

Chapitre Cinq

Stabilité sismique des pentes et talus

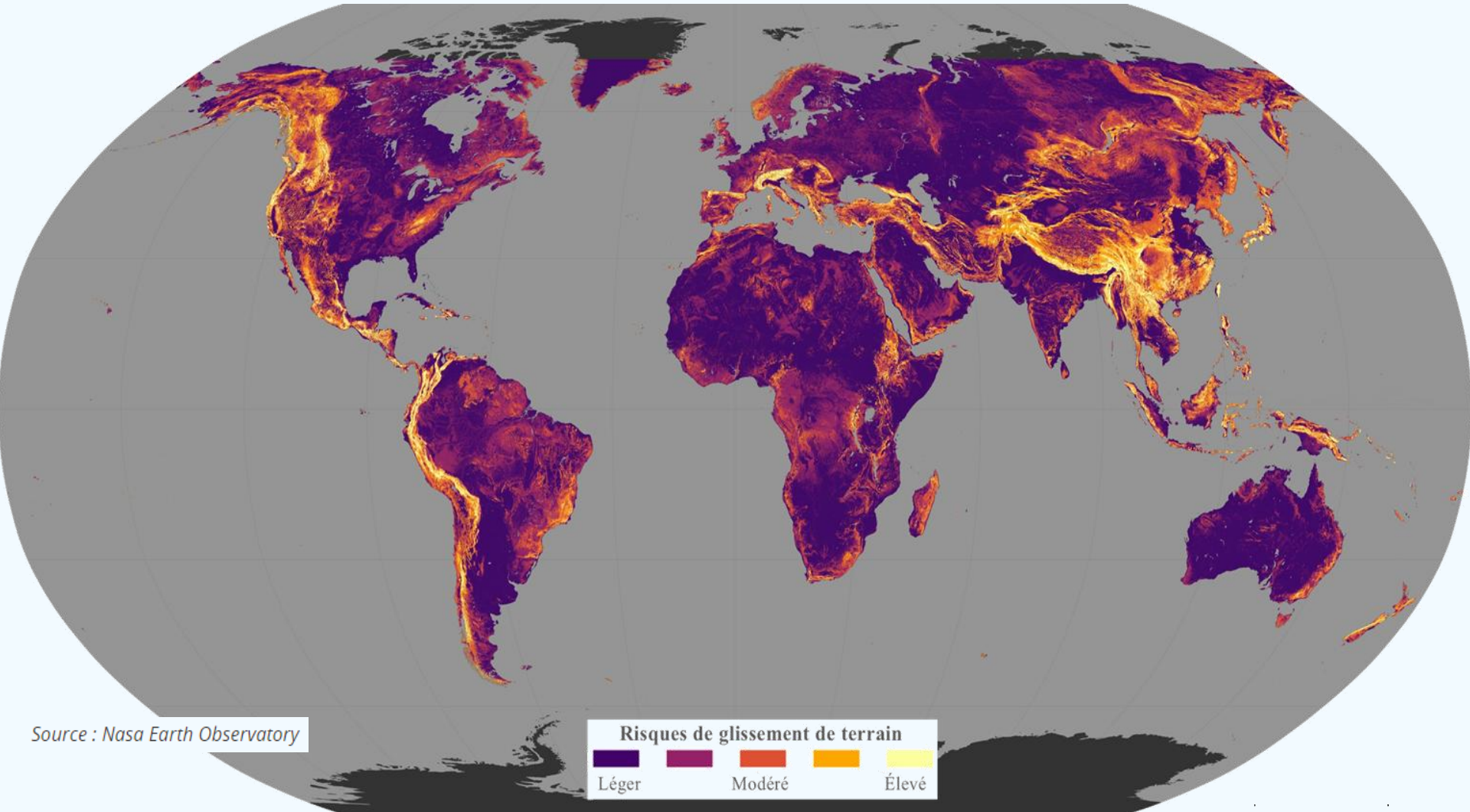
- ❑ **Introduction**
- ❑ **Stabilité sous conditions statiques**
 - ❖ Définition du coefficient de sécurité
 - ❖ Cas des glissements plans
 - ❖ Cas des glissements circulaires
 - ❖ Cas des glissements quelconques
 - ❖ Applications pratiques
- ❑ **Stabilité sous conditions sismiques**
 - ❖ Approches de calcul
 - ❖ Cas des glissements plans
 - ❖ Cas des glissements circulaires
 - ❖ Cas des glissements quelconques
 - ❖ Coefficients sismiques réglementaires
 - ❖ Applications pratiques
- ❑ **Techniques de confortement**



National Highway, Taiwan (2010)

INTRODUCTION

Risques de glissements de terrain dans le monde



Dynamique des ouvrages géotechniques

Chap. 5 : Stabilité sismique des pentes et talus

Rupture d'un pan de falaise
à Bir Mourad Rais, Alger
(17/11/2021)

Glissement de terrain à Oita
dans le sud du Japon
(11/04/2018)



Relation « Précipitations – Mouvements de terrain »

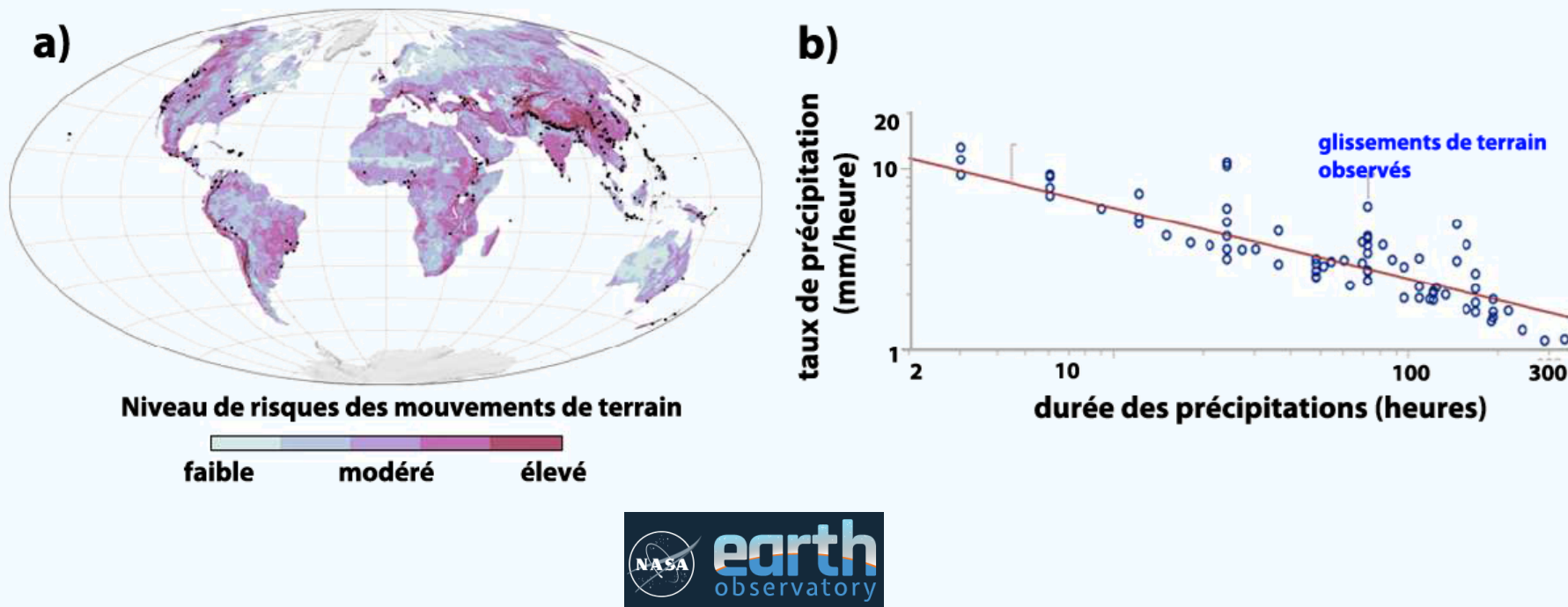
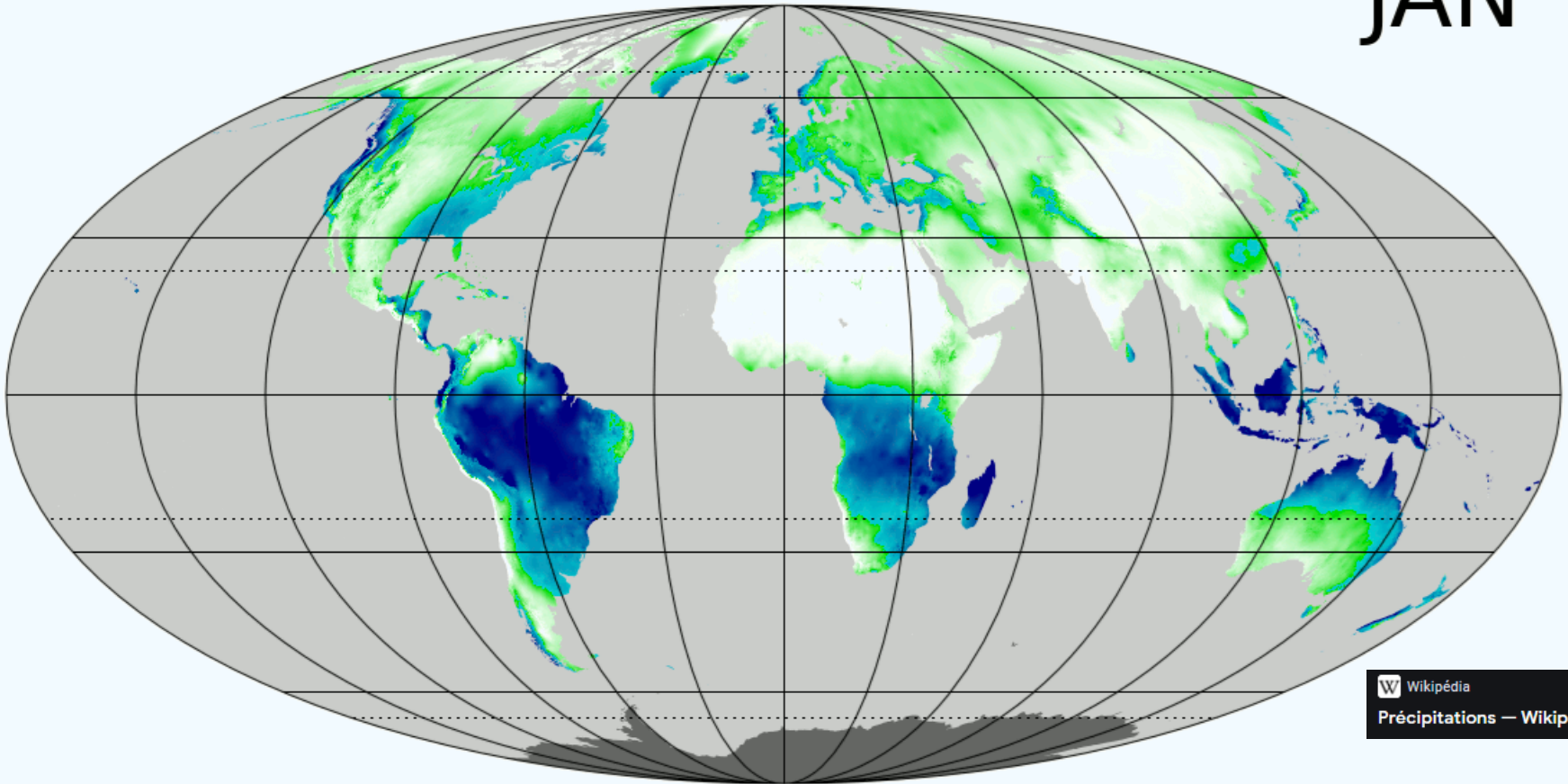


FIGURE 1 – a) Localisation des zones exposées à l'aléa des mouvements de terrain au niveau mondial (points noirs : recensement des zones de glissements de terrain entre 2003 et 2006). b) Lien entre l'occurrence des glissements de terrain et les précipitations (taux et durée). (<http://earthobservatory.nasa.gov>)



Pluviométrie mondiale mensuelle

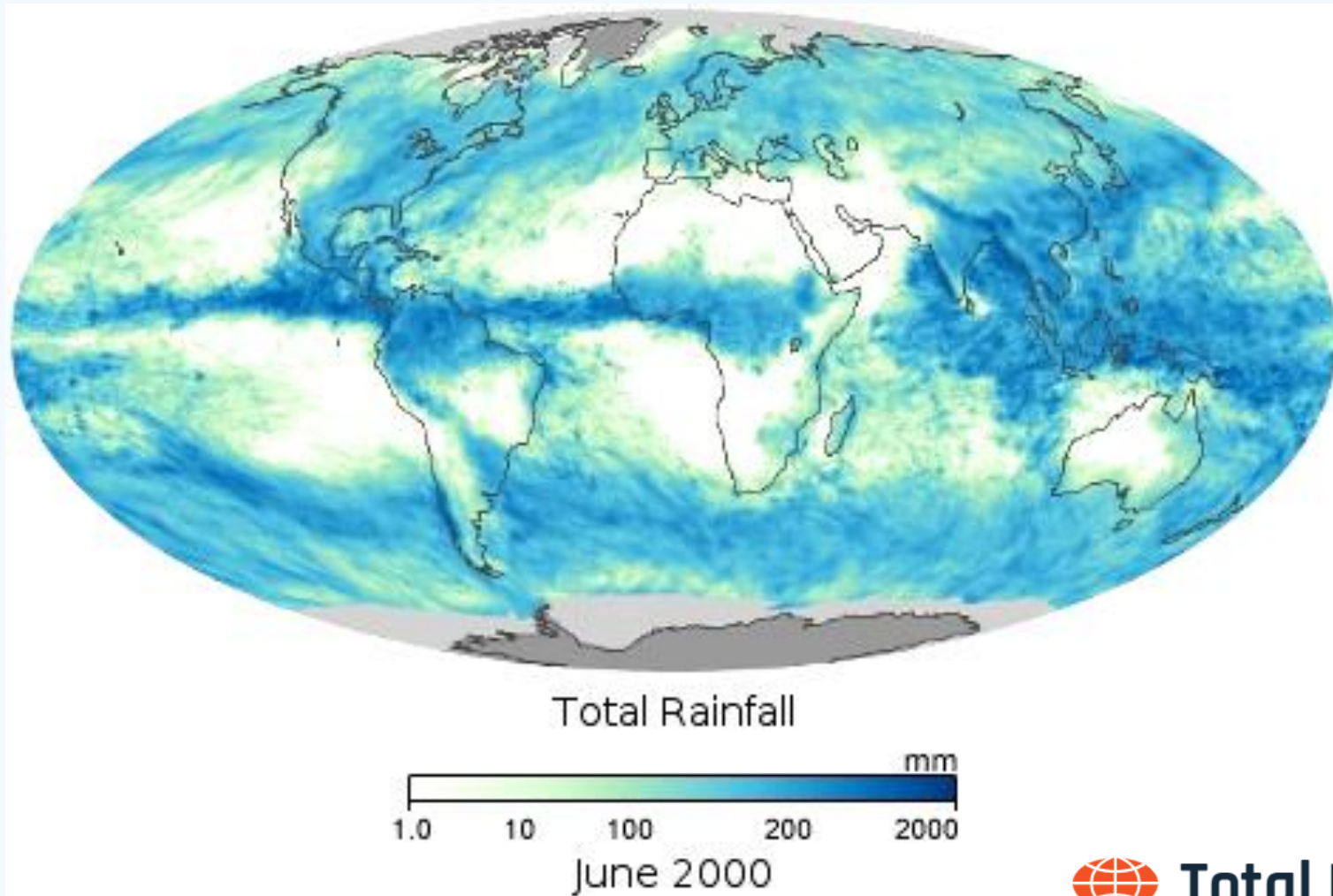
JAN



Wikipédia
Précipitations — Wikipédia

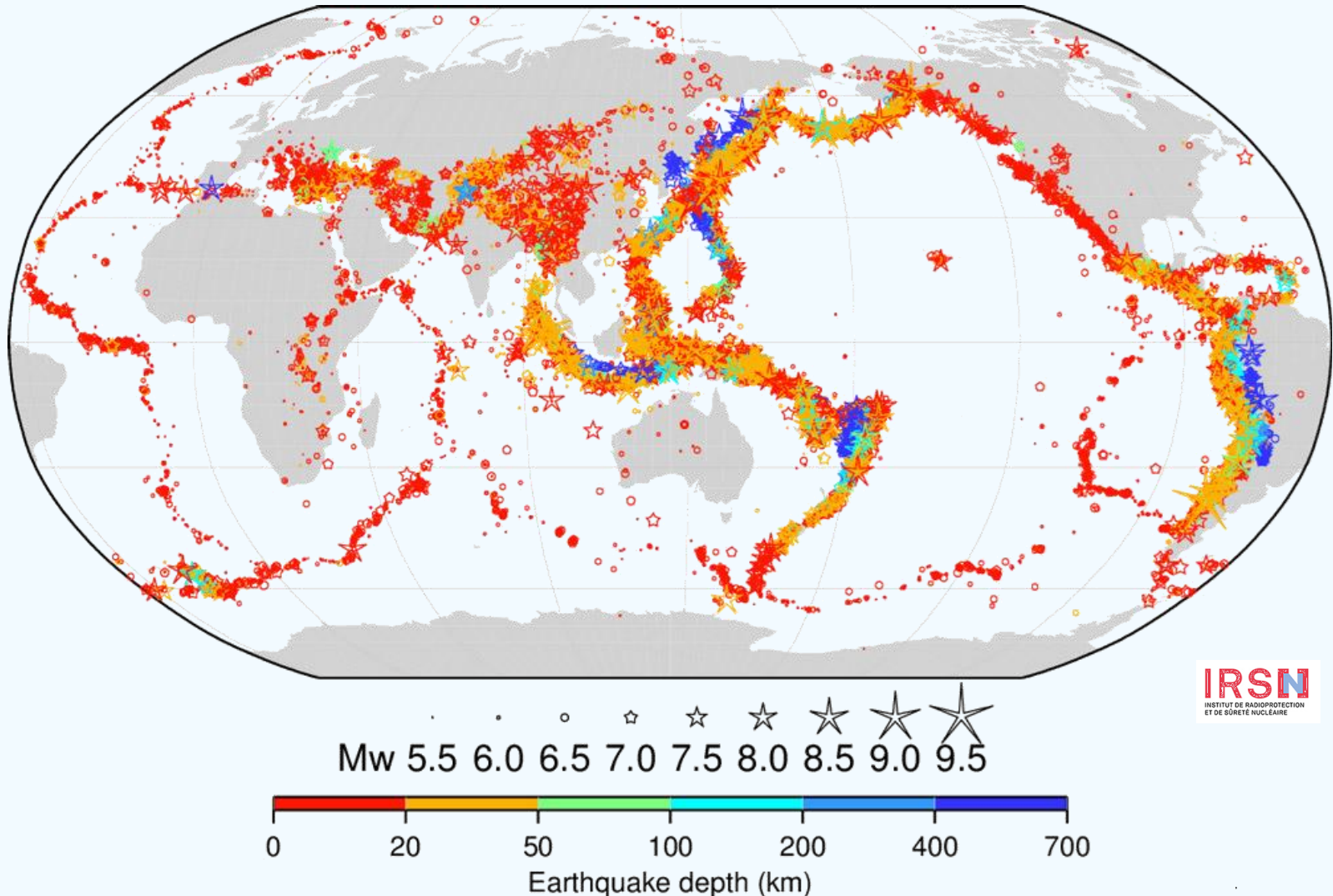


Pluviométrie mondiale mensuelle : 2000 - 2023



Total Rainfall

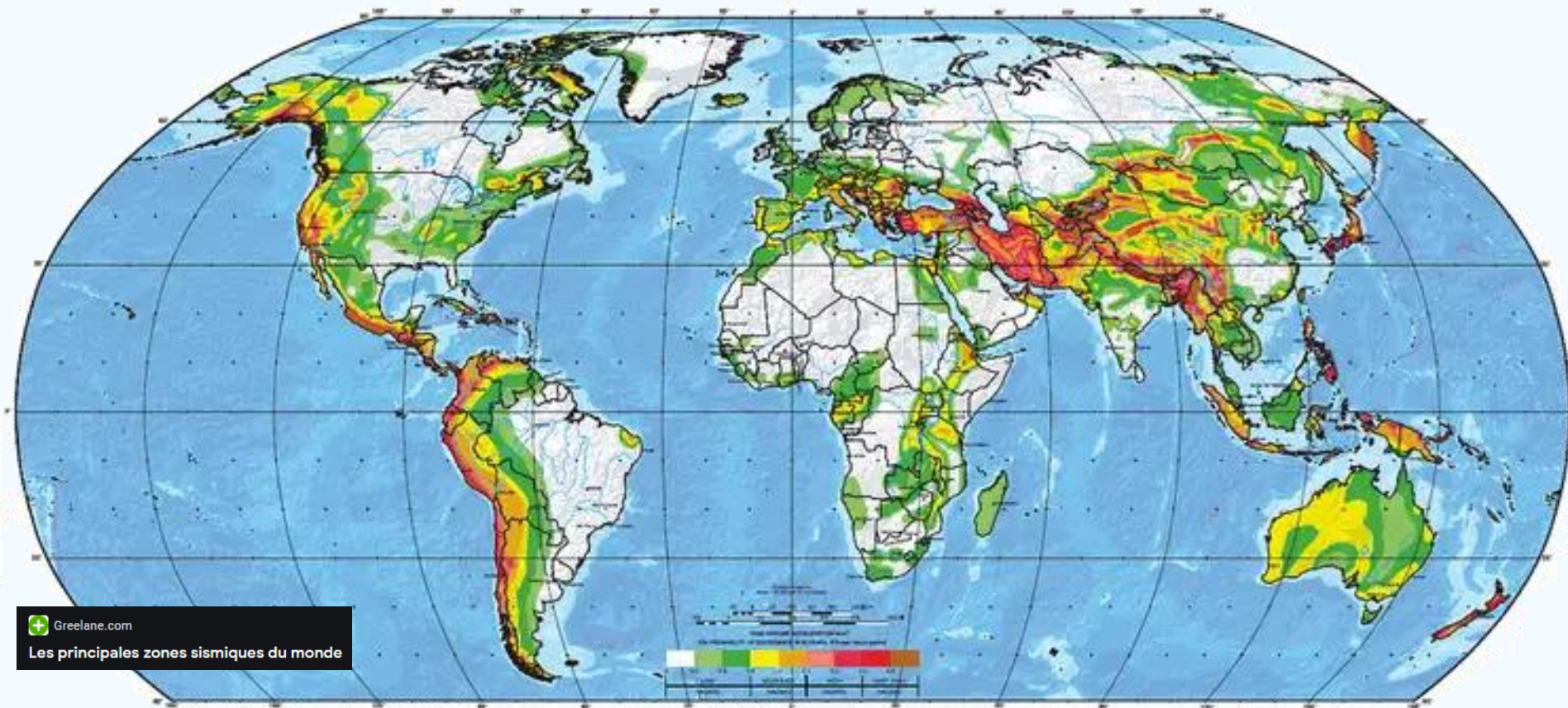
Sismicité terrestre



Principales zones sismiques dans le monde

GLOBAL SEISMIC HAZARD MAP

Produced by the Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP),
a demonstration project of the UN International Decade of Natural Disaster Reduction, conducted by the International Lithosphere Program.
Global map assembled by G. Giardini, G. Grünthal, K. Shedlock, and P. Zhang
1999



