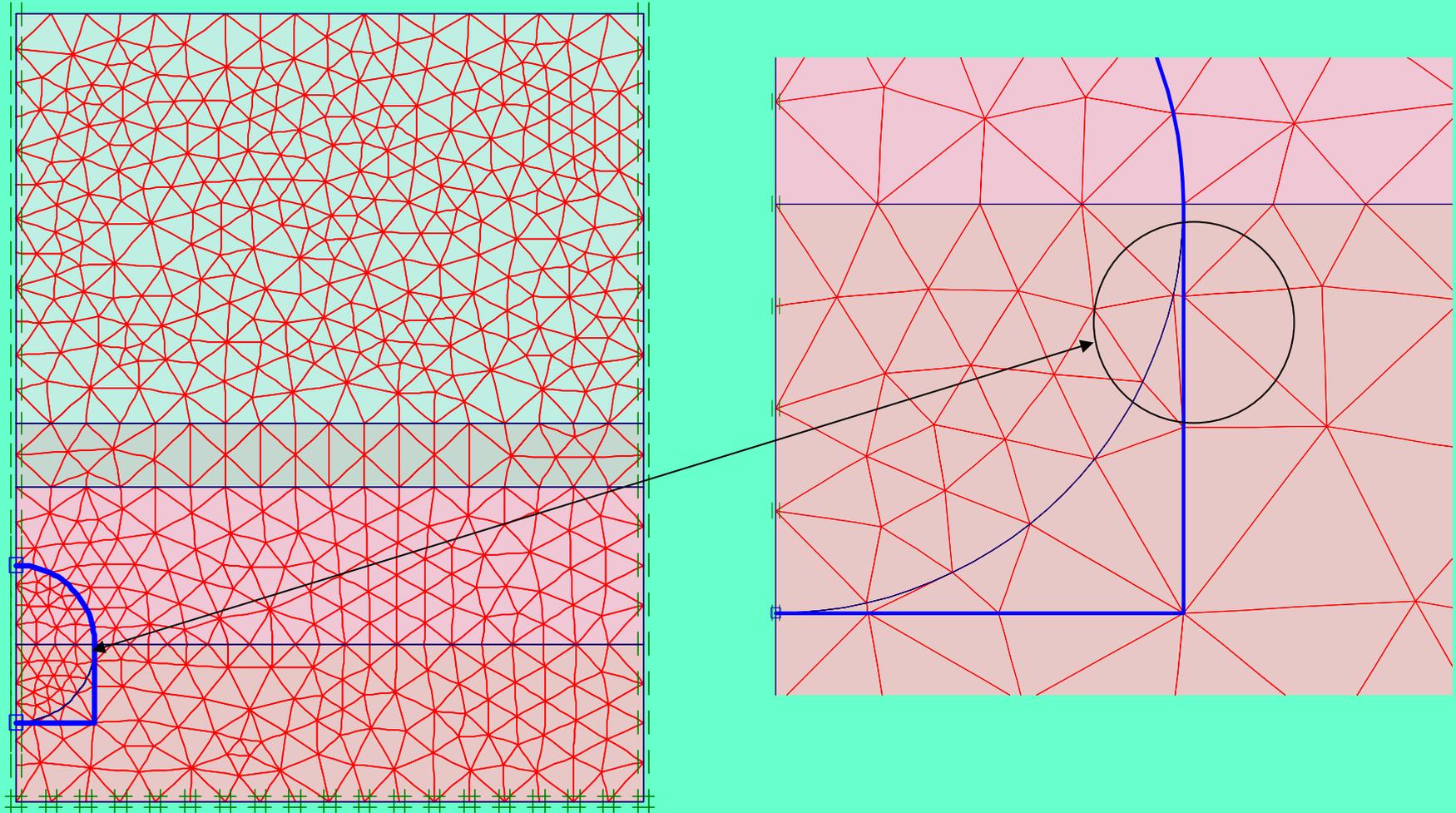
Effet d'une intégration réduite

# Limitation des modèles numériques Hypothèses et précautions d'usages



## Phénomène de 'locking'

# Limitation des modèles numériques Hypothèses et précautions d'usages



Formulation isoparamétrique des éléments très délicate !

### Conclusions...

- ↪ Nos outils ne reflètent qu'imparfaitement la réalité et ne restent que des outils, l'intuition, la compréhension et la validation des phénomènes doivent l'emporter...
- ↪ Adéquation des outils au problème à résoudre, attention aux subtilités numériques dont les conséquences peuvent être significatives sur la représentativité du modèle,
- ↪ On ne peut pas toujours simplifier un vrai problème 3D en un problème 2D, qu'on se le dise !
- ↪ Limite des modèles de loi de comportement et domaine d'application,

## Conclusions...suite et fin

- ↪ Prise en compte du phasage des travaux : un ouvrage stable en phase définitive ne l'est pas nécessairement en phase provisoire,
- ↪ Un jeu de paramètre ne signifie pas grand chose, il faut toujours procéder à une étude paramétrique plus ou moins conséquente suivant l'importance du problème,
- ↪ Toujours recouper les résultats par des approches simples.

Merci de votre attention...