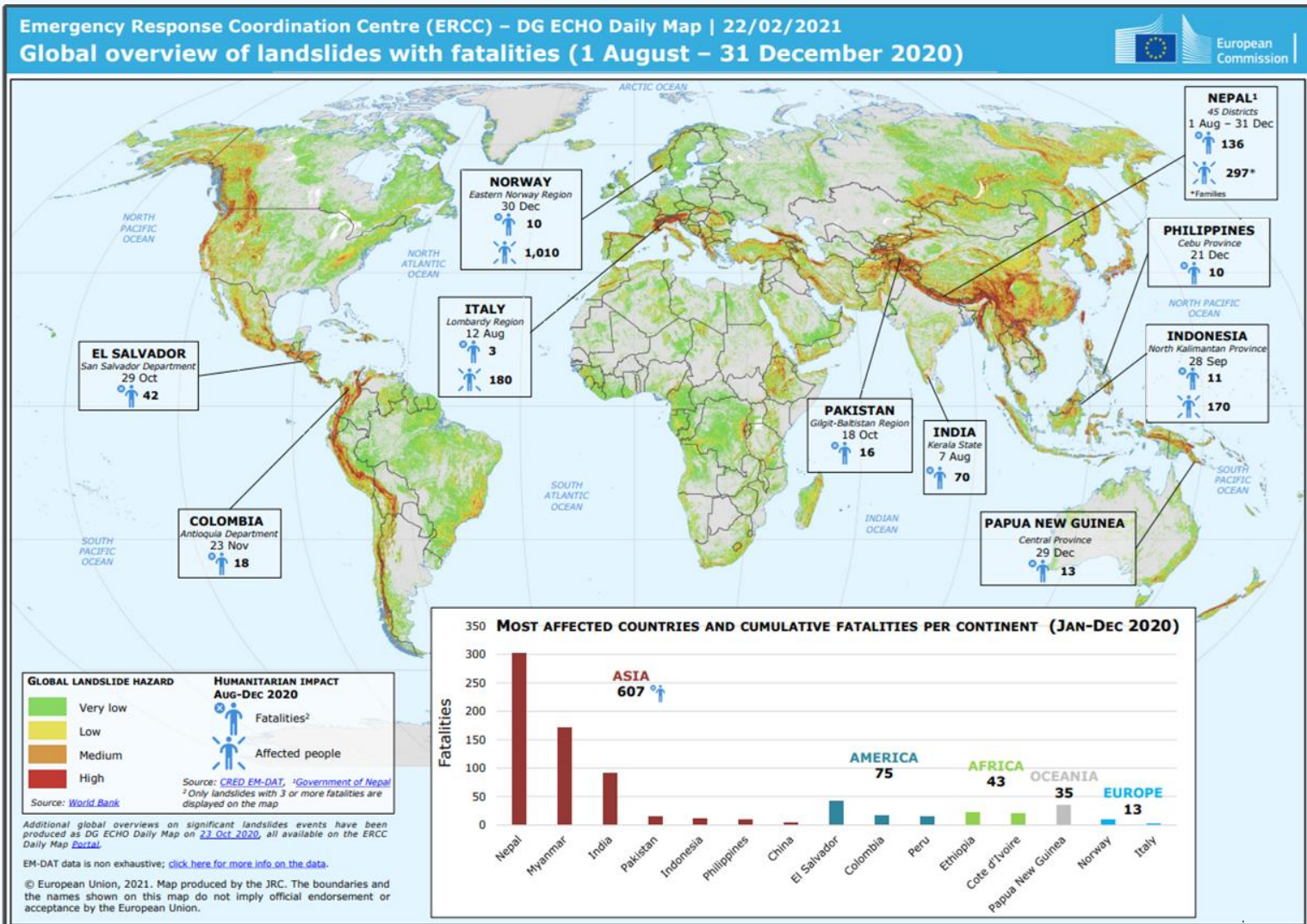
Principaux glissements de terrain mortels dans le monde



Dynamique des ouvrages géotechniques

Chap. 5 : Stabilité sismique des pentes et talus

Principaux glissements de terrain mortels dans le monde



□ Introduction

- **Massifs de sols en pente**
 - *Talus artificiels : talus routiers, remblais, digues en terre, ...*
 - *Versants (pentes naturelles)*
- **Causes d'instabilité (Facteurs générateurs)**
 - *Evènement naturel : forte pluie, érosion, séisme, etc.*
 - *Action de l'homme : terrassements, constructions, déforestation, etc.*
- **Echelles géométrique et cinématique**
 - *Volumes : de quelques dm^3 (chutes de pierres) à plusieurs millions de m^3 (coulées)*
 - *Vitesses : de très lentes (quelques mm/an pour le fluage) à très rapides (plusieurs dizaines de m/s pour les éboulements)*
- **Conséquences**
 - *Dommages importants aux ouvrages (Bâtiments, Ponts, Routes, ...)*
 - *Impact économique sensible (réparation des dégâts)*
 - *Parfois meurtriers (victimes humaines)*
- **Disciplines**
 - *Géologie appliquée + Mécanique des sols*

□ Classification des mouvements de terrain

- **Critères de classification**

- *Nature du massif : sol, roche*
- *Cinématique du mouvement : translation, rotation, mouvement complexe*
- *Vitesse du mouvement : lente, rapide*
- *Type de surface de rupture : plane, circulaire, cycloïde, forme complexe*
- *Cause de la rupture : travaux, intempéries, séisme, ...*
- *etc.*

- **Familles retenues**

- *Eboulements (écroulements de pierres et chutes de blocs) : ils sont spectaculaires et dangereux, mais fort heureusement rares (Ex. effondrement d'un pan de falaise)*
- *Coulées (coulées boueuses ou de débris et laves torrentielles) : elles sont dues aux écoulements d'eau importants transportant des matériaux solides (Ex. torrents)*
- *Mouvements sans surface de rupture (fluage et solifluxion) : ils affectent les versants naturels et se produisent lentement sans modification des efforts appliqués (état ultime : stabilisation ou rupture)*
- *Mouvements avec surface de rupture (glissements de terrain) : ils affectent les sols et sont fréquents à l'échelle du chantier*

□ Typologie des glissements de terrain

- **Morphologie (Eléments descriptifs)**

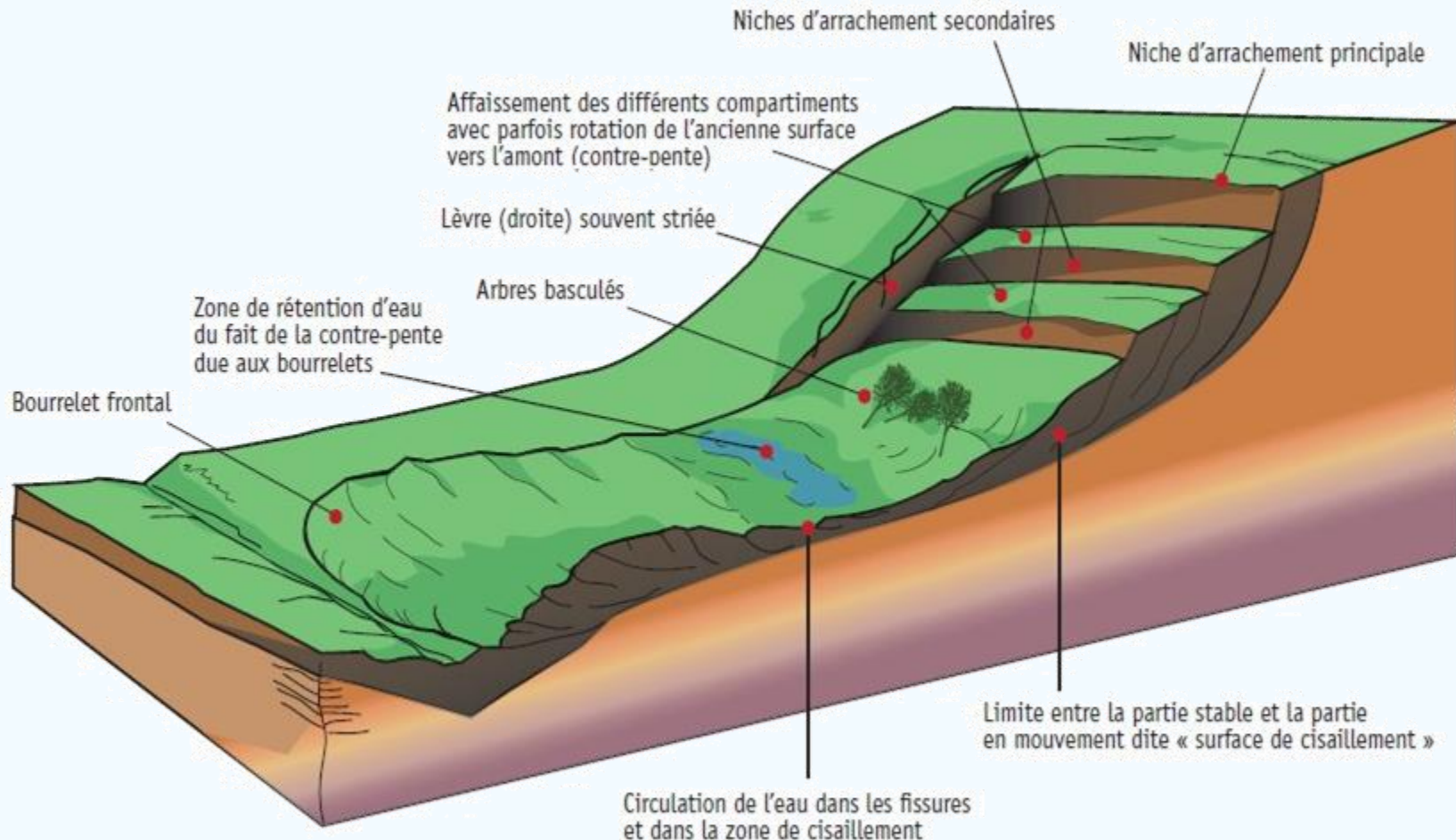


Schéma en coupe d'un glissement de terrain © A. Fric

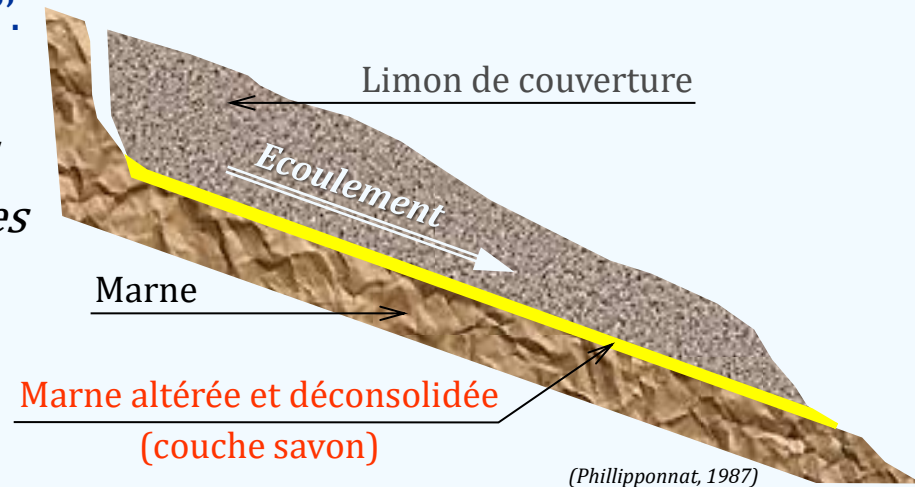
□ Typologie des glissements de terrain

- **Types de glissements de terrain**

- **Glissements plans**

Ils se produisent le long d'une couche de sol mince de mauvaises caractéristiques mécaniques, appelée "couche savon".

Schéma type de glissement plan sur une couche de sol de caractéristiques médiocres (couche savon)



Facteurs déclenchants :

- Travaux d'importance mineure par suppression de butée de pied
- Erosion de pied (affouillements d'un cours d'eau)
- Mouvements de la nappe phréatique
- Séismes

□ Typologie des glissements de terrain

- **Types de glissements de terrain**

- **Glissements rotationnels**

Basculement de la masse glissée le long d'une surface courbe plus ou moins circulaire. On distingue :

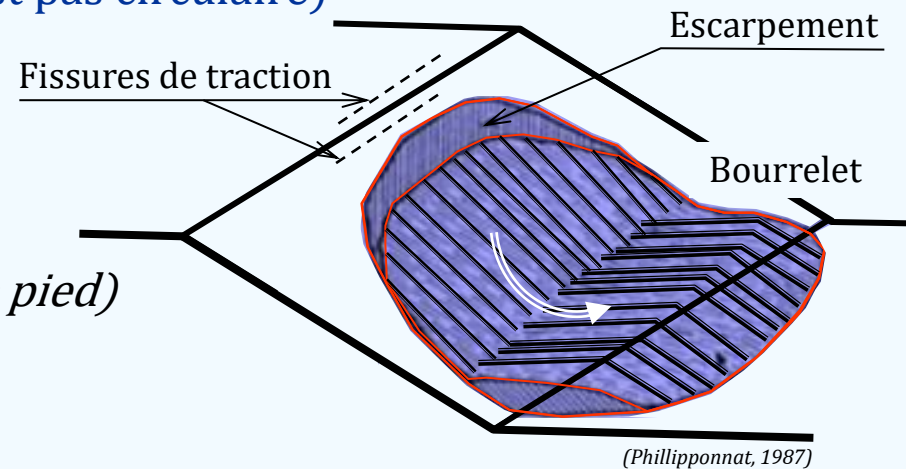
- Les glissements rotationnels simples (superficiels ou profonds)
- Les glissements rotationnels complexes (glissements successifs emboîtés dans lesquels la surface de rupture n'est pas circulaire)

Schéma type de glissement rotationnel simple

(Signes particuliers : fissures de traction, escarpement, bourrelet de pied)

Causes :

- *Anisotropie mécanique*
- *Anisotropie de structure (sols naturels ou d'apport)*
- *Caractéristiques mécaniques variant en profondeur*



□ Typologie des glissements de terrain

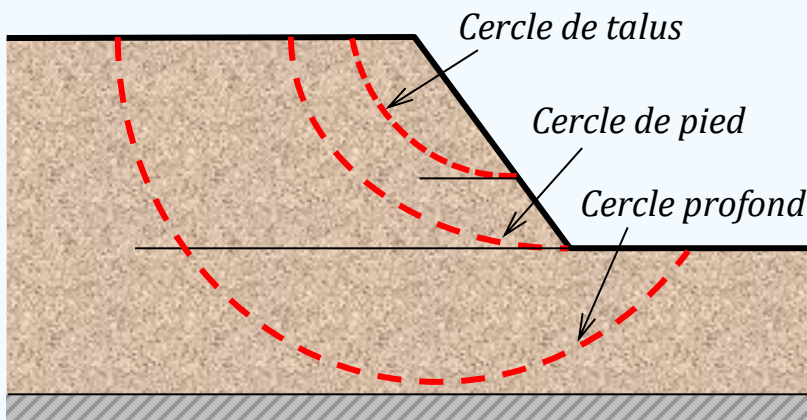
- **Types de glissements de terrain**

- **Autres glissements de terrain**

- Glissements en escaliers (ensembles de glissements courbes peu profonds créant une topographie en escaliers)
 - Glissements par suppression de la butée et effondrement d'un coin de terrain

- **Cas des talus artificiels**

- Talus en déblai sur sols raides (rupture circulaire)
 - Remblais sur sols compressibles (rupture circulaire)



Déblai



Remblai

❑ Exemples de glissements de terrain spectaculaires



(b) La Clapière, le plus grand glissement de terrain d'Europe (1100 m de long 750 m de haut, 50 millions m³), image [4]



 Encyclopédie de l'environnement

La Clapière : le plus grand glissement de terrain français est-il encore un risque majeur ? - Encyclopédie de l'environnement

❑ Exemples de glissements de terrain spectaculaires

2016-11-24 - Glissement de terrain sur la route de Cecil Lake dans le district de Peace River, Alberta. (Source : R. Couture/La commission géologique du Canada.)



❑ Exemples de glissements de terrain spectaculaires



❑ Exemples de glissements de terrain spectaculaires

[EUROPE1.FR](https://www.europe1.fr) avec AFP • 06h06, le 06 septembre 2018, modifié à 08h28, le 06 septembre 2018

Au lendemain du séisme qui a frappé l'île d'Hokkaido, les autorités ont fait état d'au moins neuf morts, 167 blessés et une quarantaine de disparus.

Un [puissant séisme de magnitude 6,6 a frappé jeudi Hokkaido](#), la plus septentrionale des îles principales du [Japon](#), causant des glissements de terrain et une coupure de courant géante. Au moins neuf personnes ont péri et une trentaine sont portées disparues.



❑ Exemples de glissements de terrain spectaculaires



❑ Exemples de glissements de terrain spectaculaires



هذه هي الإجراءات المؤقتة على مستوى محطة بئر مراد رايس

مجتمع 17 نوفمبر 2021 (منذ ساعة واحدة) خ.د.



❑ Exemples de glissements de terrain spectaculaires

الحرية

هذه هي الإجراءات المؤقتة على مستوى محطة بئر مراد رابيس

17 نوفمبر 2021 32 زيارة المجتمع

كشفت مصالح المقاطعة الإدارية لبئر مراد رابيس، اليوم الأربعاء، عن اتخاذ إجراءات مؤقتة، إثر تساقط كميات معتبرة من الأمطار والتي نجم عنها سقوط الأتربة والأحجار على مستوى محطة نقل المسافرين ببلدية بئر مراد رابيس.

وأوضحت ذات المصالح، أنه حفاظا على سلامة المواطنين ومرتادي المحطة وممتلكاتهم وكذا مستعملي الطريق الموازي للمحطة، تم اتخاذ عدة إجراءات مؤقتة إلى حين إصلاح الوضع، حيث تم تحويل مكان ركن

الحافلات إلى الطريق المعادي للمحطة مع منع باقي المركبات من استعماله، وكذا تحويل الطريق الموازي المؤدي إلى نهج محمدي إلى طريق مزدوج. كما تم وضع إشارات لتوجيه مستعملي الطريق، مع وجود مصالح الأمن لإرشادهم.



Pinterest

LinkedIn

Stumbleupon

+ Google

Twitter

Facebook

شاركها

❑ Exemples de glissements de terrain spectaculaires



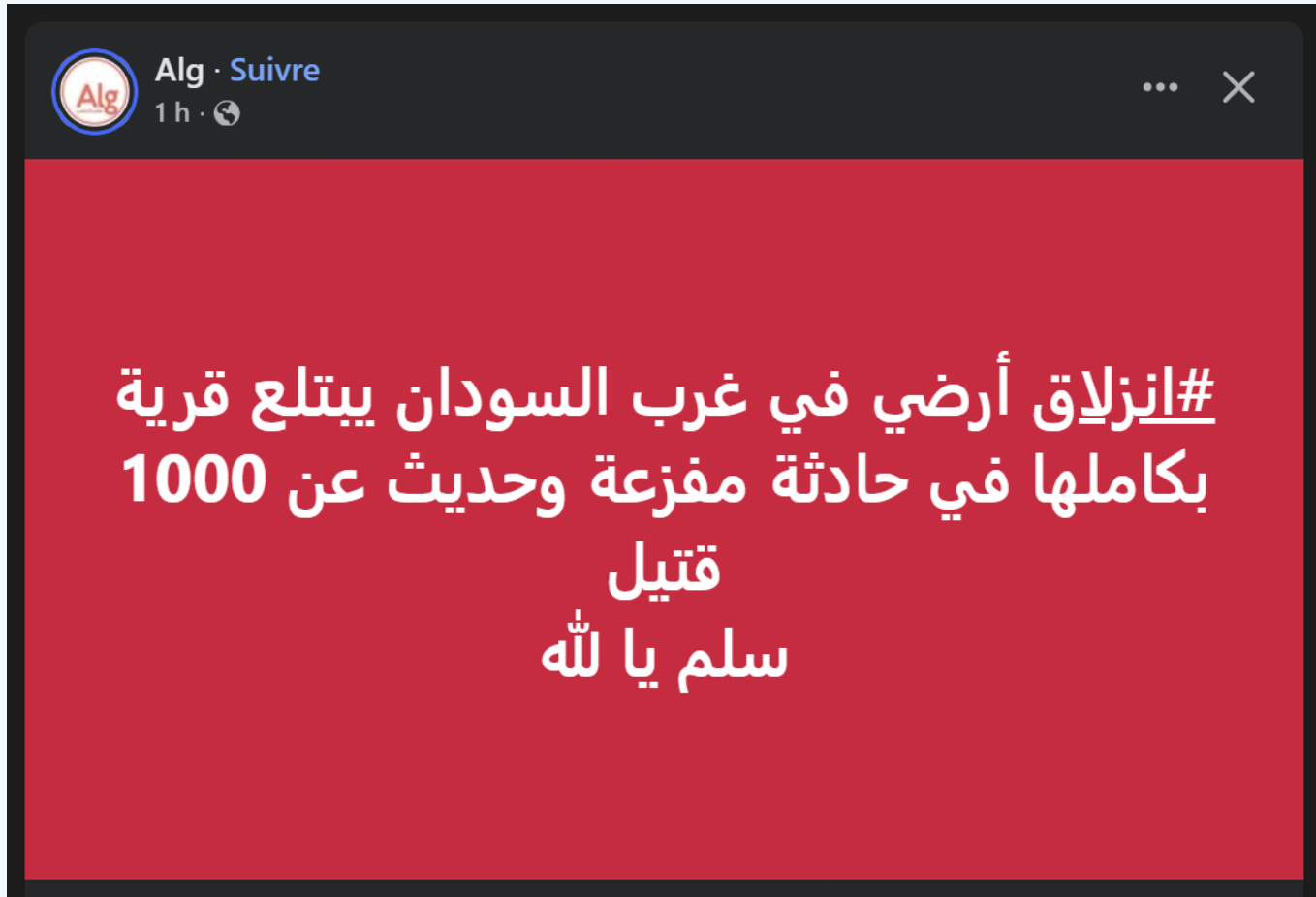
Glissement de terrain d'Ain Turck, Oran (10/06/2025)

❑ Exemples de glissements de terrain spectaculaires



Glissement de terrain d'Ain Turck, Oran (10/06/2025)

❑ Exemples de glissements de terrain spectaculaires



Glissement de terrain dans la région du Djebel Marra au Soudan (01/09/2025)

❑ Exemples de glissements de terrain spectaculaires

Le Monde **Afrique** • SOUDAN

Glissement de terrain au Soudan : 370 corps ensevelis retrouvés, les recherches se poursuivent

La catastrophe, survenue dimanche après des pluies torrentielles, a fait des centaines de morts dans le village de Tarasin, dans une vallée difficilement accessible du massif montagneux du djebel Marra.

Le Monde avec AFP

Publié le 04 septembre 2025 à 10h13, modifié le 04 septembre 2025 à 22h20 • 🕒 Lecture 1 min.



Des personnes inspectent les décombres après qu'un glissement de terrain a dévasté le village de Tarasin, dans la région du djebel Marra, au Soudan, le 1^{er} septembre 2025. AFP

Glissement de terrain dans la région du Djebel Marra au Soudan (01/09/2025)

❑ Exemples de glissements de terrain spectaculaires

Le Monde **Afrique** • SOUDAN

Glissement
ensevelis
poursuiv

La catastrophe, surv
de Tarasin, dans une

Le Monde avec AFP

Publié le 04 septembre 2025

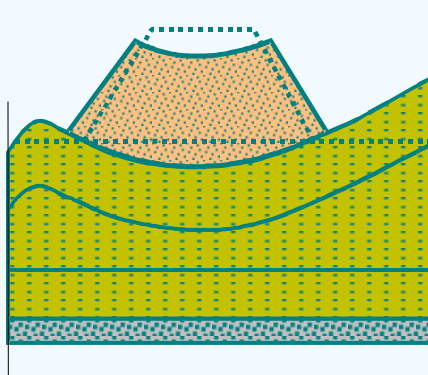


Des personnes inspectent les décombres après qu'un glissement de terrain a dévasté le village de Tarasin, dans la région du djebel Marra, au Soudan, le 1^{er} septembre 2025. AFP

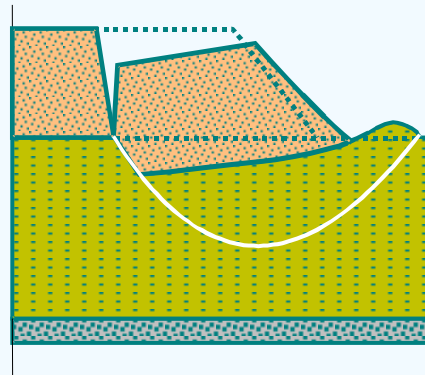
Glissement de terrain dans la région du Djebel Marra au Soudan (01/09/2025)

❑ Mécanismes de rupture des pentes et talus

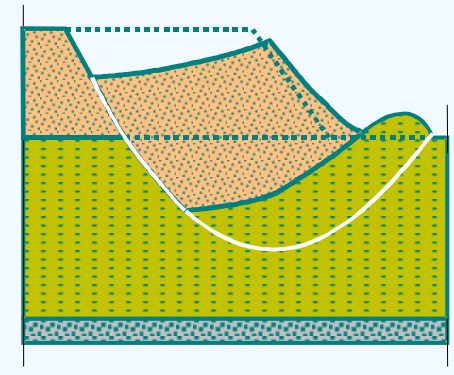
- **Rupture par cisaillement**
 - **Ouvrages** : remblais, excavations et pentes naturelles
 - **Surface de rupture** : plane, sphérique, spirale logarithmique, etc.
 - **Calculs pratiques** : glissements plans, rotationnels ou complexes
- **Rupture par plastification et écoulement des sols**
 - **Remblais sur sols compressibles** : effet de poinçonnement
 - **Versants naturels** : phénomène de fluage et coulées boueuses
- **Exemple : Modes de rupture des remblais sur sols compressibles**



Poinçonnement



Glissement avec fissuration



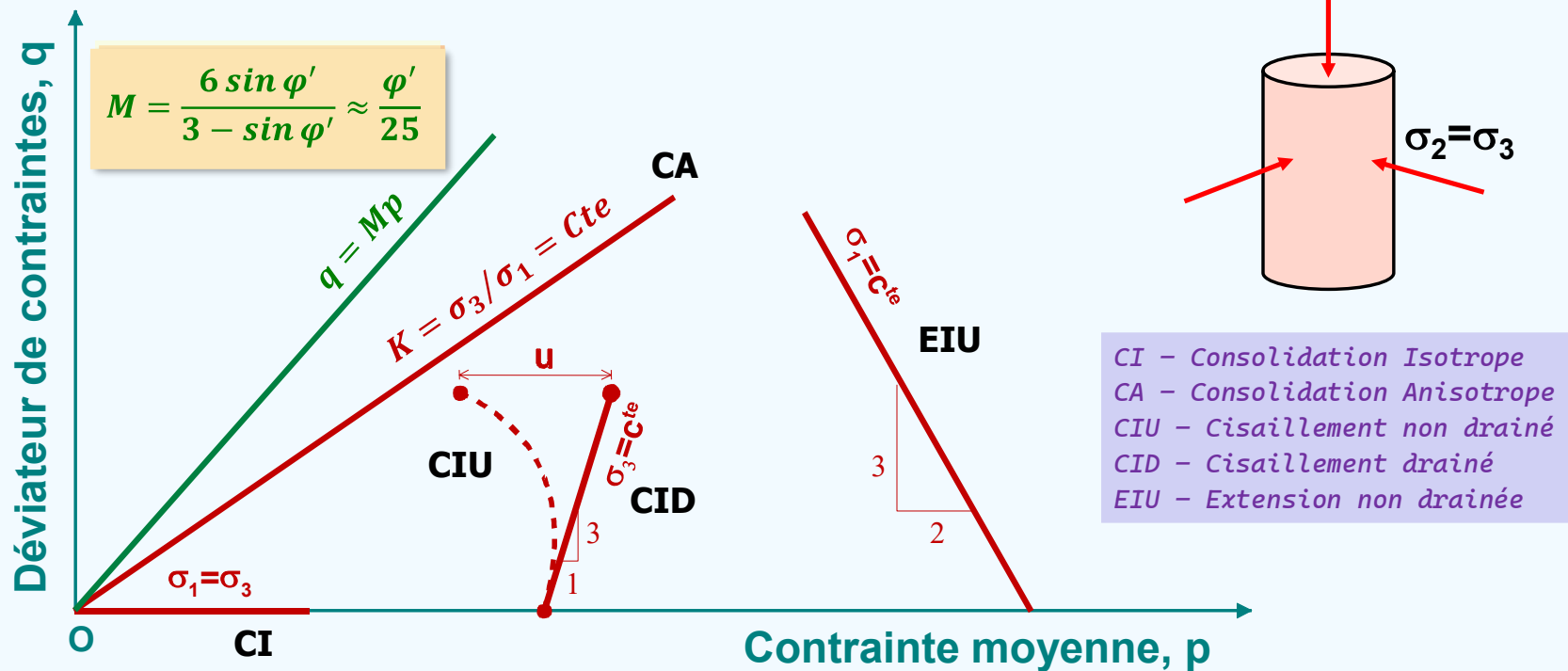
Glissement sans fissuration

❑ Causes de rupture des pentes et talus

- **Modification de l'état des sollicitations**
 - **Surcharges**
 - **Suppression de la butée de pied**
 - **Déboisement**
 - **Séismes et autres sources de vibration**
 - **etc.**
- **Modification des propriétés mécaniques du terrain**
 - **Perte de résistance par remaniement des sols**
 - **Fissuration des massifs de sols**
 - **Phénomène de retrait-gonflement des sols**
 - **etc.**
- **Modification du régime hydraulique du site**
 - **Apparition d'un écoulement : eaux pluviales ou de ruissellement**
 - **Fonte de neige**
 - **etc.**

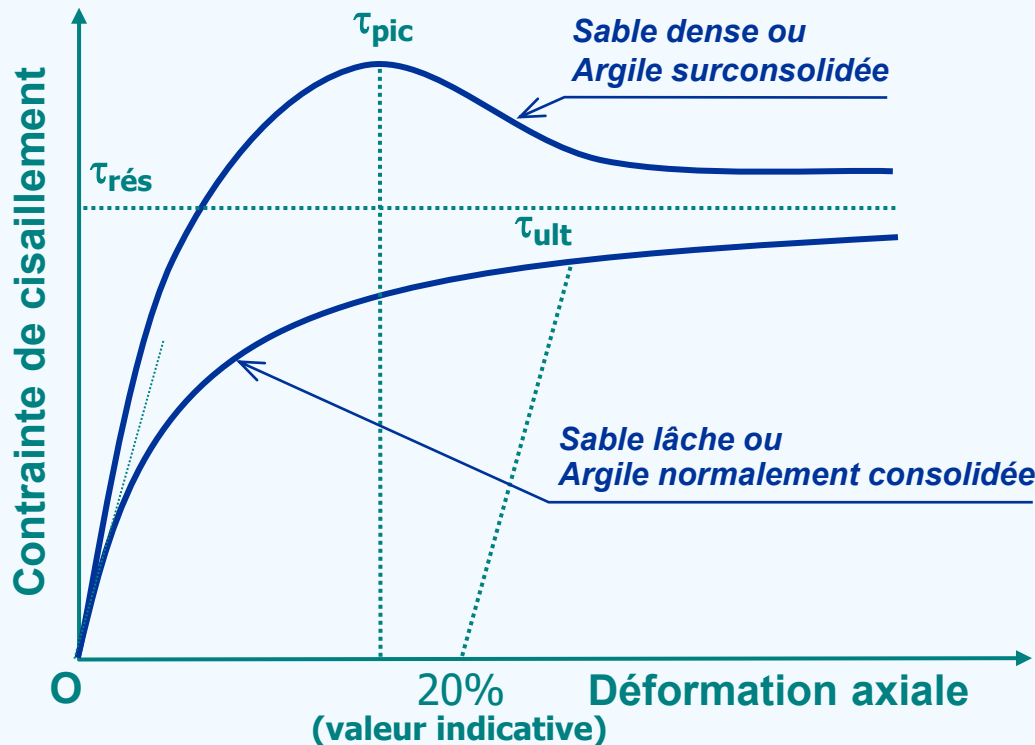
□ Paramètres de résistance au cisaillement des sols

- **Paramètres de cisaillement drainés et non drainés**
 - Paramètres drainés (c' et φ') : comportement à long terme (LT)
 - Paramètres non drainés (c_u et φ_u) : comportement à court terme (CT)
- **Chemins de contraintes suivis au cours du cisaillement**

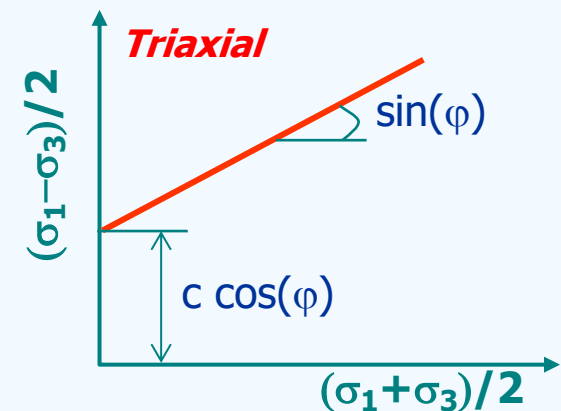
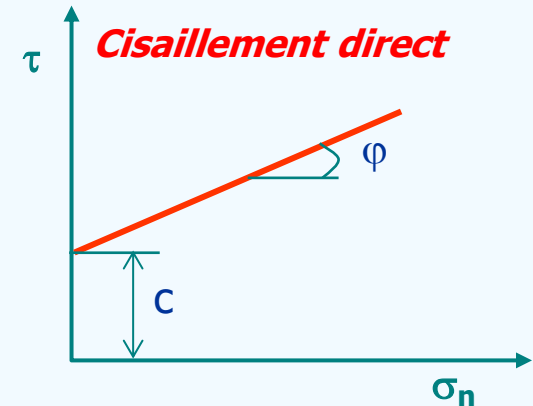


□ Paramètres de résistance au cisaillement des sols

- **Résistance au cisaillement des sols**



Résistance au cisaillement critique



□ Paramètres de résistance au cisaillement des sols

• Valeurs indicatives des paramètres de cisaillement de quelques sols

Type de sol	γ (kN/m ³)	c'_{pic} (kPa)	ϕ'_{pic} (°)	c'_{res} (kPa)	ϕ'_{res} (°)	c_u (kPa)
Vase organique	13 à 15	0 à 10	25 à 32	0	25 à 30	14 à 18
Argile molle	15 à 19	0 à 10	28 à 34	0 à 5	10 à 15	< 25
Argile raide	18 à 20	10 à 40	15 à 25	0 à 5	6 à 15	80 à 200
Limon	17 à 19	0 à 40	25 à 35	0	20 à 30	40 à 50
Sable	16 à 21	0	30 à 45 (*)	0	25 à 35	
Sables et graviers	16 à 22	0	35 à 48 (*)	0	30 à 35	

γ poids volumique, c' cohésion effective, ϕ' angle de frottement effectif, c_u cohésion non drainée

(*) Valeurs correspondant à un niveau dans un état dense

(Durville et Sève, 1996)

Long terme

Court terme

Glissement récent

Glissement réactif

❑ Méthodes et outils de calcul de stabilité des pentes

- **Méthodes de calcul**

L'analyse de la stabilité des pentes s'effectue habituellement à la rupture. Cette approche donne par l'intermédiaire du coefficient de sécurité une idée de l'état d'équilibre de la pente étudiée par rapport à l'équilibre limite. L'expression du coefficient de sécurité est différente selon qu'il s'agit d'une rupture plane, circulaire ou quelconque. Ainsi :

- ***Cas des configurations simples*** : pour lesquelles l'utilisation des méthodes de calcul en équilibre limite basé sur la méthode des tranches est suffisante.
- ***Cas des configurations complexes*** : pour lesquelles le recours à des méthodes numériques sophistiquées, telle que la méthode des éléments finis ou la méthode des différences finies, s'avère indispensable.

Dans tous les cas, les calculs de stabilité des talus s'effectuent en contraintes totales à court terme et en contraintes effectives à long terme. Le degré de précision des calculs dépendra toutefois de la qualité de détermination des paramètres de cisaillement, mais aussi des moyens de calculs mis en œuvre.

❑ Méthodes et outils de calcul de stabilité des pentes

• **Outils de calcul**

Selon l'approche de calcul retenue, divers outils de calcul peuvent être utilisés :

- **Calculs en équilibre limite (Fellenius, Bishop, Perturbations) :** effectués par la méthode des tranches pour les surfaces de ruptures rotationnelles à l'aide de logiciels spécialisés (TALREN, SLIDE, GEOSLOPE, ...).
- **Calculs en plasticité :** effectués par la méthode de réduction des paramètres de cisaillement à l'aide de logiciels basés sur la méthode des éléments finis (PLAXIS, OPTUM, ...) ou sur la méthode des différences finies (FLAC, ...).
- **Calculs à la rupture ou par analyse limite :** effectués par l'approche statique par l'intérieur ou par l'approche cinématique par l'extérieur à l'aide de logiciels tels que TALREN, OPTUM et LimitState:Geo.

Les résultats des calculs sont interprétés en termes de **facteurs de sécurité** du talus étudié vis-à-vis du glissement réel ou supposé.



STABILITÉ SOUS CONDITIONS STATIQUES

□ Stabilité sous conditions statiques

L'étude de stabilité consiste à rechercher la surface de rupture la plus favorable au glissement, c'est-à-dire celle dont le coefficient de sécurité est le plus faible.

• Définition du coefficient de sécurité

Il existe plusieurs définitions du coefficient de sécurité :

■ Cas des glissements plans

$$F = \frac{T}{W_t}$$

tels que : T – force résistante

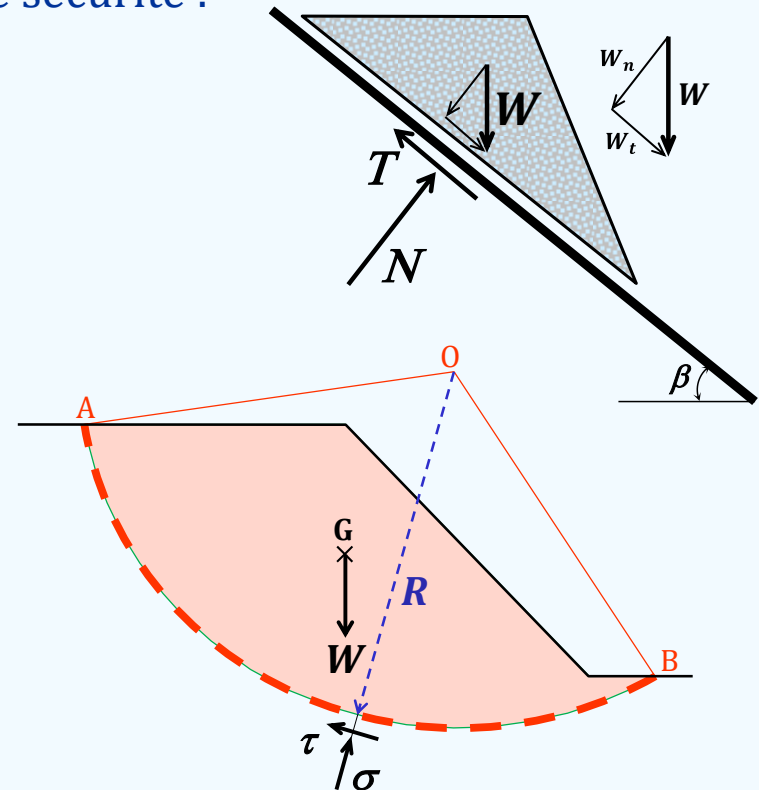
$W_t = W \sin \beta$ – force motrice

■ Cas des glissements circulaires

$$F = \frac{\mathcal{M}_r}{\mathcal{M}_m}$$

tels que : $\mathcal{M}_r$ – moment résistant

$\mathcal{M}_m$ – moment moteur



□ Stabilité sous conditions statiques

■ *Cas des glissements quelconques*

$$F = \frac{\tau_{max}}{\tau}$$

telles que : τ_{max} – résistance au cisaillement

τ – contrainte de cisaillement réelle (appliquée)

Dans les calculs courants, on utilise surtout cette dernière forme dans laquelle le coefficient de sécurité est défini à partir des caractéristiques de cisaillement du sol constituant le massif en mouvement telle que :

$$\tau_{max} = c + \sigma_n \tan \varphi \quad (\text{Loi de Coulomb}) \quad \Rightarrow \quad F = \frac{c + \sigma_n \tan \varphi}{\tau}$$

$$\Rightarrow \quad \tau = \frac{c}{F} + \frac{\sigma_n \tan \varphi}{F}$$

$$\text{où } \tau_{max} = \begin{cases} c_u - \text{sols fins (Calculs à court terme)} \\ c' + \sigma'_n \tan \varphi' - \text{cas général (Calculs à long terme)} \end{cases}$$

telle que $\sigma'_n = \sigma_n - u$ (*Principe des contraintes effectives de Terzaghi*)

□ Stabilité sous conditions statiques

- *Autre définition (Logiciels : PLAXIS, OPTUM, ...)*

$$F = \frac{c}{c_{red}} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_{red}} \quad (\text{Phi-c Reduction Method or Strength Reduction Method})$$

⇒ Le problème revient à étudier l'équilibre limite d'un massif de sol en pente dont les caractéristiques de cisaillement seraient (paramètres réduits) :

$$c_{red} = c/F$$

$$\tan \varphi_{red} = \tan \varphi / F$$

Nota : On peut adopter des coefficients de sécurité différents pour c et φ , c'est-à-dire : c/F_1 et $\tan \varphi/F_2$.

- *Critère de stabilité*

$F > 1 \Rightarrow$ il n'y a pas de glissement

$F < 1 \Rightarrow$ il y a glissement

$F = 1 \Rightarrow$ le talus est en équilibre limite (Etat d'équilibre critique)

Valeurs pratiques : On cherche des valeurs de F de l'ordre de 1.2 à 1.5
(Valeur couramment admise : $F = 1.5$)

□ Stabilité sous conditions statiques

• Cas des glissements plans

■ Expression générale

$$F = \frac{2}{\sin 2\beta} \frac{c}{\gamma \cdot h} + \left(1 - \frac{\gamma_w \cdot h_w}{\gamma \cdot h} \right) \frac{\tan \varphi}{\tan \beta}$$

■ Expressions particulières

➤ Sol purement frottant (ex. Sable : $c = c' = 0$ et $\varphi = \varphi'$) :

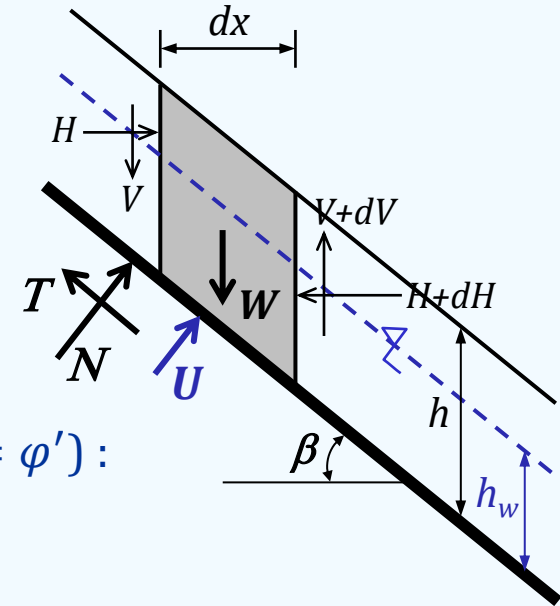
- En l'absence d'eau : $F = \frac{\tan \varphi'}{\tan \beta}$

- Lorsque la nappe affleure en surface ($h_w = h$) : $F = \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma} \right) \frac{\tan \varphi'}{\tan \beta}$

- Sachant que $\gamma' \cong 20 \text{ kN/m}^3$ (Sol courant) $\Rightarrow F_{sec} \approx 2F_{humide}$

➤ Sol purement cohérent (ex. Argile saturée : $c = c_u$ et $\varphi = \varphi_u = 0$) :

$$F = \frac{2}{\sin 2\beta} N \quad | \quad N = \frac{c_u}{\gamma \cdot h} \quad (\text{Facteur de stabilité})$$



□ Stabilité sous conditions statiques

● Cas des glissements circulaires

■ Méthode globale

Sauf cas particuliers, cette méthode est peu utilisée en raison de la difficulté qui réside dans la détermination exacte de la position des points d'application des résultantes des forces.

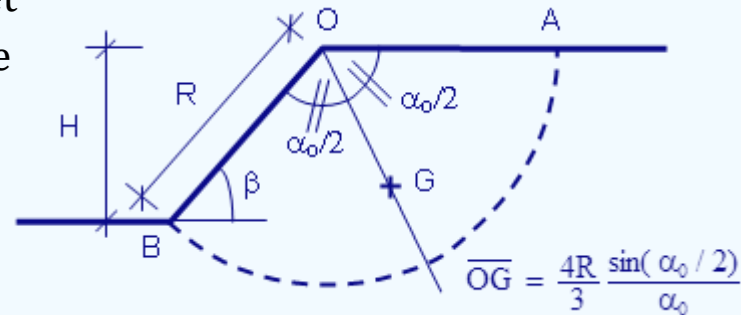
➤ **Exemple :** Epreuve de Rattrapage du 13/09/2003 – 4^{ème} année CCI – Cours de Mécanique des sols (TEC 195) – DGC-FST-UMBM

Soit un talus argileux de poids volumique saturé γ_{sat} et de cohésion non drainée c_u . On demande de calculer le coefficient de sécurité F au glissement circulaire le long de l'arc $\widehat{AB}$ de centre O et de rayon R (Figure ci-contre) et de commenter le résultat trouvé. Déduire ensuite la valeur de F lorsque le talus est vertical.

Réponse :

$$F = \frac{\mathcal{M}_{rés.}}{\mathcal{M}_{mot.}} = \frac{\widehat{AB} c_u R}{W_T \overline{OG}} = \frac{(\pi - \beta) c_u R^2}{\frac{1}{3} \gamma R^2 H} = 3(\pi - \beta) \frac{c_u}{\gamma \cdot H}$$

Cas particulier du talus vertical : $\beta = \frac{\pi}{2} \Rightarrow F = 4.71 \frac{c_u}{\gamma \cdot H}$ (Solution à l'aide d'abaques)

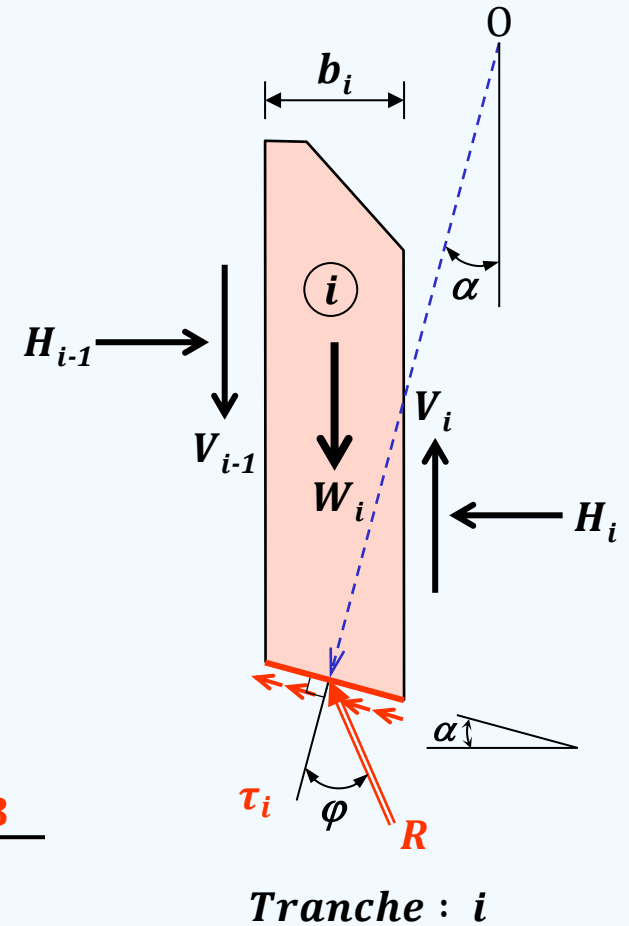
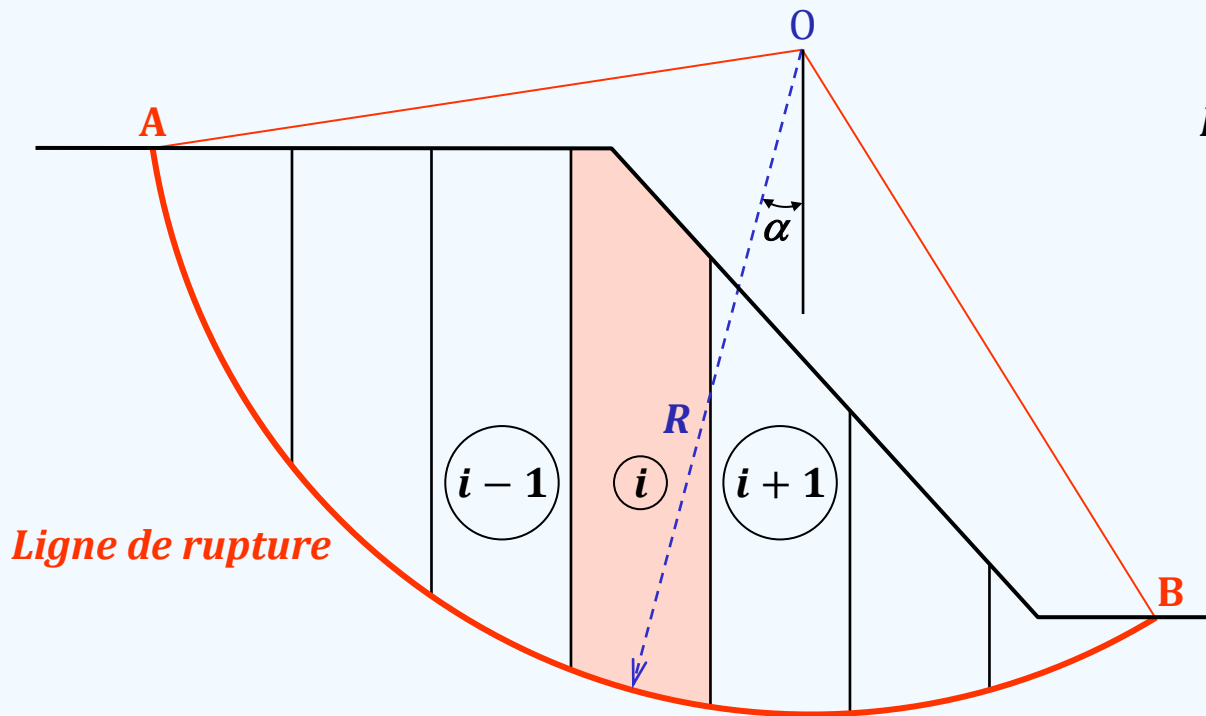


□ Stabilité sous conditions statiques

- **Cas des glissements circulaires**

- **Méthode des tranches**

- **Bilan des forces**



□ Stabilité sous conditions statiques

- **Cas des glissements circulaires**

- **Méthode des tranches**

- **Equilibre d'une tranche**

En adoptant l'expression du coefficient de sécurité :

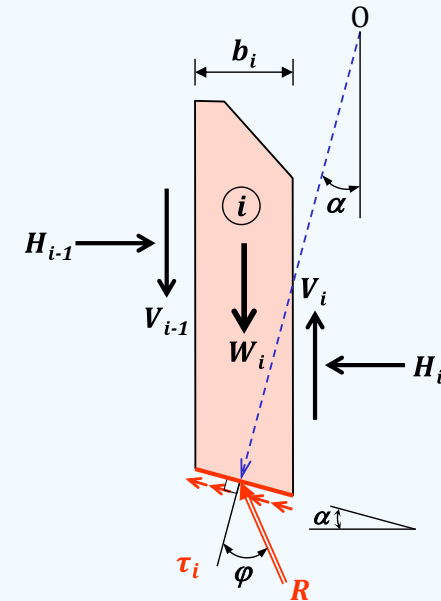
$$F = \frac{\tau_{max}}{\tau} \quad | \quad \tau = \frac{c}{F} + \sigma_n \frac{\tan \varphi}{F} \quad | \quad \sigma_n = \sigma' - u$$

Les deux équations de projection des forces agissant sur la tranche considérée fournissent :

- $\sum F_n = 0 \Rightarrow \frac{u \cdot b}{\cos \alpha} + \frac{\sigma' \cdot b}{\cos \alpha} - (W + \Delta V) \cos \alpha + \Delta H \sin \alpha = 0$

- $\sum F_t = 0 \Rightarrow \frac{1}{F} (c + \sigma' \tan \varphi) \frac{b}{\cos \alpha} - (W + \Delta V) \sin \alpha - \Delta H \cos \alpha = 0$

On peut extraire σ' en fonction de ΔV seulement.



Tranche : i

□ Stabilité sous conditions statiques

• Cas des glissements circulaires

■ Méthode des tranches

➤ Equilibre de l'ensemble des tranches

Par ailleurs, l'équation du moment par rapport à O des forces agissant sur toutes les tranches fournit :

$$F = \frac{\mathcal{M}_{rés.}}{\mathcal{M}_{mot.}} = \frac{T \times R}{W_T \times R} = \frac{T}{W_T} \Rightarrow F = \frac{\sum (c + \sigma_n \tan \varphi) \frac{b}{\cos \alpha}}{\sum W \sin \alpha}$$

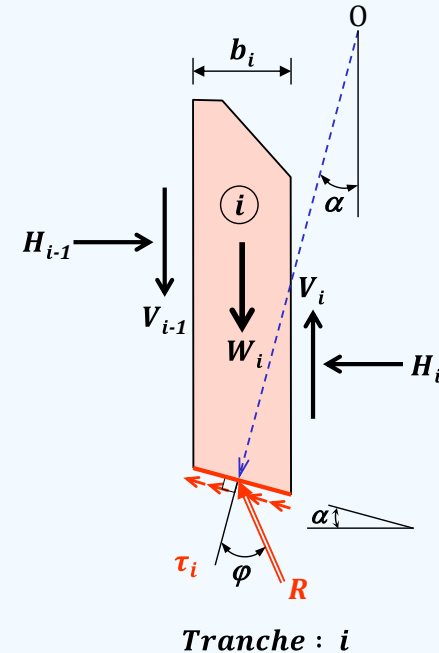
$\sigma_n = \sigma' - u$ étant déterminée précédemment.

On a donc : - 3 équations

- 4 inconnues ($F, \Delta V, \Delta H, \sigma'$)

⇒ Pour connaître la valeur de F , il manque une relation supplémentaire, par exemple entre ΔV et ΔH . D'où les hypothèses suivantes :

- Hypothèse de Fellenius (1927) : $\Delta H = \Delta V = 0$
- Hypothèse de Bishop (1954) : $\Delta H = 0$



□ Stabilité sous conditions statiques

- **Cas des glissements circulaires**

- **Méthode des tranches**

- **Hypothèse de Fellenius (1927)** dans laquelle les forces inter-tranches sont égales ($\Delta H = \Delta V = 0$). D'où l'expression suivante de F :

$$F = \frac{\sum_1^n [c \cdot b_i + (W_i \cos^2 \alpha_i - u \cdot b_i) \tan \varphi] / \cos \alpha_i}{\sum_1^n W_i \sin \alpha_i}$$

- **Hypothèse de Bishop (1954)** dans laquelle les composantes horizontales inter-tranches s'équilibrent ($\Delta H = 0$), d'où l'expression suivante de F :

$$F = \frac{\sum_1^n [c \cdot b_i + (W_i - u \cdot b_i) \tan \varphi] / (\cos \alpha_i + \sin \alpha_i \tan \varphi) / F_o}{\sum_1^n W_i \sin \alpha_i}$$

Cette formule fournit une expression implicite de F dont la valeur s'obtient par itérations ; la valeur initiale F_o étant généralement obtenue par la méthode de Fellenius ($F_o = F_{Fellenius}$).

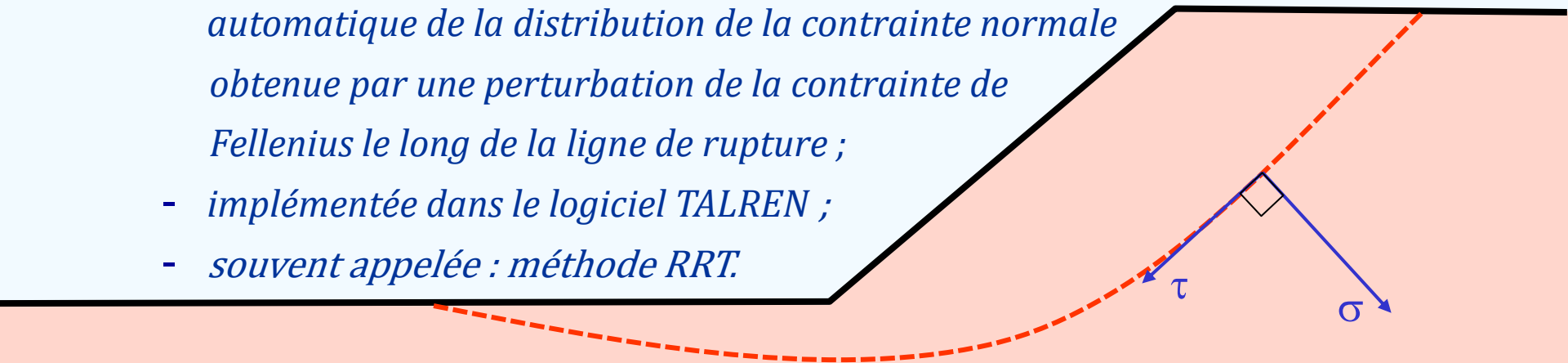
Nota : Ces calculs sont très longs. Ils sont généralement traités sur ordinateur.

□ Stabilité sous conditions statiques

● **Cas des glissements quelconques**

Ce type de rupture est rencontré lorsque des hétérogénéités sont manifestes. Ce problème est traité par éléments finis (*calcul en plasticité ou à la rupture*) ou en équilibre limite par la méthode des perturbations.

- **Procédure de calcul par la méthode des perturbations** : Cette méthode a été développée au LCPC-France par Raulin, Rouquès et Toubol (1974). Elle est :
 - applicable à une rupture de forme quelconque (circulaire, cycloïde, spirale, ...)
 - basée sur la simple résolution des équations d'équilibre avec ajustement automatique de la distribution de la contrainte normale obtenue par une perturbation de la contrainte de Fellenius le long de la ligne de rupture ;
 - implémentée dans le logiciel TALREN ;
 - souvent appelée : méthode RRT.



□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques**

- **Calcul manuel : Méthode des tranches**

Il est limité au cas de configurations simples et s'effectue à l'aide de tableaux de type ci-après en utilisant les hypothèses de Fellenius et/ou de Bishop.

Tranche (i)	b_i	W_i	α_i	$\frac{c \cdot b_i}{\cos \alpha_i}$	$W_i \cos \alpha_i \tan \varphi$	$\frac{u \cdot b_i}{\cos \alpha_i} \tan \varphi$	$W_i \sin \alpha_i$
1							
2							
3							
...							
n							

$$F = \frac{\sum_1^n [c \cdot b_i + (W_i \cos^2 \alpha_i - u \cdot b_i) \tan \varphi] / \cos \alpha_i}{\sum_1^n W_i \sin \alpha_i}$$

$$F = \frac{A + B - C}{D}$$

$$\sum_1^n \frac{c \cdot b_i}{\cos \alpha_i}$$

A

$$\sum_1^n W_i \cos \alpha_i \tan \varphi$$

B

$$\sum_1^n \frac{u \cdot b_i}{\cos \alpha_i} \tan \varphi$$

C

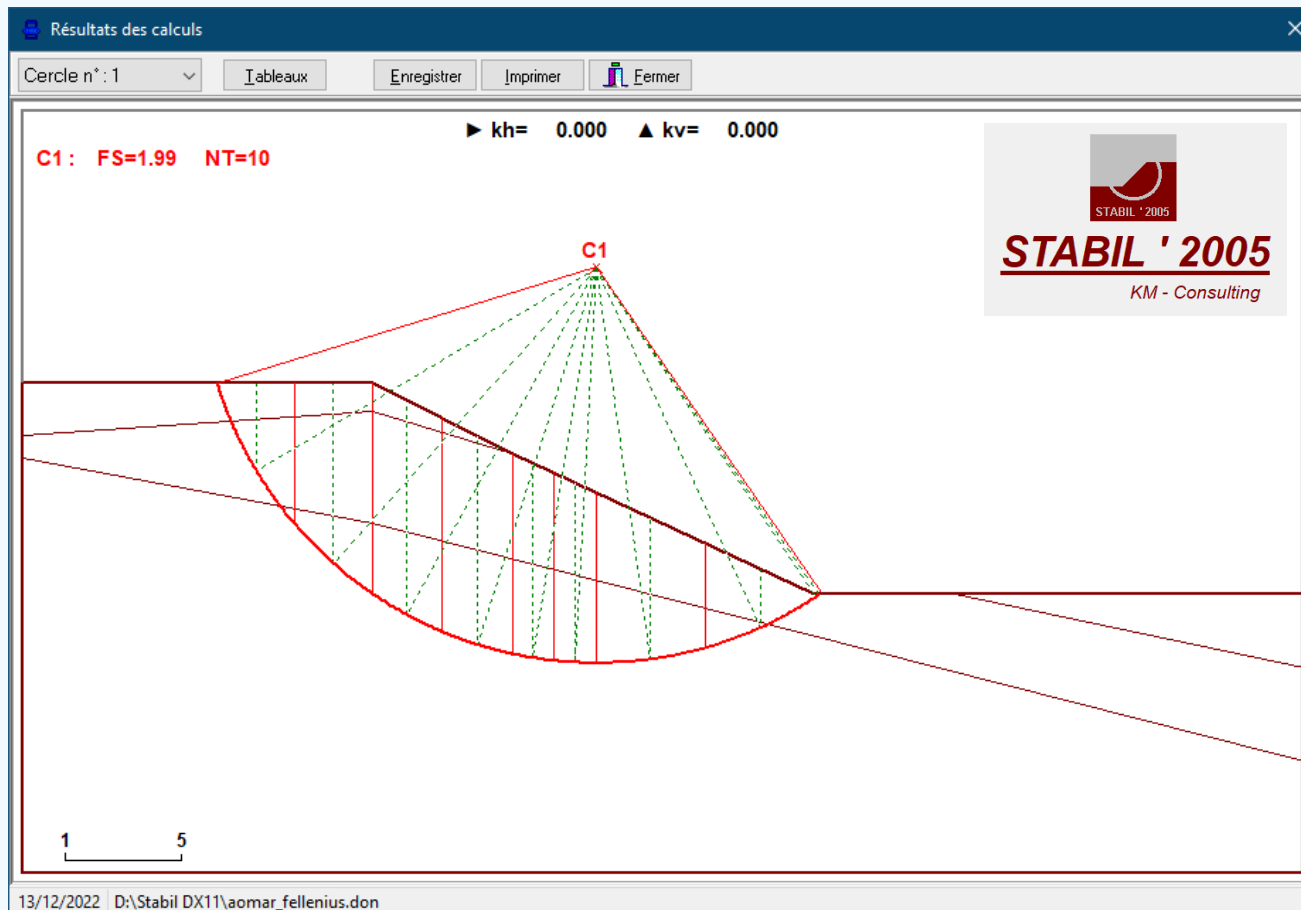
$$\sum_1^n W_i \sin \alpha_i$$

D

□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques**

- **Calcul manuel : Exemple d'application (Talus d'Aomar, Wilaya de Bouira)**



□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques**

- **Calcul manuel : Exemple d'application (Talus d'Aomar, Wilaya de Bouira)**

Résultats des calculs

Cercle n° : 1 Graphiques Enregistrer Imprimer Fermer

Cercle n°: 1 de centre C(24.600, 26.000) et de rayon R= 17.000
(Méthode de Fellenius)

kh= 0.000 kv= 0.000

STABIL '2005

Tr	b	h	Li	alpha	W	hu	u	Mres	Mmot
1	3.324	3.732	24.134	59.093	260.508	0.000	0.000	232.513	223.517
2	3.324	7.734	22.133	41.489	539.904	0.000	0.000	249.093	357.671
3	3.000	9.196	21.402	28.455	579.363	0.000	0.000	248.426	276.049
4	3.000	8.967	21.517	17.458	564.919	0.000	0.000	248.872	169.476
5	1.800	8.369	21.816	9.139	316.342	0.000	0.000	144.252	50.243
6	1.800	7.730	22.135	3.035	292.194	0.000	0.000	137.744	15.469
7	4.700	6.091	22.955	-7.946	601.146	0.000	0.000	313.088	-83.100
8	4.700	2.554	24.723	-24.501	252.066	0.000	0.000	220.723	-104.533
9	0.122	0.124	25.938	-33.816	0.318	0.000	0.000	4.475	-0.177
10	0.122	0.042	25.979	-34.311	0.107	0.000	0.000	4.450	-0.060
								1803.637	904.555

=====
Coefficient de sécurité Fs = 1.99

13/12/2022 D:\Stabil DX11\Aomar_fellenius.don

□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques**

- **Calcul sur ordinateur**

Il présente l'avantage de traiter rapidement de nombreuses hypothèses :

- Variation de la position du centre du cercle de glissement pour un rayon donné.
- Variation du rayon des cercles de glissement pour un centre donné.
- Variation des caractéristiques des couches du sol constituant le talus.
- Variation du niveau de la nappe.
- etc.

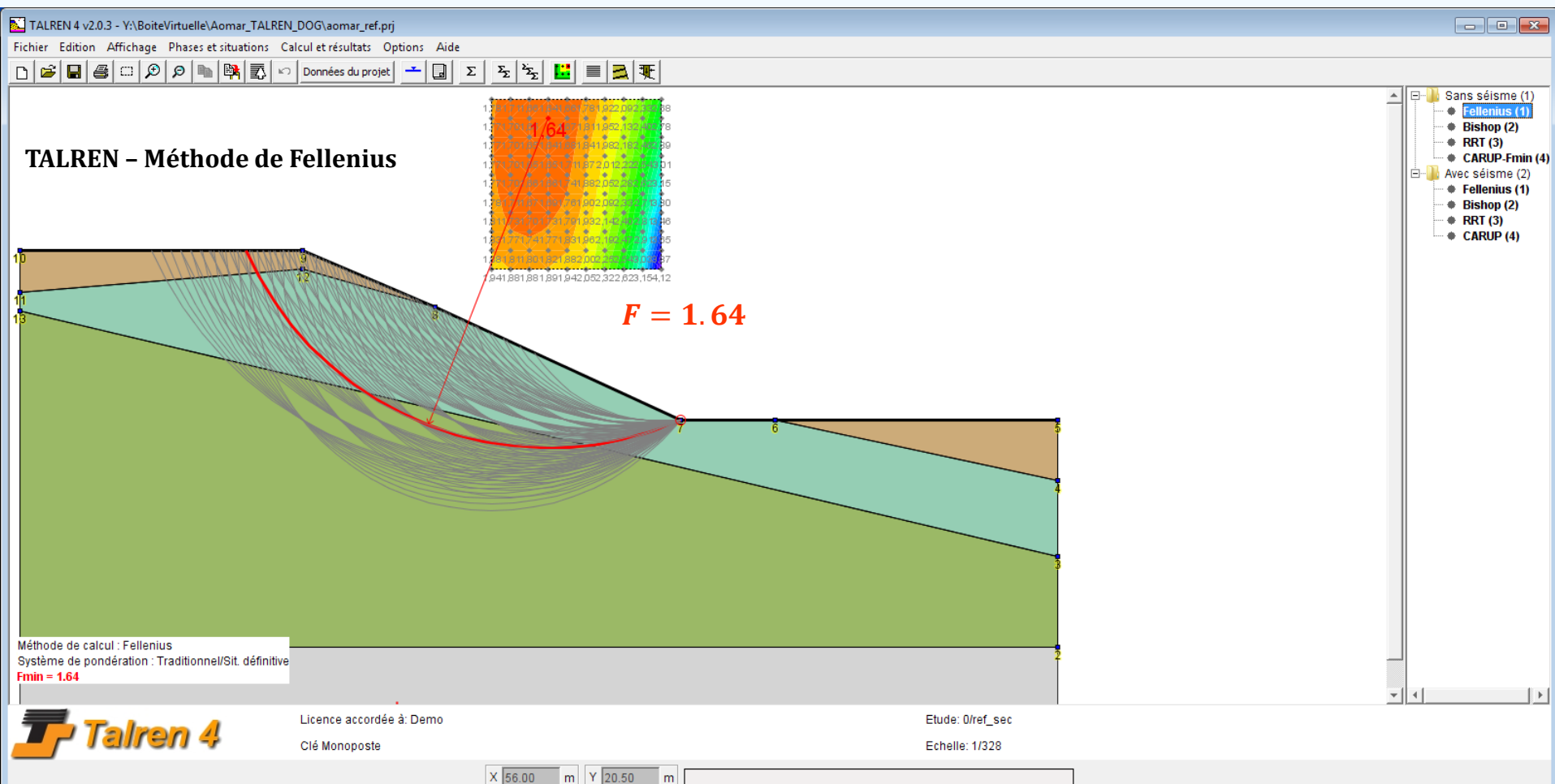
- **Exemple de calcul**

Vérification de la stabilité du versant d'Aomar (Wilaya de Bouira) à l'aide des logiciels suivants :

- TALREN
- SLIDE
- GEOSLOPE
- PLAXIS
- OPTUM
- LimitSate:GEO

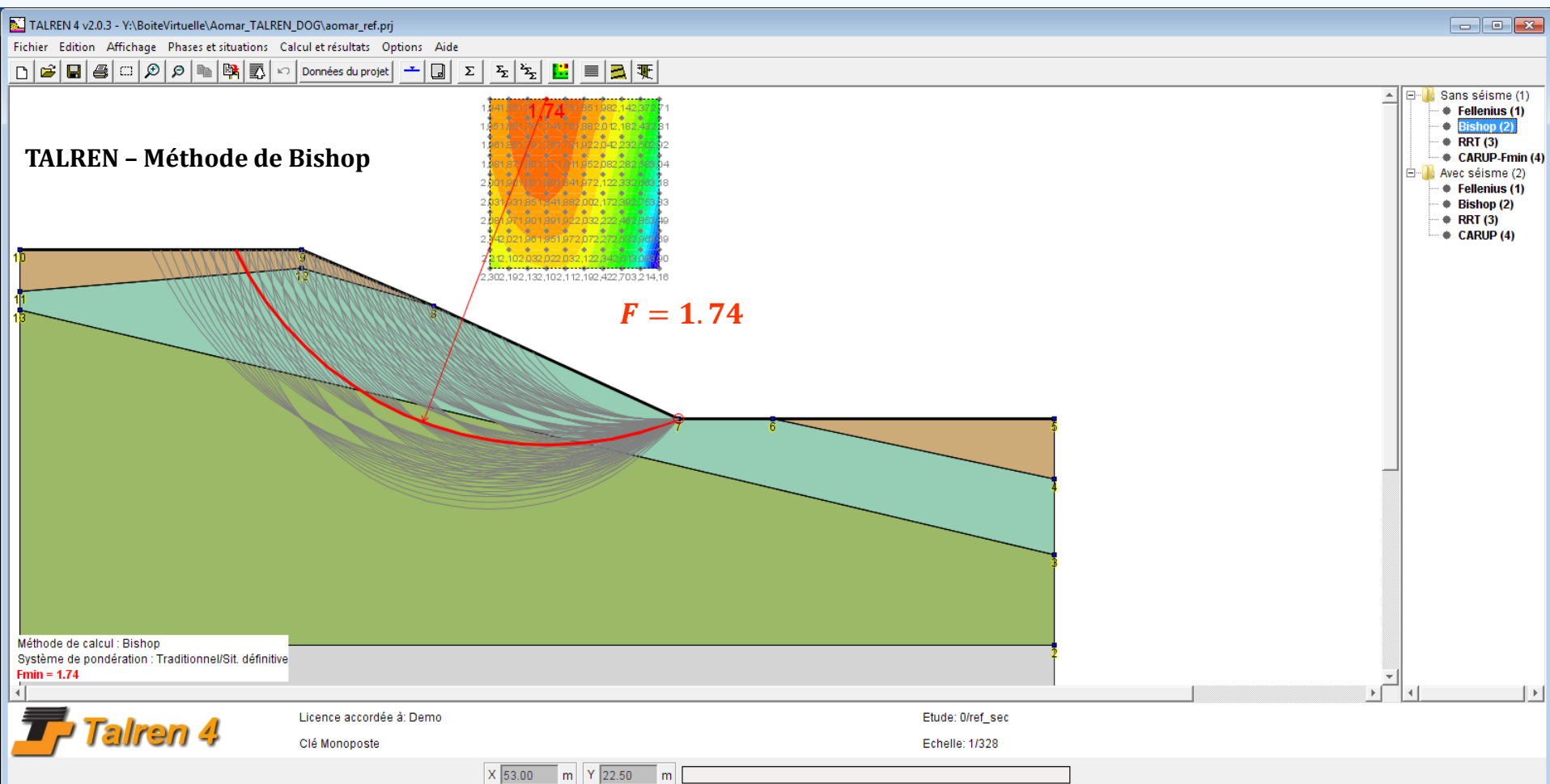
□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Talren 4



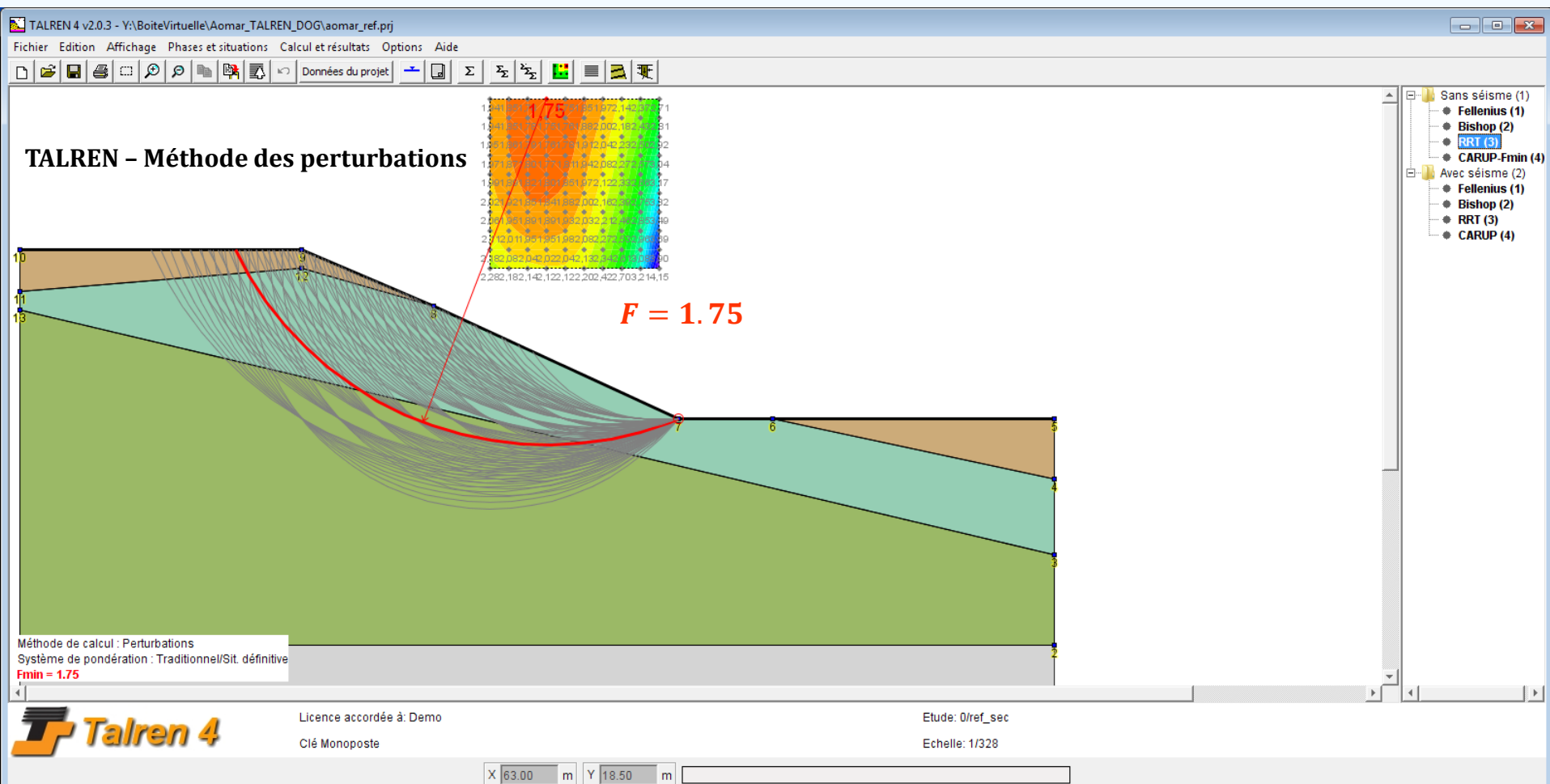
□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Talren 4



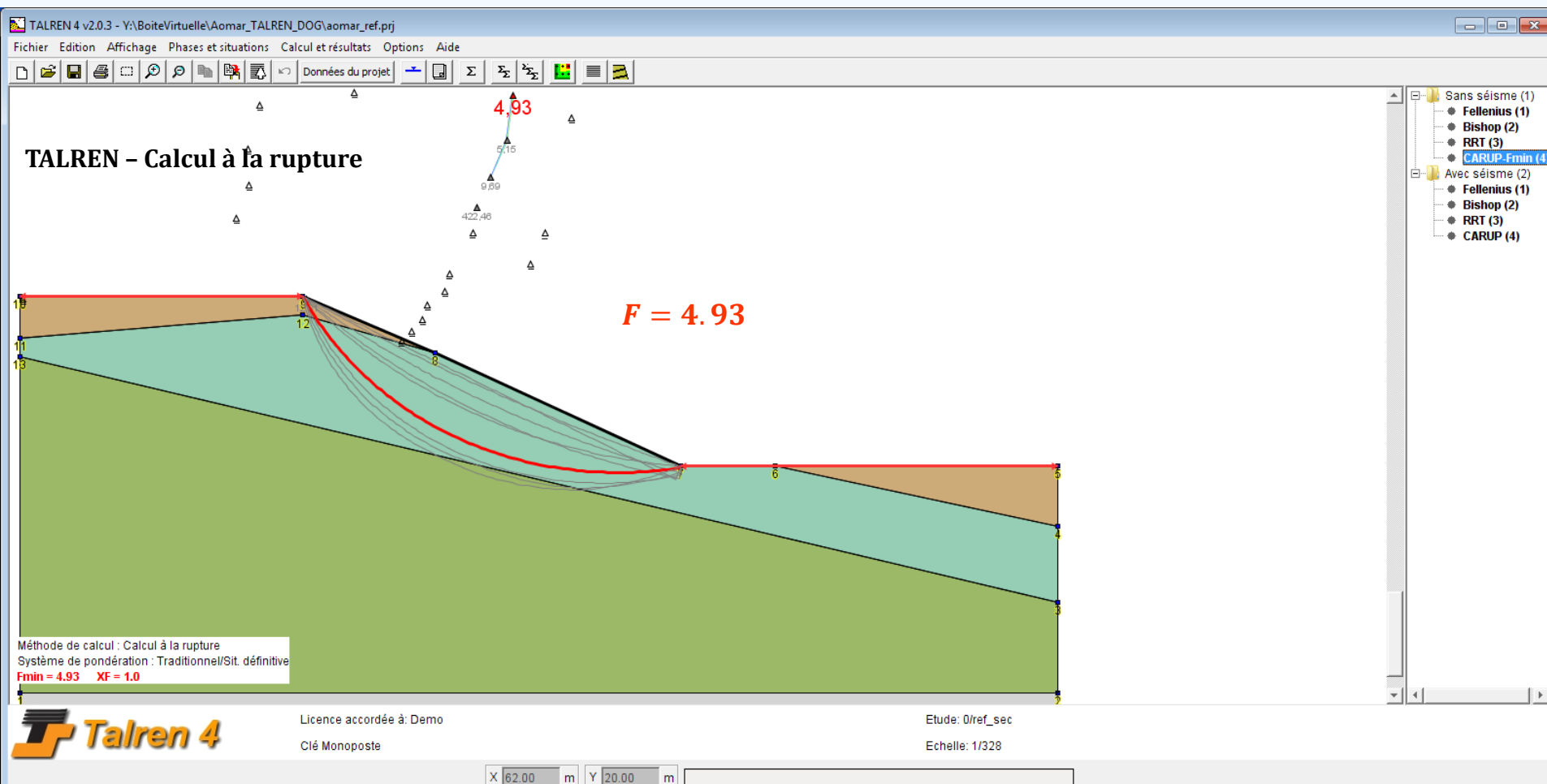
□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Talren 4



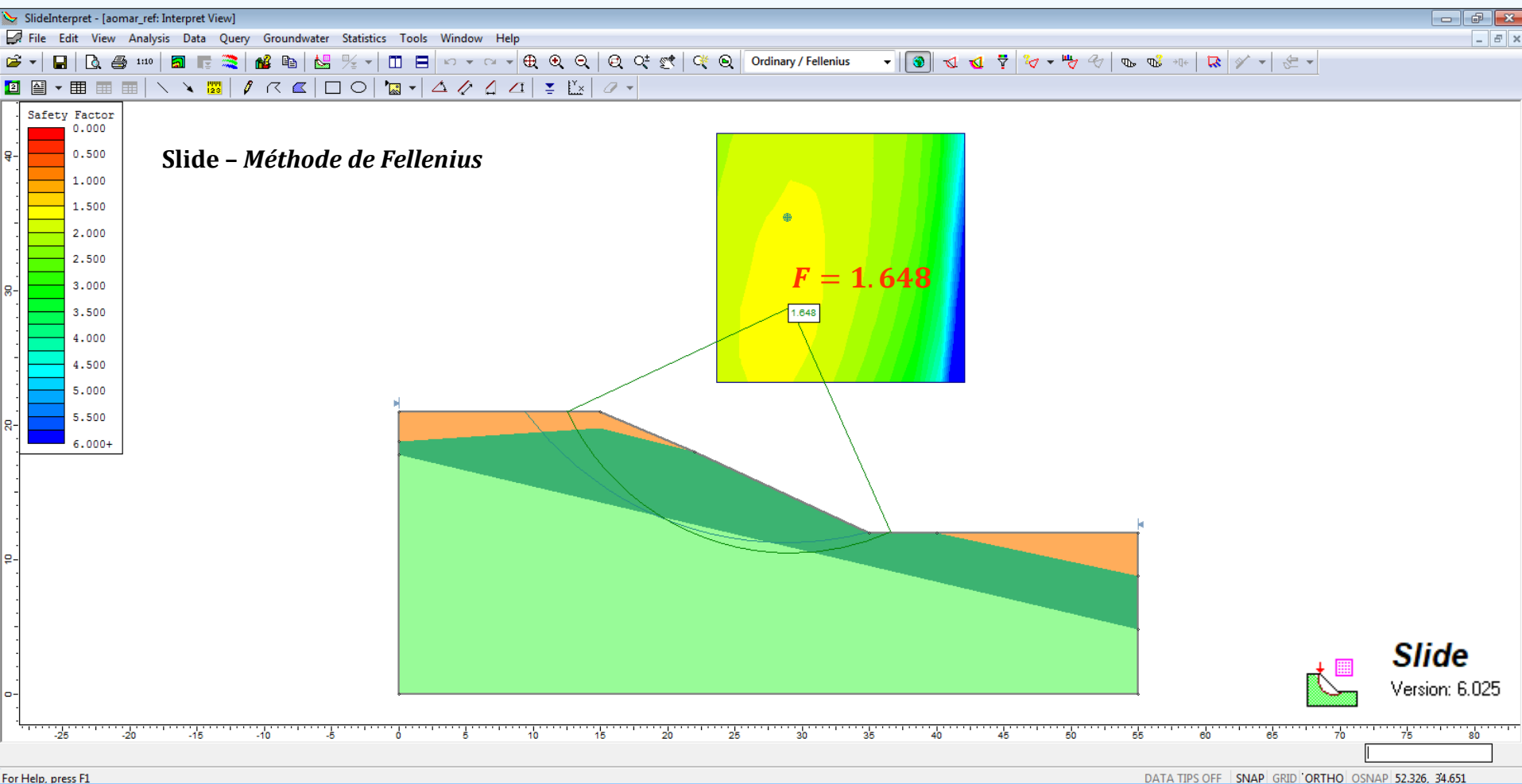
□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Talren 4



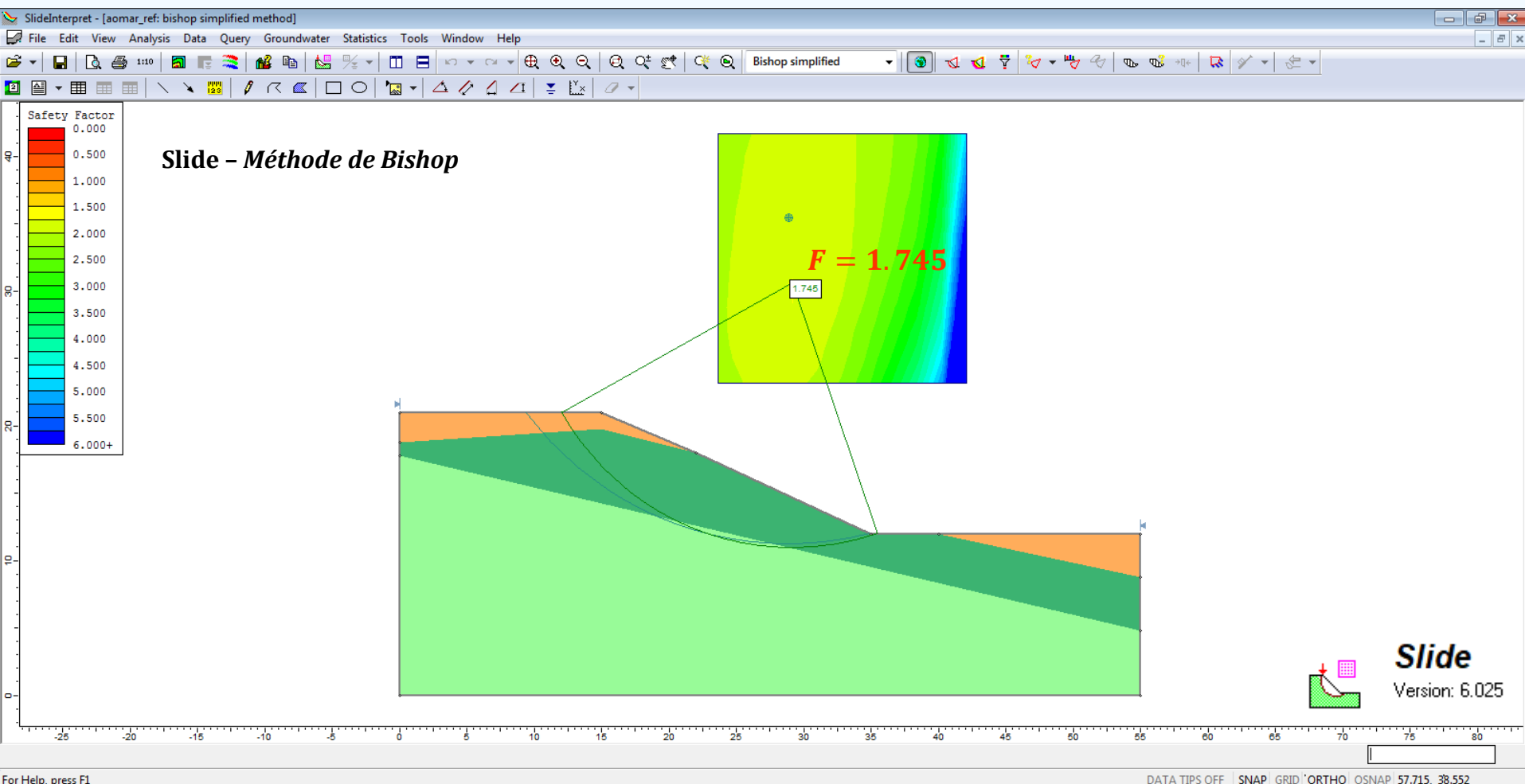
□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques :** *Exemple de calcul à l'aide du logiciel Slide V6.0*



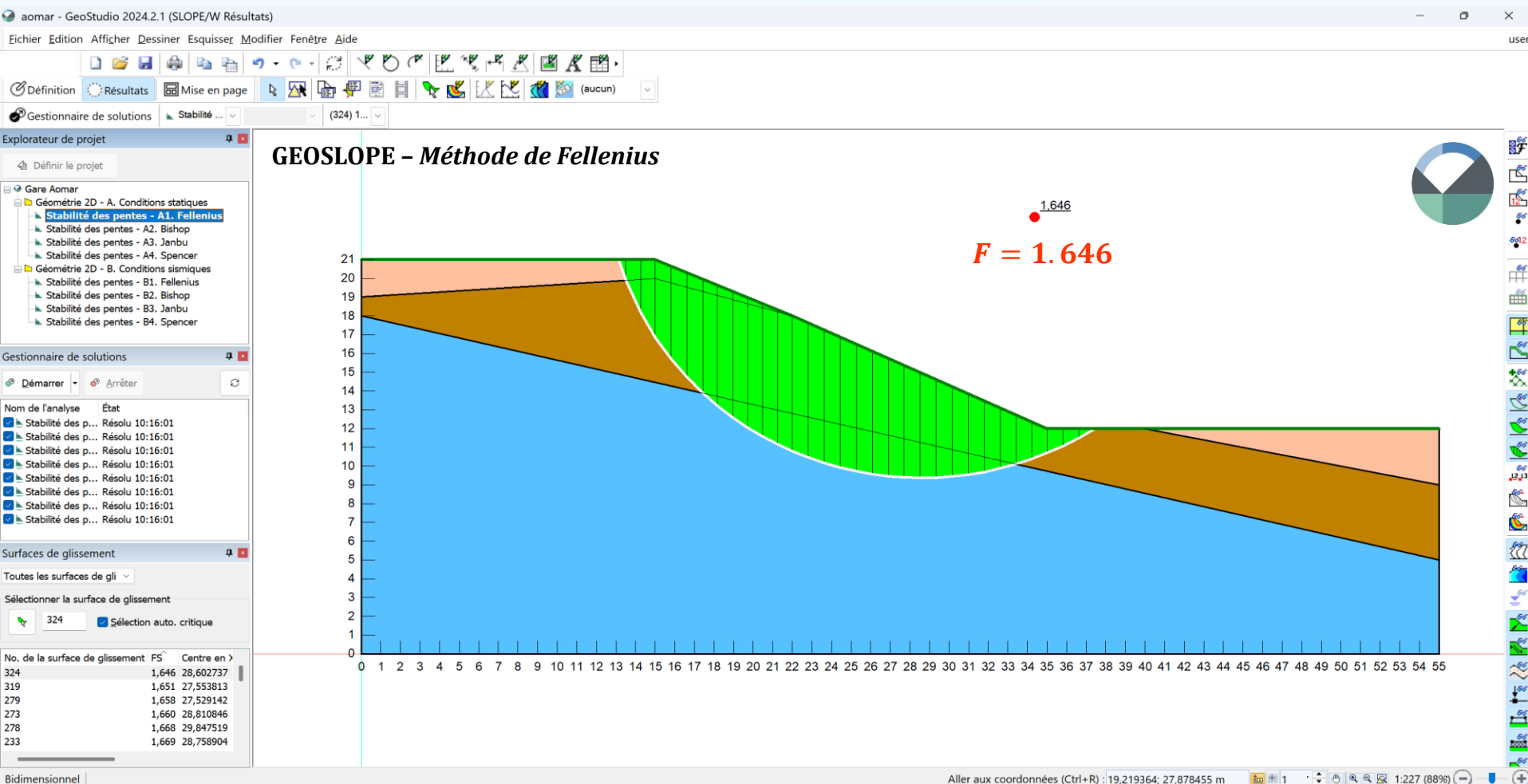
□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Slide V6.0



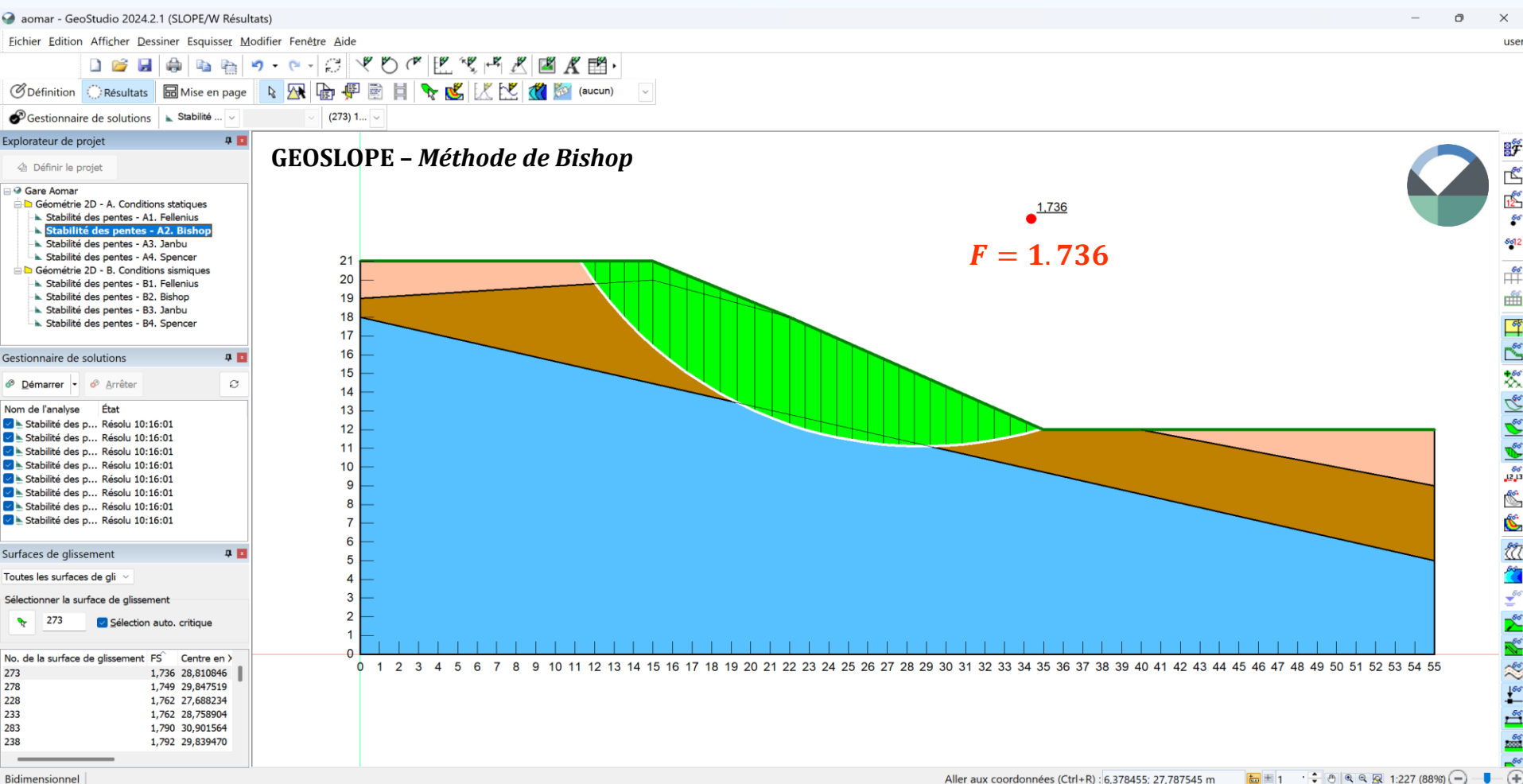
Stabilité sous conditions statiques

Applications pratiques : Exemple de calcul à l'aide du logiciel GEOSLOPE



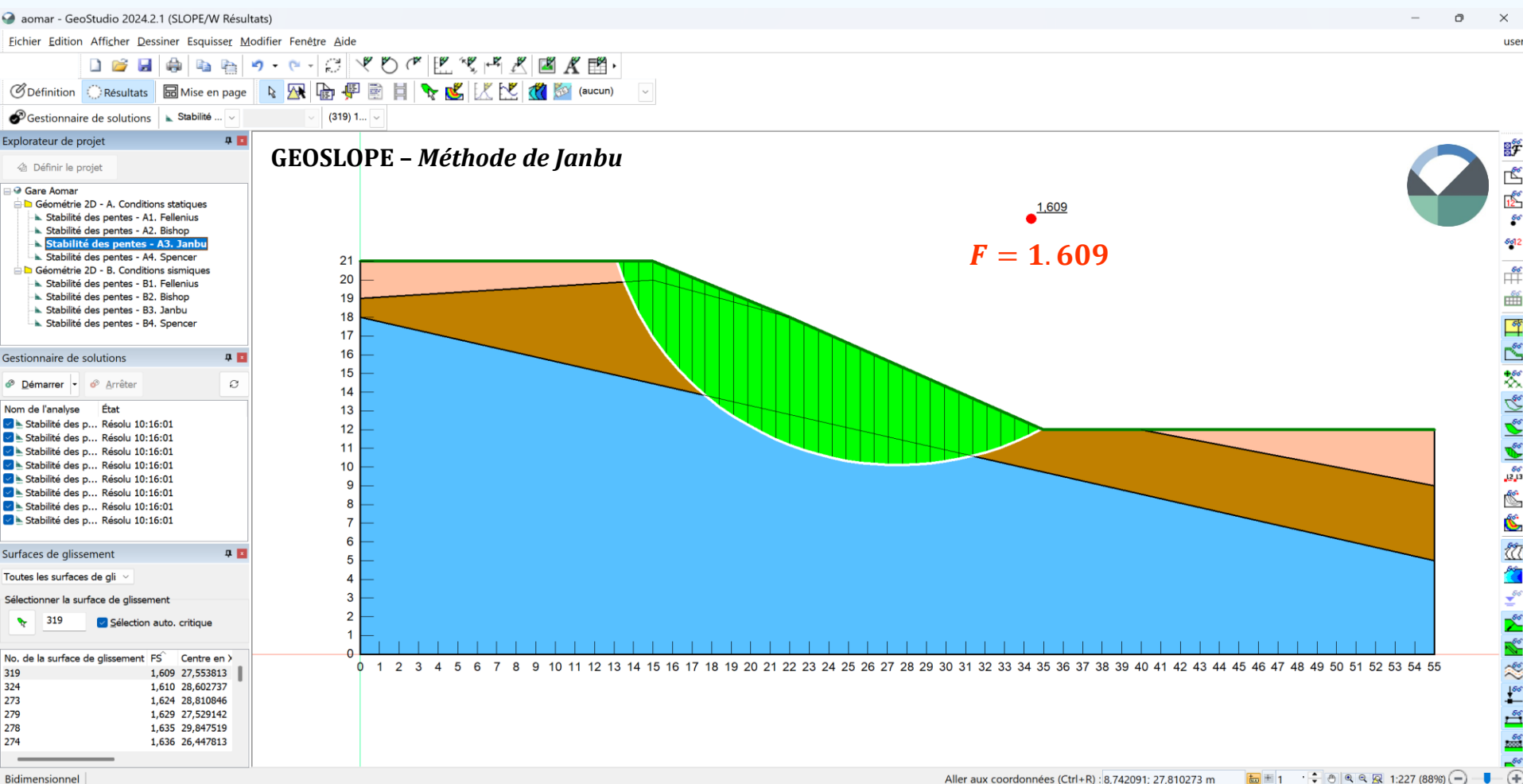
Stabilité sous conditions statiques

Applications pratiques : Exemple de calcul à l'aide du logiciel GEOSLOPE



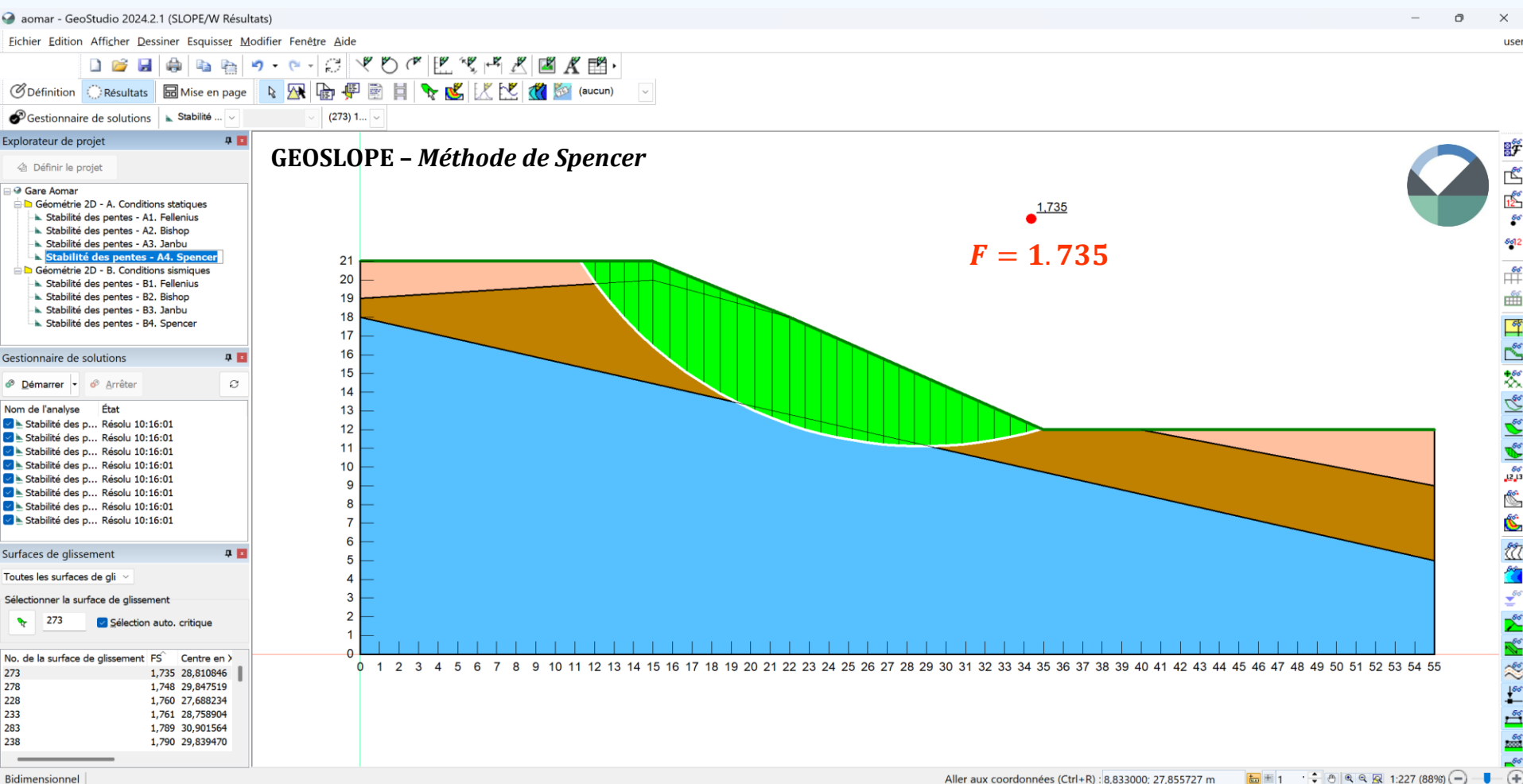
Stabilité sous conditions statiques

Applications pratiques : Exemple de calcul à l'aide du logiciel GEOSLOPE



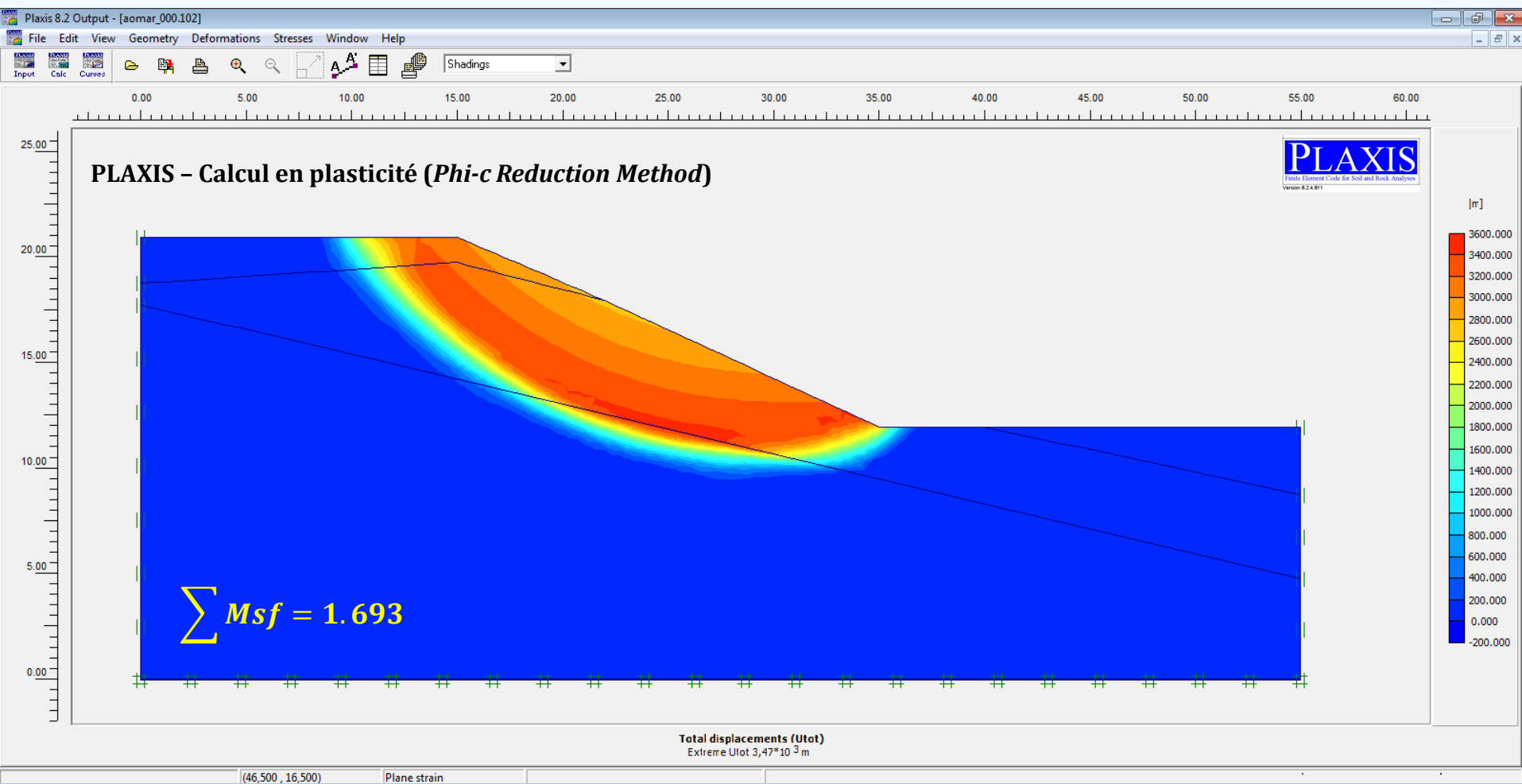
Stabilité sous conditions statiques

Applications pratiques : Exemple de calcul à l'aide du logiciel GEOSLOPE



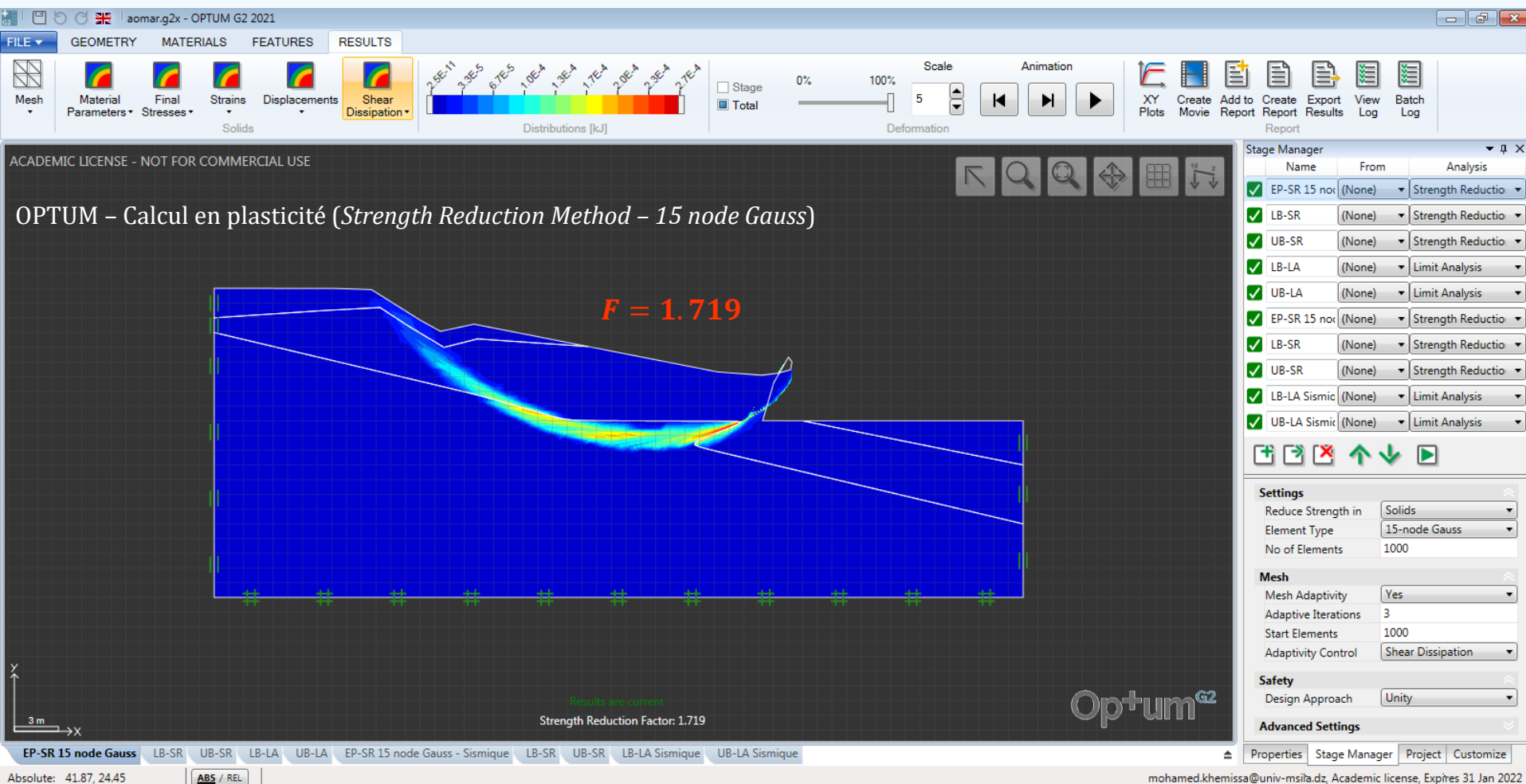
□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Plaxis V8.2



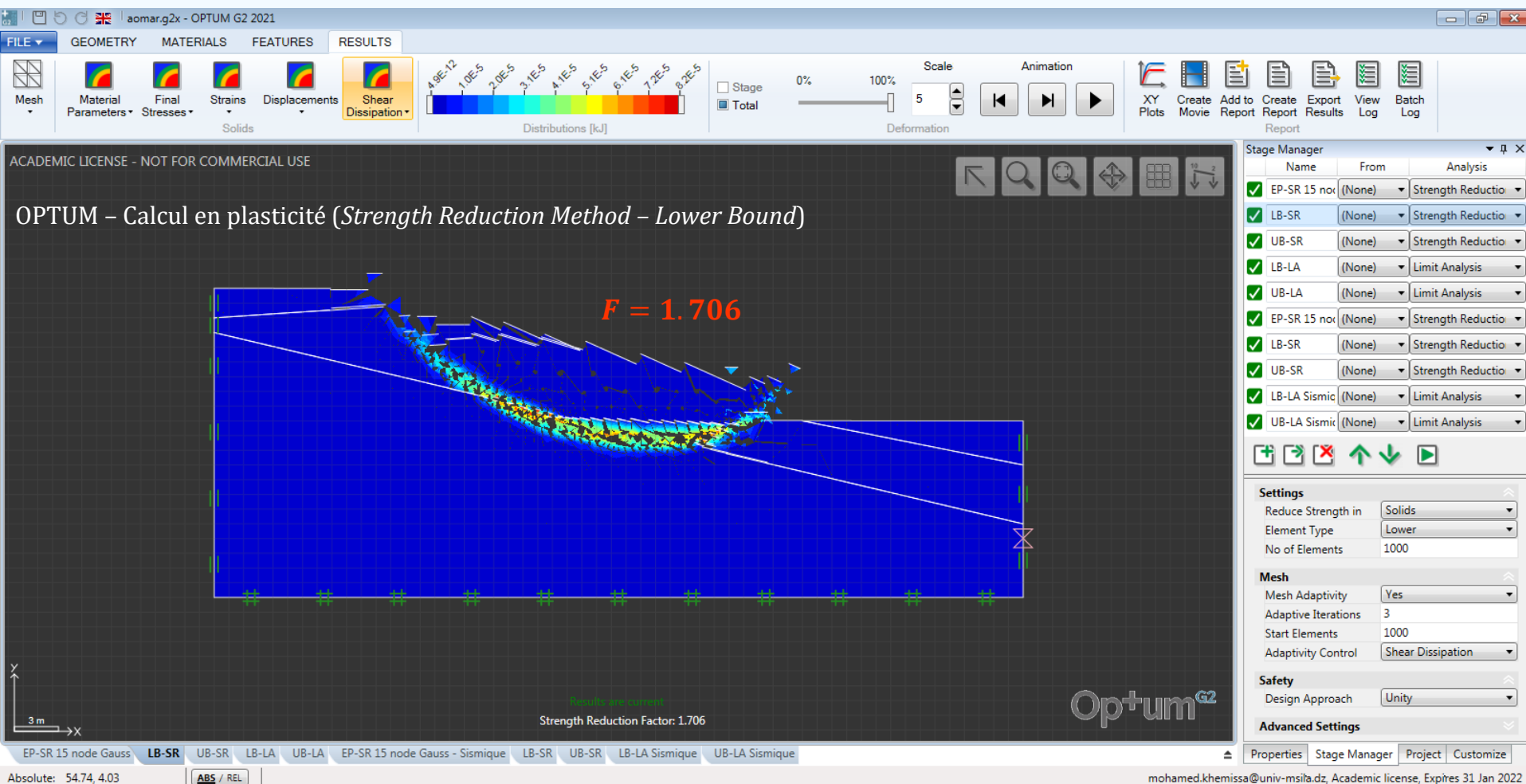
□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Optum G2



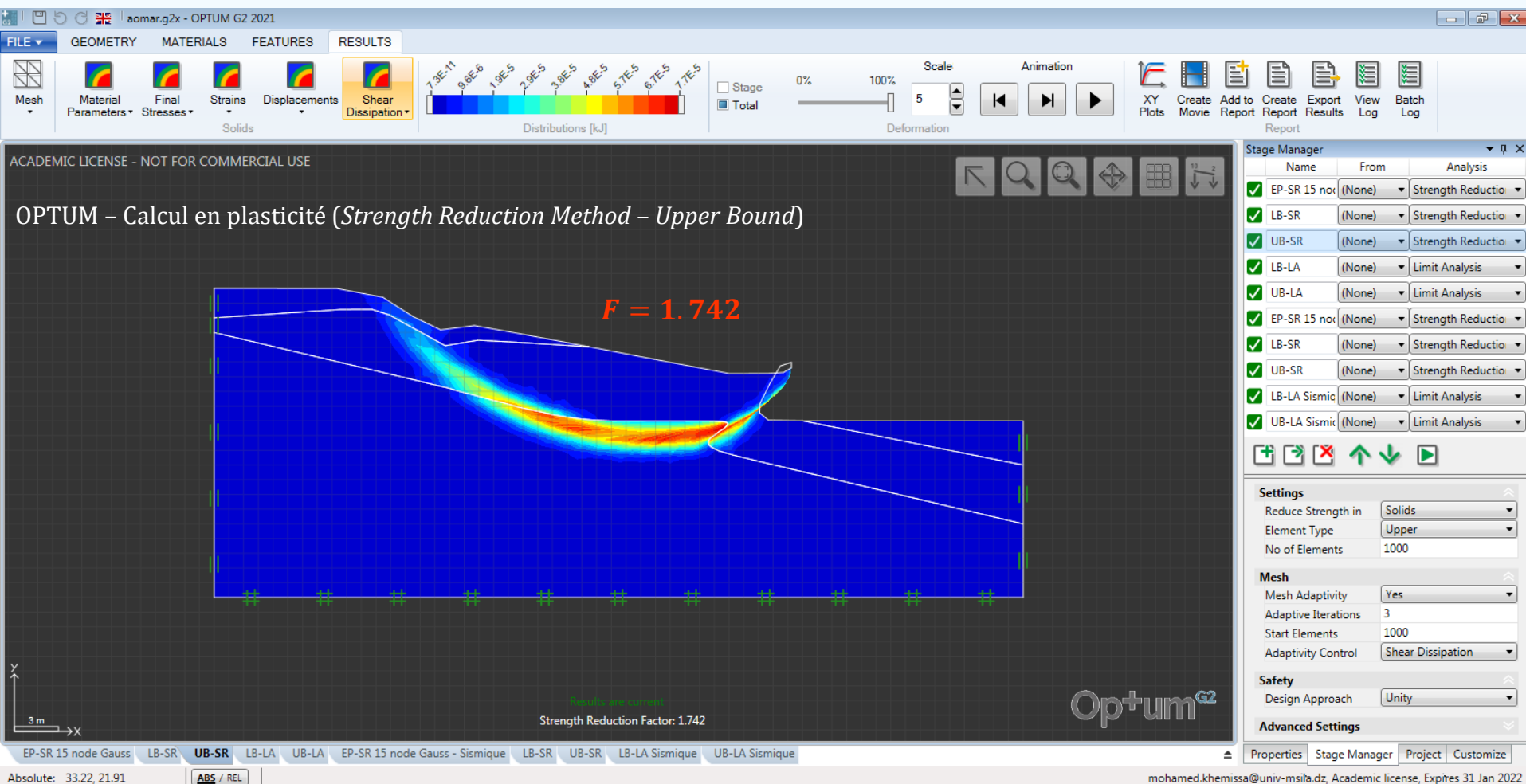
□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Optum G2



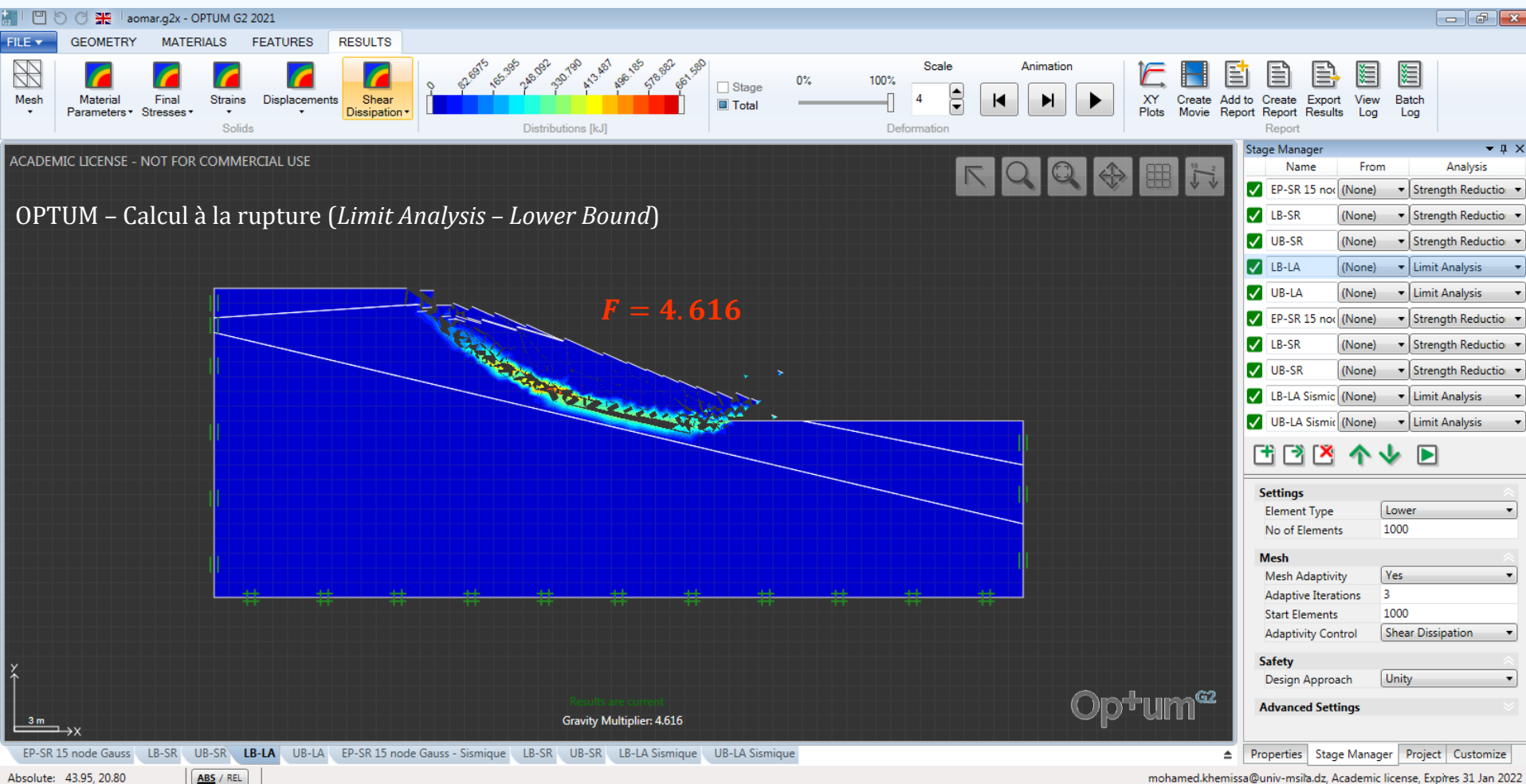
□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Optum G2



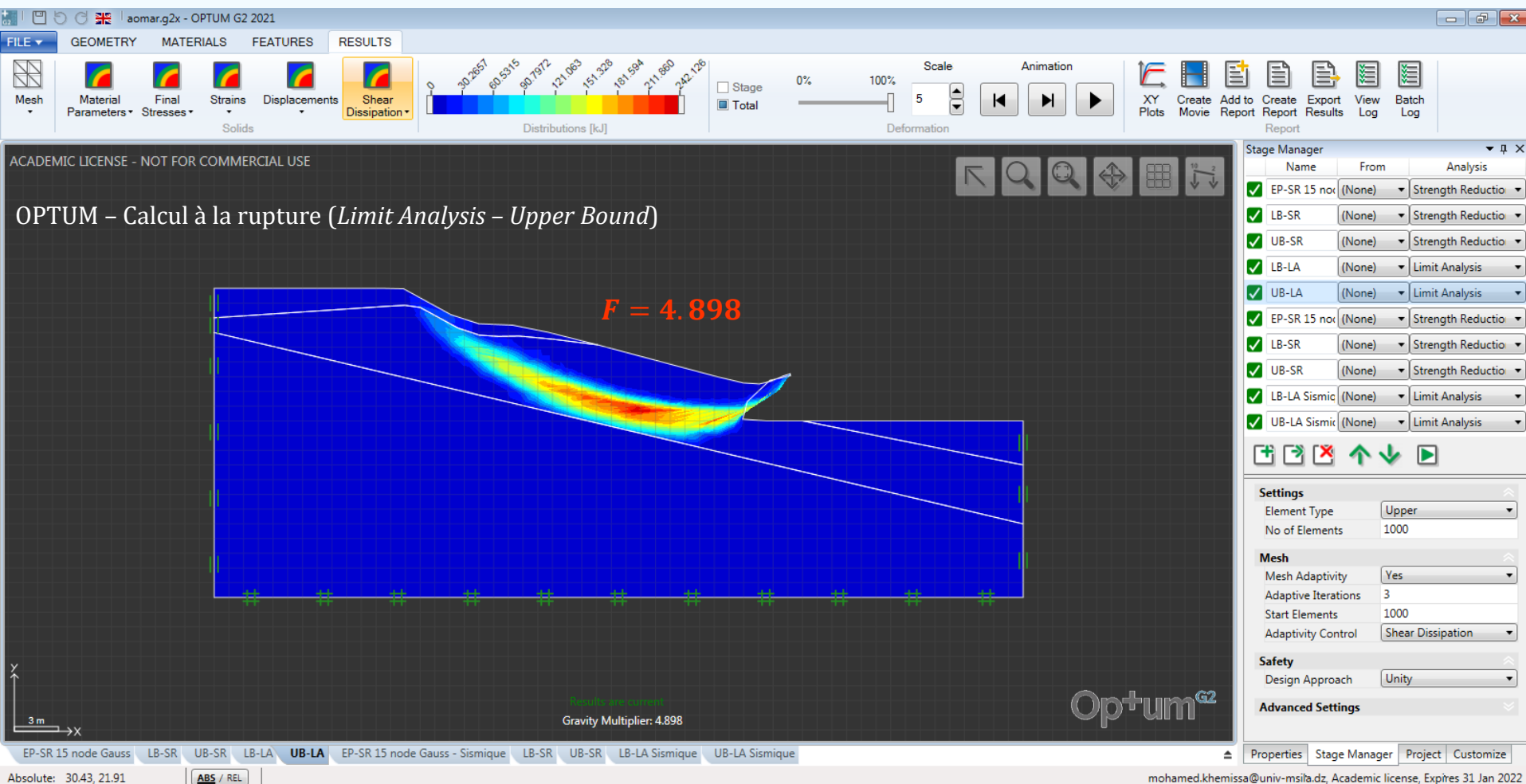
□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Optum G2



□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Optum G2



□ Stabilité sous conditions statiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel LimitState:GEO

Aomar_ref.geo - LimitState:GEO

File Edit Select View Draw Tools Analysis Help

Factor Strength(s) δ

Materials

PROBLEM SIZE (m):
x: 55,00000 y: 21,00000
CURSOR (m):
x: 69,91112 y: 8,17778

Muddy Clay Marl Clay
Blue Marl Very Stiff Clay
Stiff Clay Firm Clay
Soft Clay Very Soft Clay
Dense Sand Medium-Dense Sand
Loose Sand Concrete

Water Regimes

limitstate geo

$F = 4.202$

Property Editor

Property	Value
Project	
Nodal Density	Medium
Project Name	New Project
Project Details	
Water	Enabled
Long Term Analysis	False
Model Rotations	Along edges
Analysis Options	
Seismic Actions	
Horizontal Accel. k_h (g)	0
Adequacy (on k_h)	True
Vertical Accel. k_v (g)	0
Adequacy (on k_v)	True

LimitState:GEO – Calcul par l'analyse limite (DLO Procedure)

Output

Diagnostic information messages: 2

Solving problem containing 480 nodes at 22:54:14 on jeu. déc. 2 2021...

Scenario	Partial factors	Adequacy on strength
1	User	4,202

Adequacy factor on material strength(s) is 4.202

Geometry Editor

x (m)	y (m)

TRACK DRAG ORTHO SNAP x: 69,91112 y: 8,17778

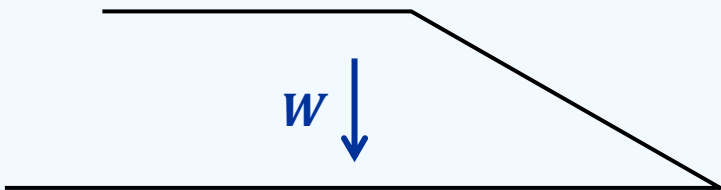
STABILITÉ SOUS CONDITIONS SISMIQUES

□ Stabilité sous conditions sismiques

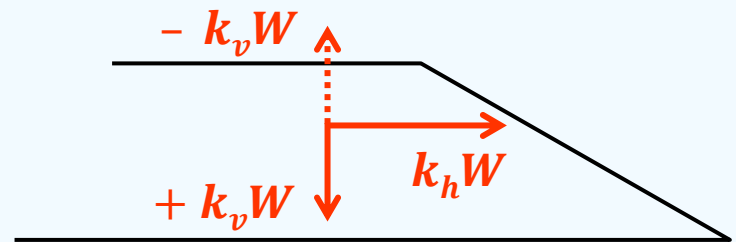
- **Approches de calcul**

- **Approche pseudo-statique**

Dans cette approche, on remplace l'action dynamique par une action statique équivalente :



Force statique



Force pseudo-statique

où k_h et k_v désignent les coefficients sismiques horizontal et vertical.

- **Approche dynamique directe**

Cette approche est basée sur la résolution numérique de l'équation d'équilibre dynamique à l'aide des méthodes des éléments finis et des différences finies.

- **Abaques**

Huang et Yamasaki (1993)

□ Stabilité sous conditions sismiques

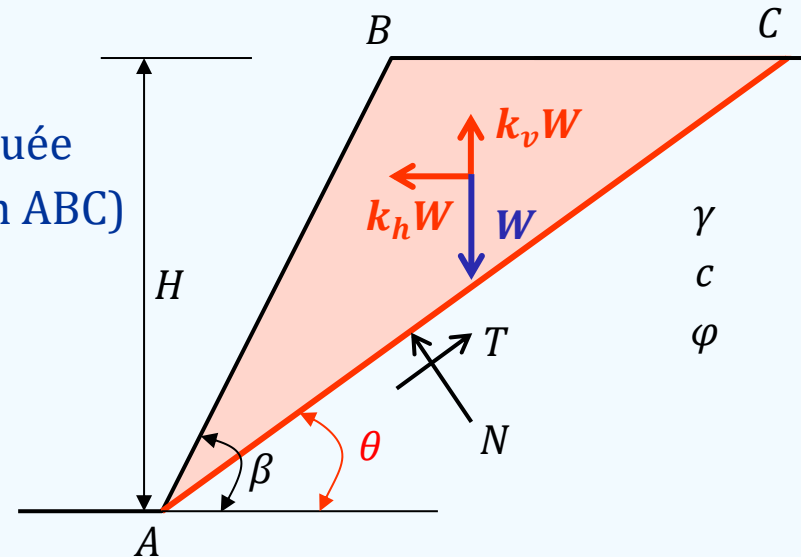
• Cas des glissements plans

Selon l'approche pseudo-statique, le coefficient de sécurité F est donné par :

$$F = \frac{T}{W_T} = \frac{c \cdot L_{AC} + [(1 - k_v)W \cos \theta - k_h W \sin \theta] \tan \varphi}{(1 - k_v)W \sin \theta - k_h W \cos \theta}$$

tels que :

- k_h - coefficient sismique horizontal
- k_v - coefficient sismique vertical
- W - poids du sol en mouvement (partie située entre le TN et la ligne de rupture : coin ABC)
- L_{AC} - longueur AC
- θ - angle que fait la ligne de rupture considérée avec l'horizontale
- c - cohésion du sol
- φ - angle de frottement interne du sol



□ Stabilité sous conditions sismiques

• Cas des glissements circulaires

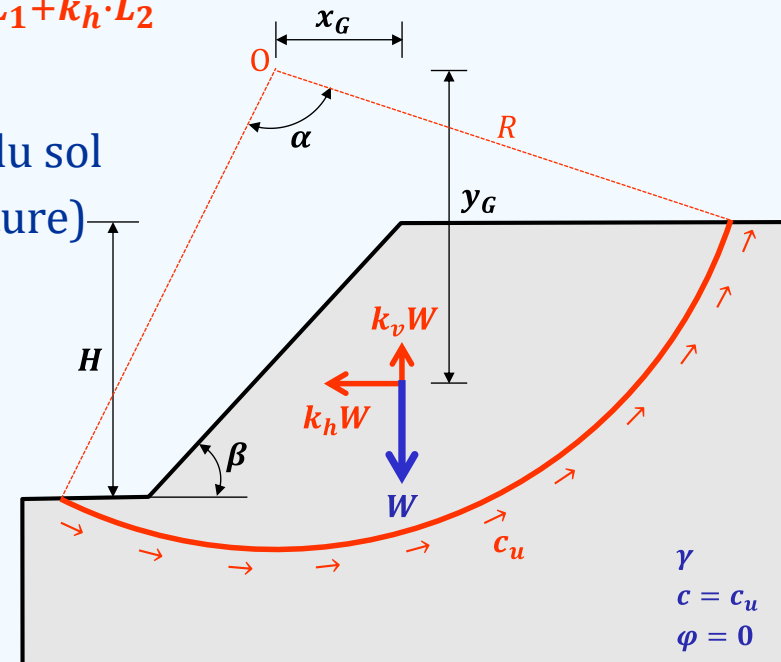
Selon l'approche pseudo-statique, le coefficient de sécurité F est donné par :

■ Méthode globale (Exemple d'un massif d'argile saturée)

$$F = \frac{\mathcal{M}_r}{\mathcal{M}_m} = \frac{c_u \cdot \alpha \cdot R^2}{(1 - k_v)W \cdot L_1 + k_h \cdot L_2}$$

tels que :

- W - poids du sol en mouvement (partie du sol située entre le T.N. et la ligne de rupture)
- k_h - coefficient sismique horizontal
- k_v - coefficient sismique vertical
- c_u - cohésion non drainée du sol
- x_G - abscisse du centre de gravité / au centre O du cercle
- y_G - ordonnée du centre de gravité / au centre O du cercle



$$\gamma$$

$$c$$

$$\varphi$$

❑ Stabilité sous conditions sismiques

- **Cas des glissements quelconques**

Ce type de rupture est rencontré lorsque des hétérogénéités sont manifestes. Ce problème est traité par la méthode des éléments finis (*calcul en plasticité ou à la rupture*) ou en équilibre limite par la méthode des tranches (*Fellenius, Bishop, ...*).

Dans tous les cas, l'approche pseudo-statique semble suffisante pour déterminer le coefficient de sécurité au glissement du talus considéré.



□ Stabilité sous conditions sismiques

- **Coefficients sismiques réglementaires**

- **Expressions** : Selon la réglementation parasismique algérienne (RPA99, version 2003) en vigueur, les coefficients pseudo-statiques horizontal et vertical sont donnés par les expressions suivantes :

$$k_h = 0.5 A_g$$

$$k_v = 0.3 k_h$$

où $A_g (\times g)$ désigne le coefficient d'accélération sismique.

Exemple : Le tableau ci-après donne les valeurs de k_h et k_v pour la zone IIa.

Zone	Groupe	Classification des ouvrages	$A_g (\times g)$	k_h	k_v
IIa	1A	Ouvrages d'importance vitale	0.25	0.1250	0.0375
	1B	Ouvrages de grande importance	0.20	0.1000	0.0300
	2	Ouvrages courants ou d'importance moyenne	0.15	0.0750	0.0225
	3	Ouvrages de faible importance	0.10	0.0500	0.0150

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ - Accélération de la pesanteur

□ Stabilité sous conditions sismiques

- **Coefficients sismiques réglementaires**

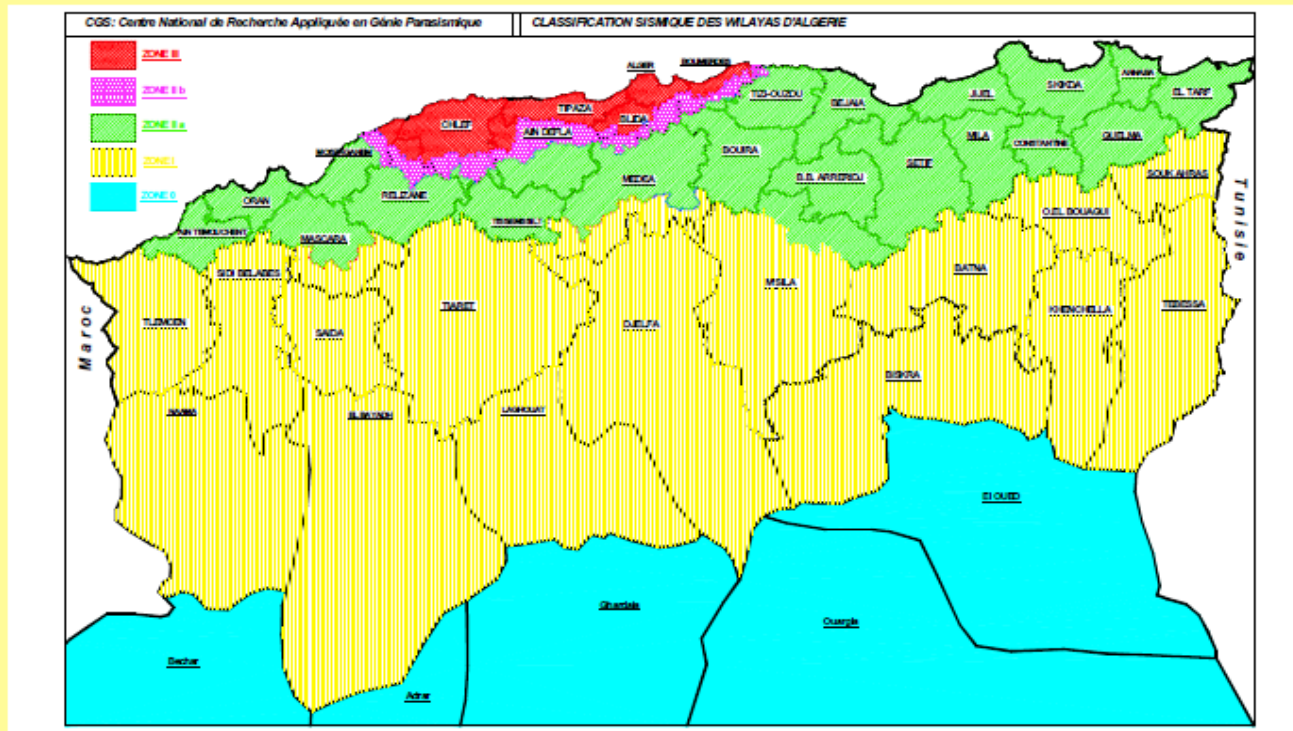
- *Classification des ouvrages selon le RPA99 version 2003*

Groupe d'usage	Types d'ouvrages	Exemples
1A	Ouvrages d'importance vitale devant rester opérationnels après un séisme majeur	Centres de décision, Hôpitaux, Police, Gendarmerie, Installations militaires, de télécommunication, de stockage d'eau, ...
1B	Ouvrages de grande importance	Bâtiments publics, scolaires, universitaires, Mosquées, ...
2	Ouvrages courants ou d'importance moyenne	Logements, Bureaux
3	Ouvrages de faible importance	Hangars, Entrepôts

□ Stabilité sous conditions sismiques

- **Coefficients sismiques réglementaires**
 - *Classification des zones sismiques selon le RPA99 version 2003*

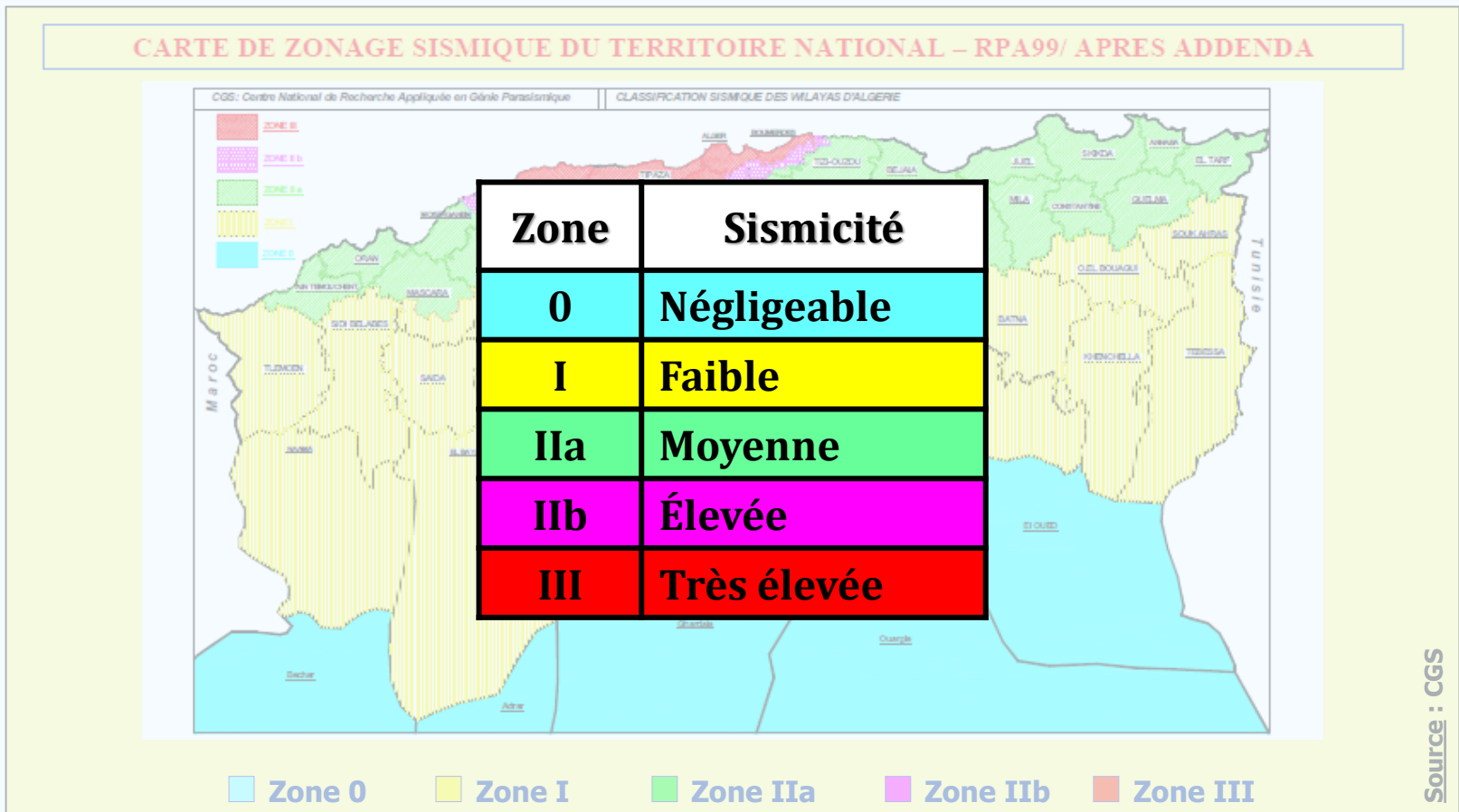
CARTE DE ZONAGE SISMIQUE DU TERRITOIRE NATIONAL – RPA99/ APRES ADDENDA



Source : CGS

□ Stabilité sous conditions sismiques

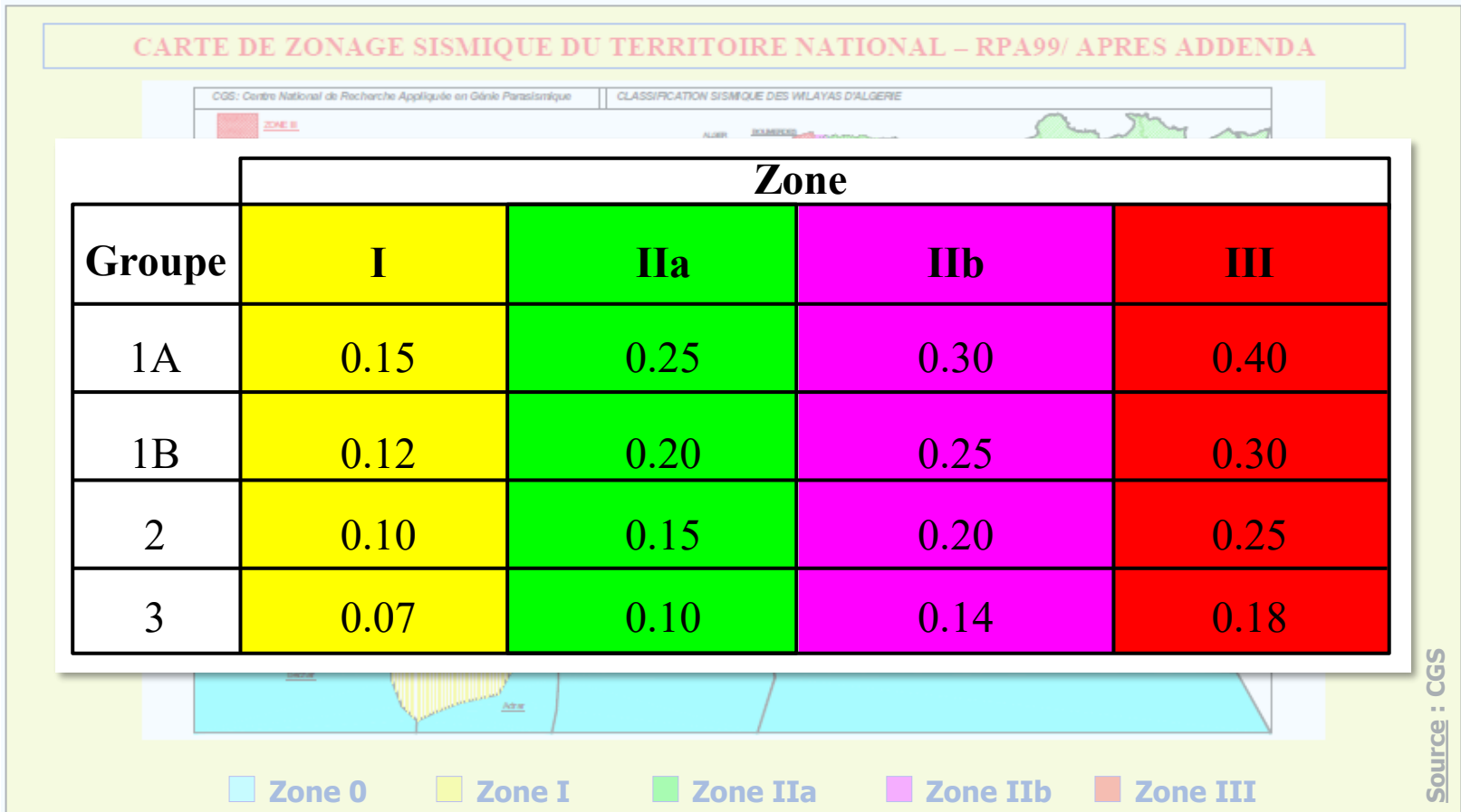
- **Coefficients sismiques réglementaires**
 - *Classification des zones sismiques selon le RPA99 version 2003*



□ Stabilité sous conditions sismiques

- **Coefficients sismiques réglementaires**

- **Coefficient d'accélération sismique A_g ($\times g$) selon le RPA99 version 2003**



□ Stabilité sous conditions sismiques

• Applications pratiques

■ Calcul manuel

Il est limité au cas de configurations simples et s'effectue à l'aide de tableaux de type ci-après en utilisant les hypothèses de Fellenius et/ou de Bishop.

Tranche (i)	b_i	W_i	α_i	L_i	$\frac{c \cdot b_i}{\cos \alpha_i}$	$(1-k_v)W_i \cos \alpha_i \tan \varphi$	$\frac{u \cdot b_i}{\cos \alpha_i} \tan \varphi$	$(1-k_v)W_i \sin \alpha_i$	$k_h W_i L_i / R$
1									
2									
3									
...									
n									

$$F = \frac{\sum_1^n \left[\frac{c \cdot b_i}{\cos \alpha_i} + (1 - k_v)W_i \cos \alpha_i \tan \varphi - \frac{u \cdot b_i}{\cos \alpha_i} \tan \varphi \right]}{\sum_1^n [(1 - k_v)W_i \sin \alpha_i + k_h W_i L_i / R]}$$

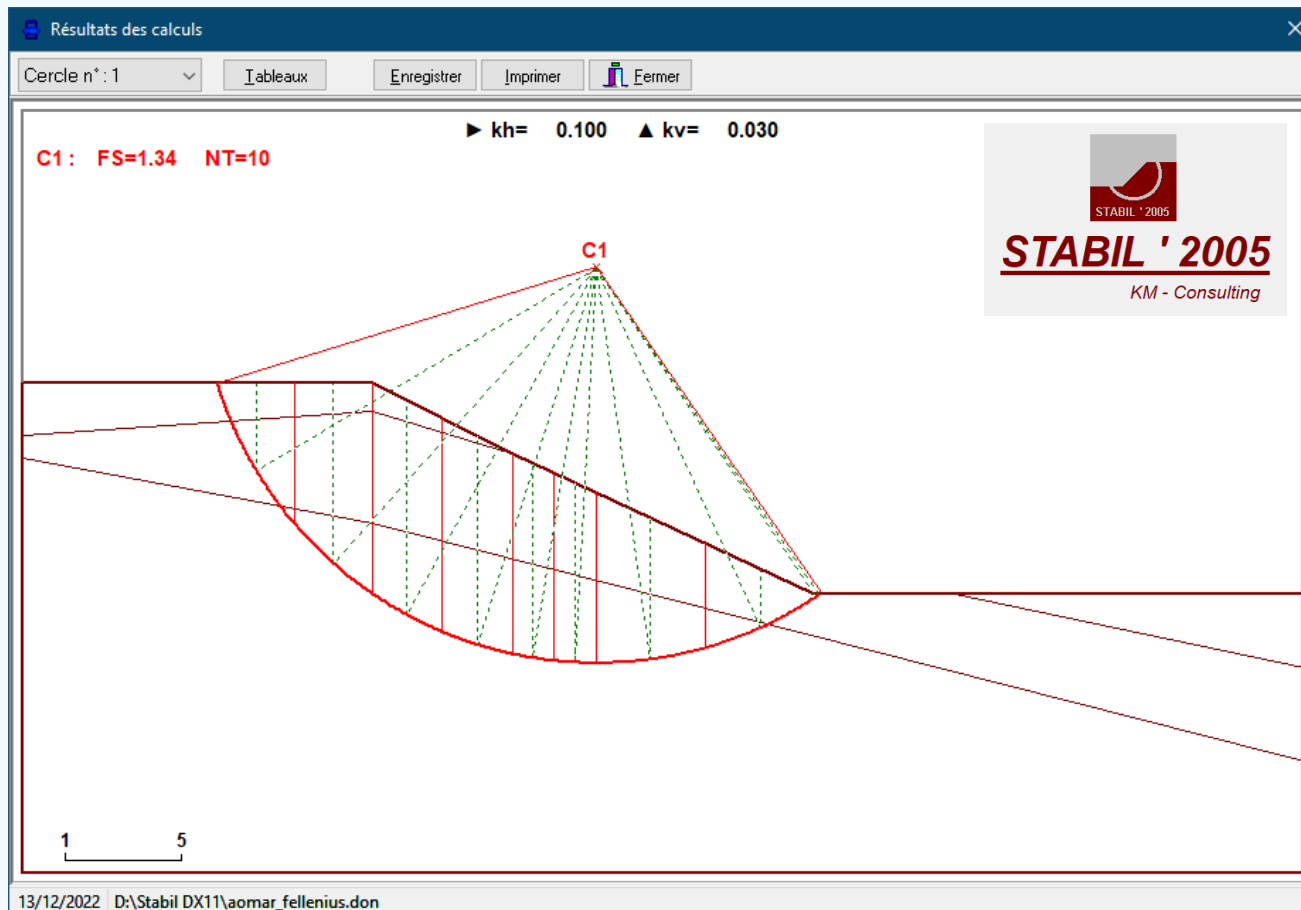
$$F = \frac{A + B - C}{D + E}$$

$\sum_1^n \frac{c \cdot b_i}{\cos \alpha_i}$	$\sum_1^n (1 - k_v)W_i \cos \alpha_i \tan \varphi$	$\sum_1^n \frac{u \cdot b_i}{\cos \alpha_i} \tan \varphi$	$\sum_1^n (1 - k_v)W_i \sin \alpha_i$	$\sum_1^n k_h W_i L_i / R$
A	B	C	D	E

□ Stabilité sous conditions sismiques

- **Applications pratiques**

- **Calcul manuel : Exemple d'application (Talus d'Aomar, Wilaya de Bouira)**



□ Stabilité sous conditions sismiques

- **Applications pratiques**

- **Calcul manuel : Exemple d'application (Talus d'Aomar, Wilaya de Bouira)**

Résultats des calculs

Cercle n° : 1 Graphiques Enregistrer Imprimer Fermer

Cercle n°: 1 de centre C(24.600, 26.000) et de rayon R= 17.000
(Méthode de Fellenius)

kh= 0.100 kv= 0.030

STABIL '2005

Tr	b	h	Li	alpha	W	hu	u	Mres	Mmot
1	3.324	3.732	24.134	59.093	260.508	0.000	0.000	231.362	253.794
2	3.324	7.734	22.133	41.489	539.904	0.000	0.000	245.614	417.232
3	3.000	9.196	21.402	28.455	579.363	0.000	0.000	244.045	340.706
4	3.000	8.967	21.517	17.458	564.919	0.000	0.000	244.236	235.892
5	1.800	8.369	21.816	9.139	316.342	0.000	0.000	141.566	89.330
6	1.800	7.730	22.135	3.035	292.194	0.000	0.000	135.234	53.050
7	4.700	6.091	22.955	-7.946	601.146	0.000	0.000	307.966	0.565
8	4.700	2.554	24.723	-24.501	252.066	0.000	0.000	218.750	-64.739
9	0.122	0.124	25.938	-33.816	0.318	0.000	0.000	4.472	-0.123
10	0.122	0.042	25.979	-34.311	0.107	0.000	0.000	4.449	-0.042
								1777.695	1325.665

=====
Coefficient de sécurité $F_s = 1.34$

13/12/2022 D:\Stabil DX11\Aomar_fellenius.don

□ Stabilité sous conditions sismiques

• Applications pratiques

■ Calcul sur ordinateur

Il présente l'avantage de traiter rapidement de nombreuses hypothèses :

- Variation de la position du centre du cercle de glissement pour un rayon donné.
- Variation du rayon des cercles de glissement pour un centre donné.
- Variation des caractéristiques des couches du sol constituant le talus.
- Variation du niveau de la nappe.
- Variation des coefficients sismiques.
- etc.

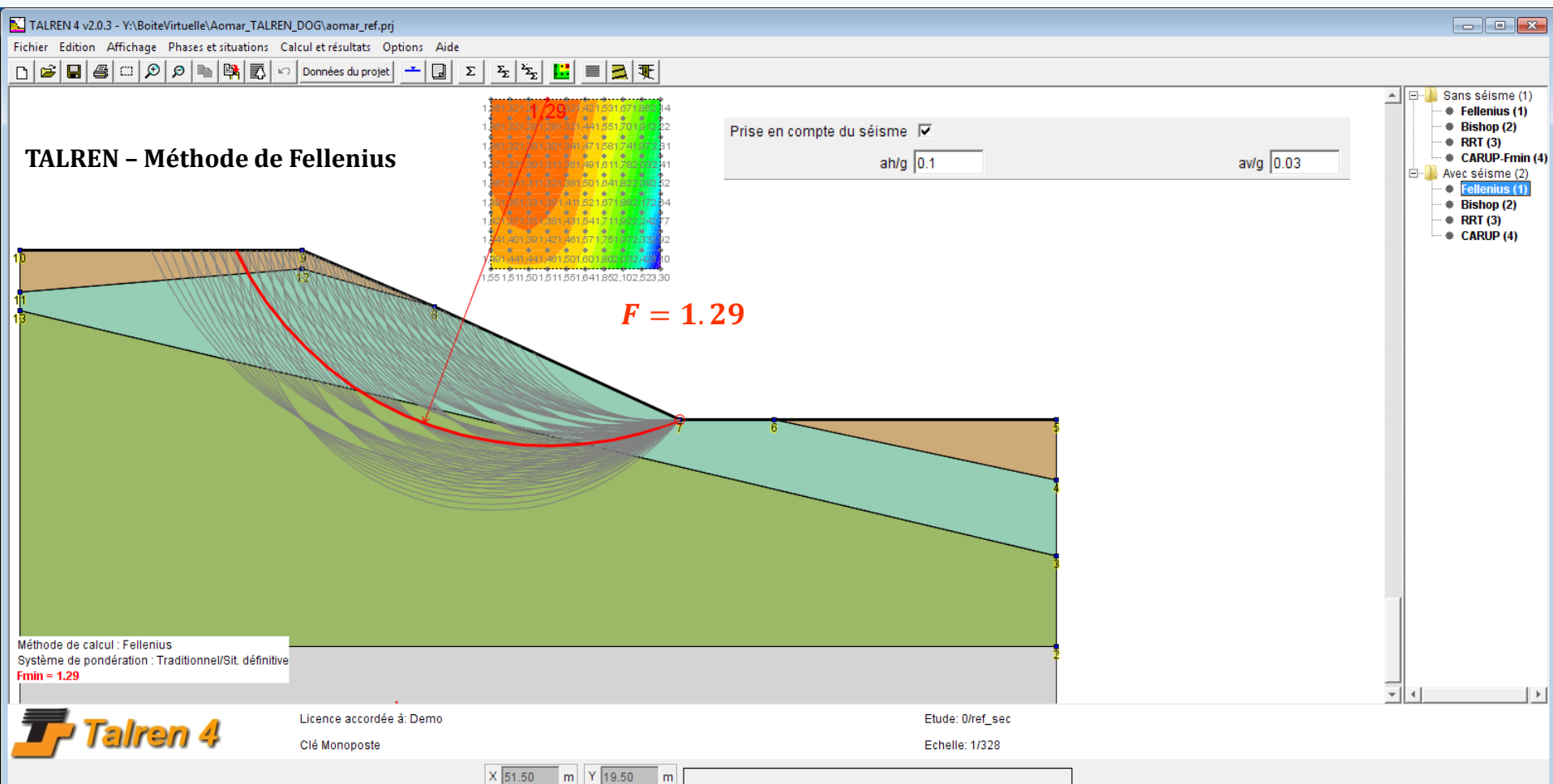
■ Exemple de calcul

Vérification de la stabilité du versant d'Aomar (Wilaya de Bouira) à proximité d'un établissement scolaire. Soit donc :

Zone	Groupe	Classification des ouvrages	$A_g (\times g)$	k_h	k_v
IIa	1B	Ouvrages de grande importance	0.20	0.10	0.03

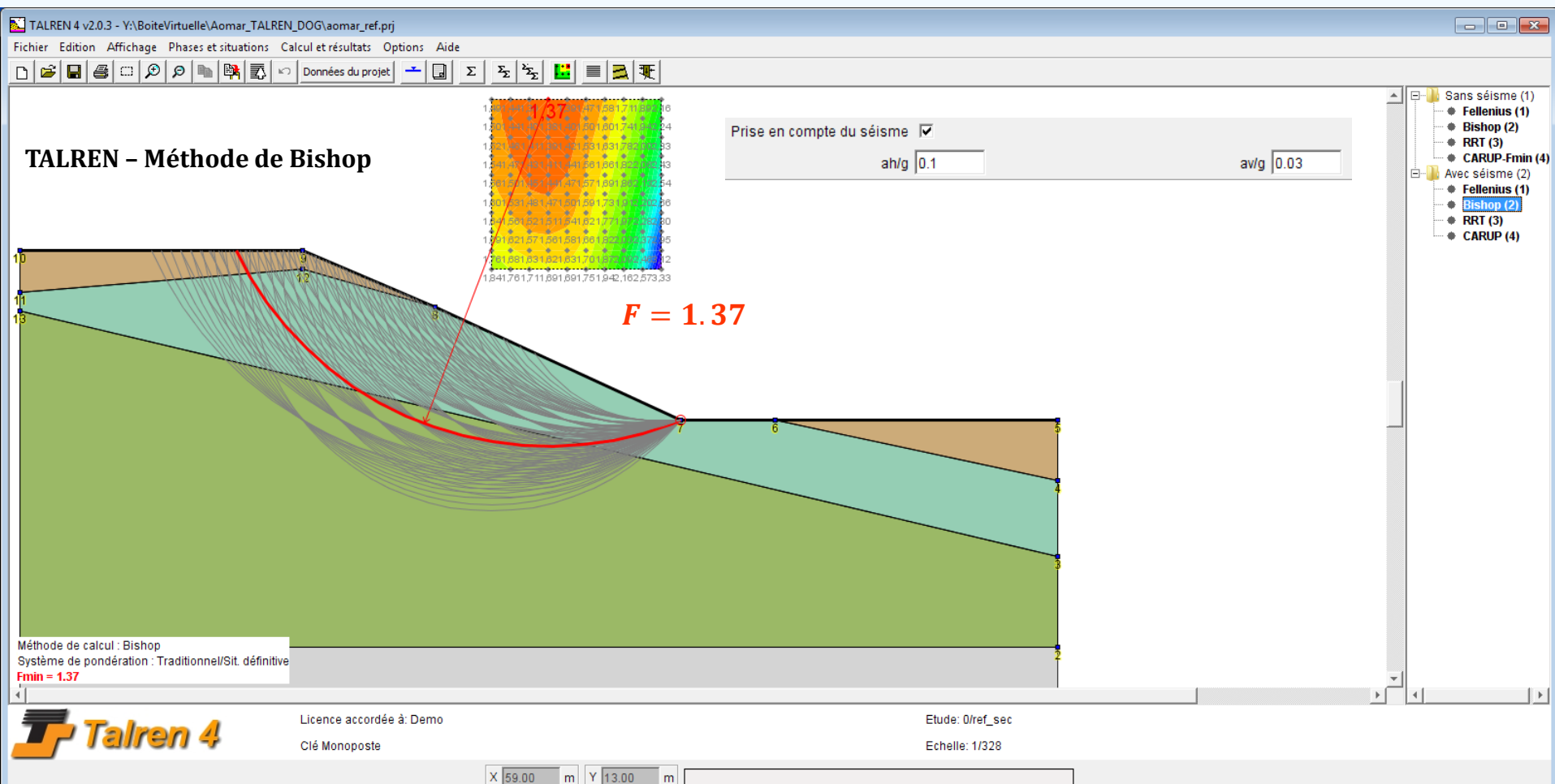
□ Stabilité sous conditions sismiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Talren 4



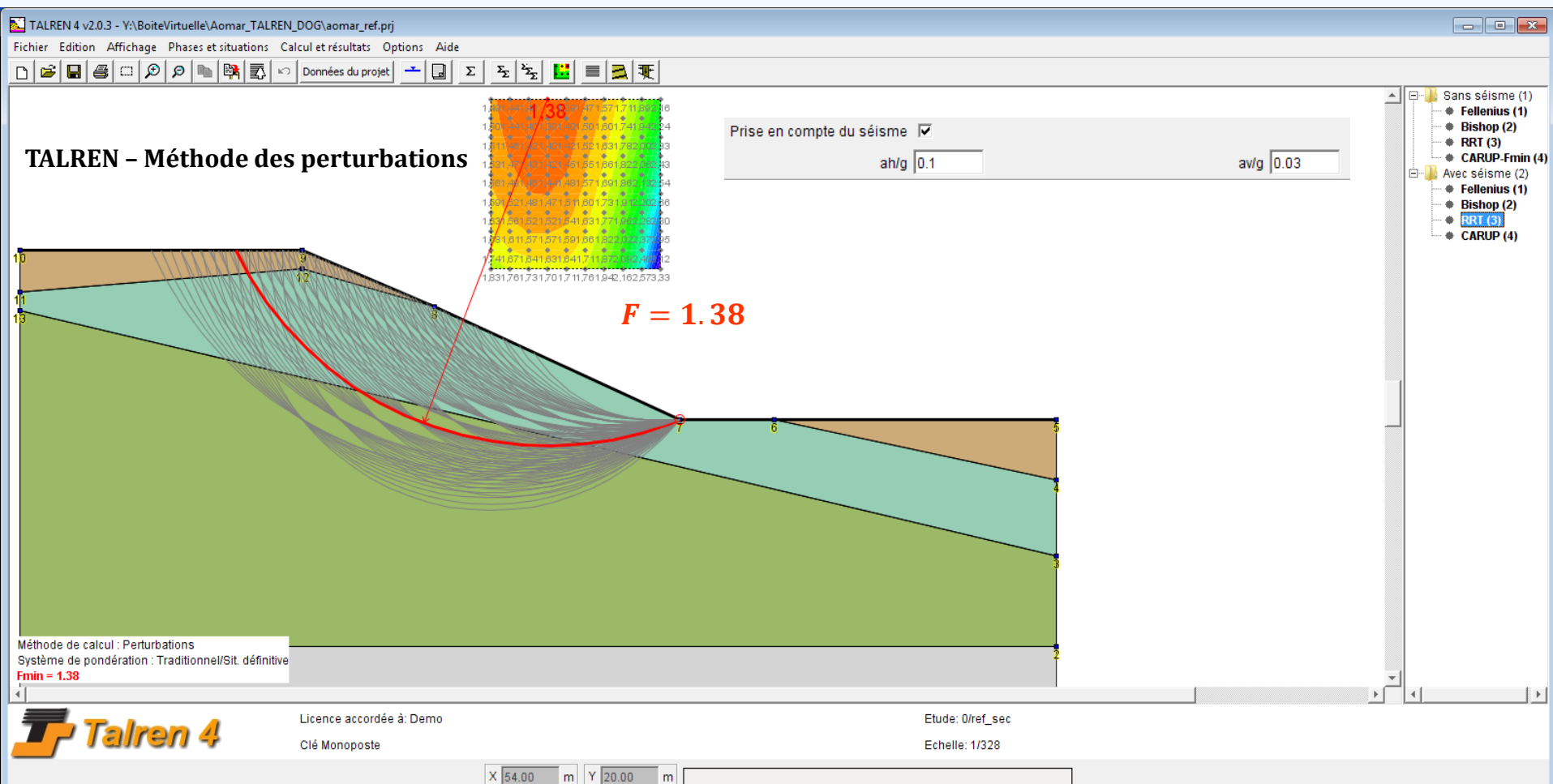
□ Stabilité sous conditions sismiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Talren 4



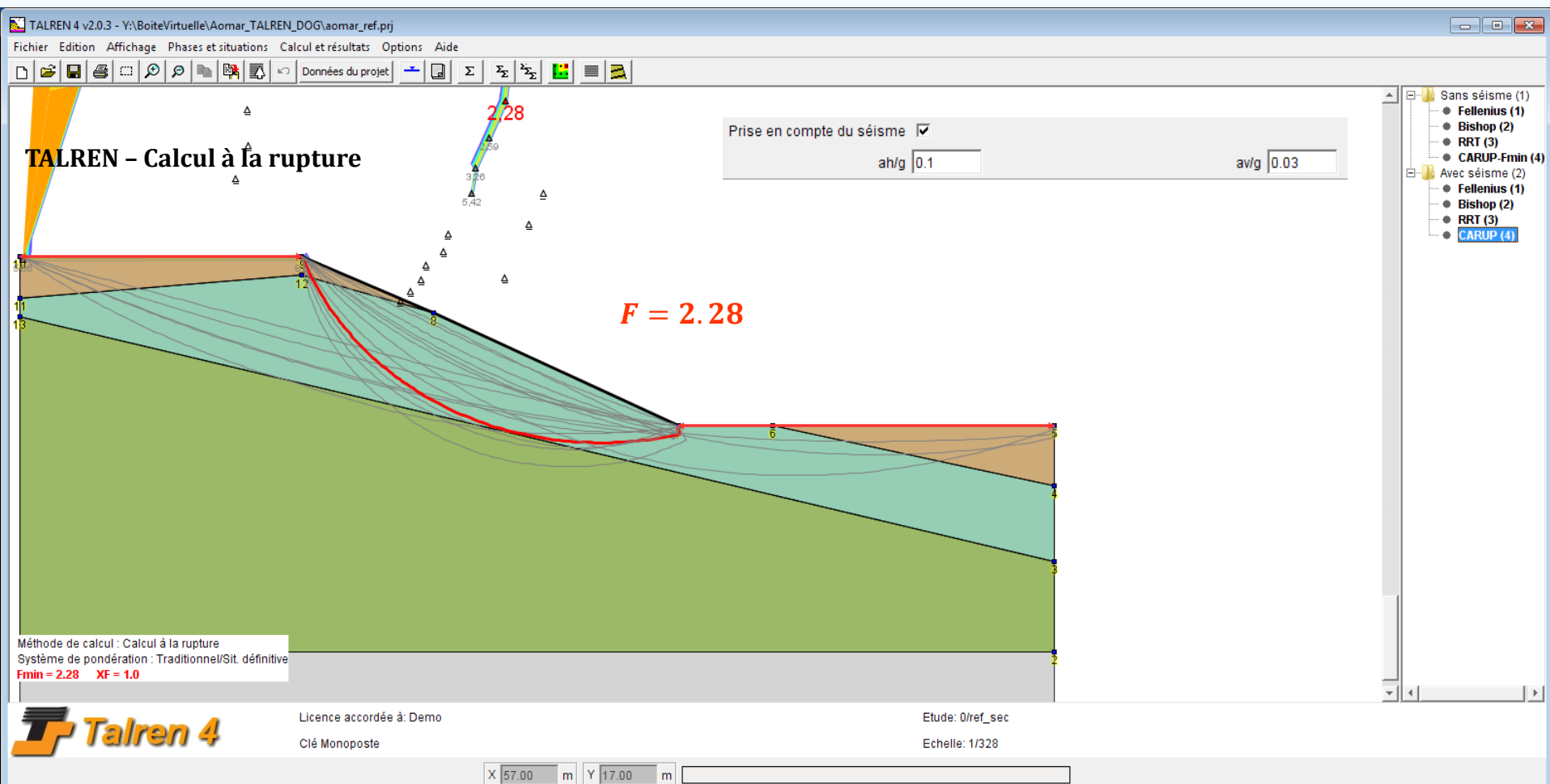
□ Stabilité sous conditions sismiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Talren 4



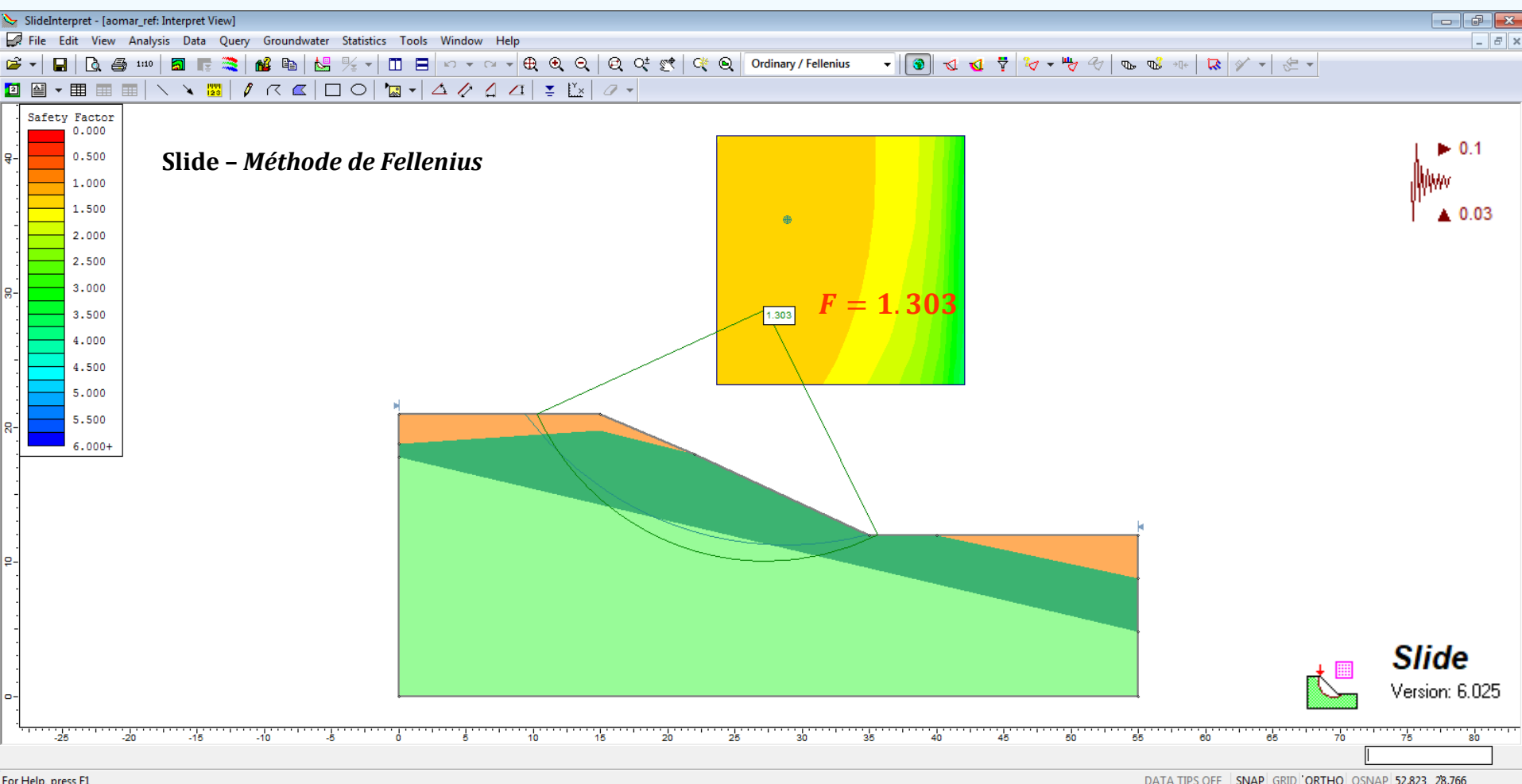
□ Stabilité sous conditions sismiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Talren 4



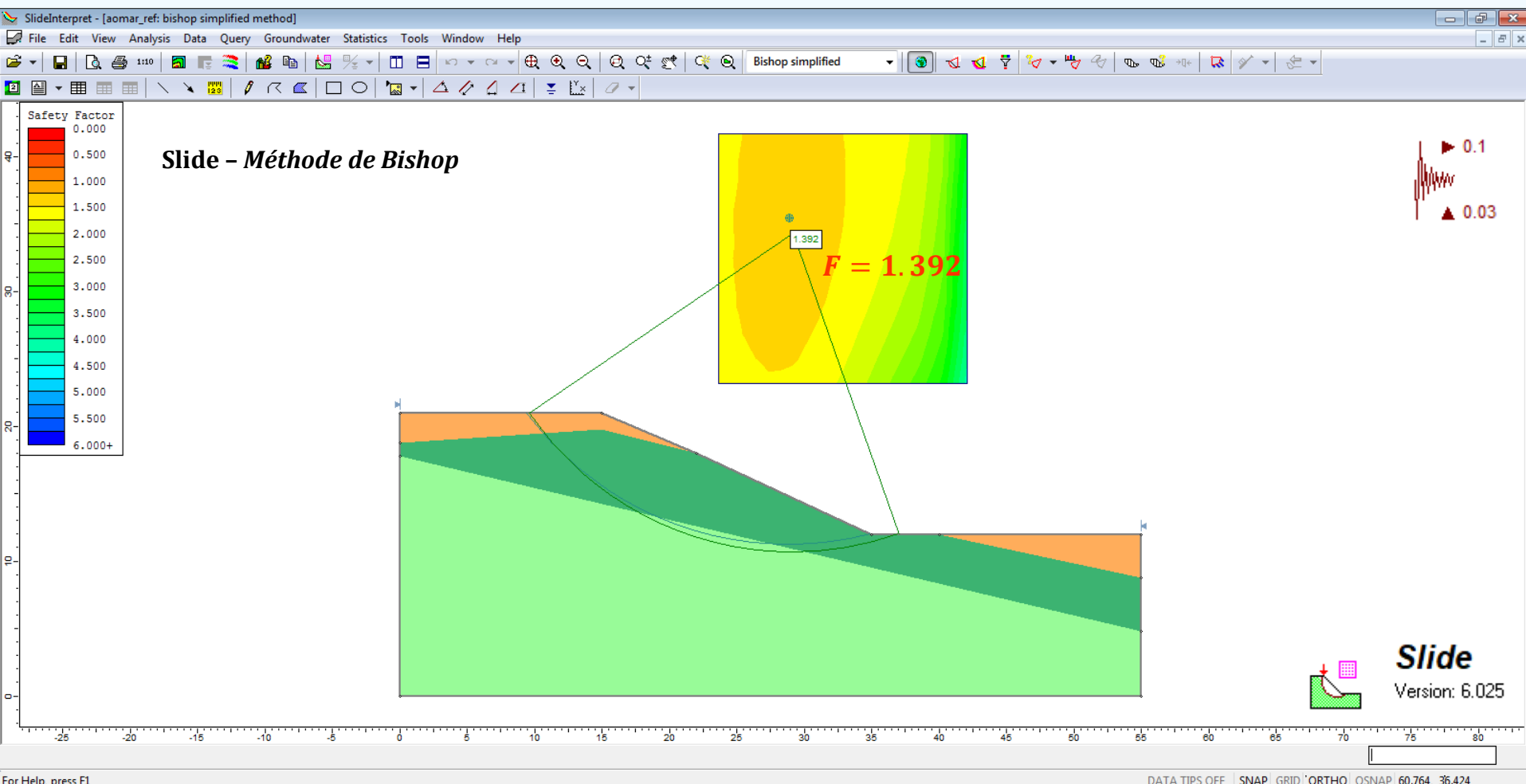
□ Stabilité sous conditions sismiques

- **Applications pratiques :** *Exemple de calcul à l'aide du logiciel Slide V6.0*



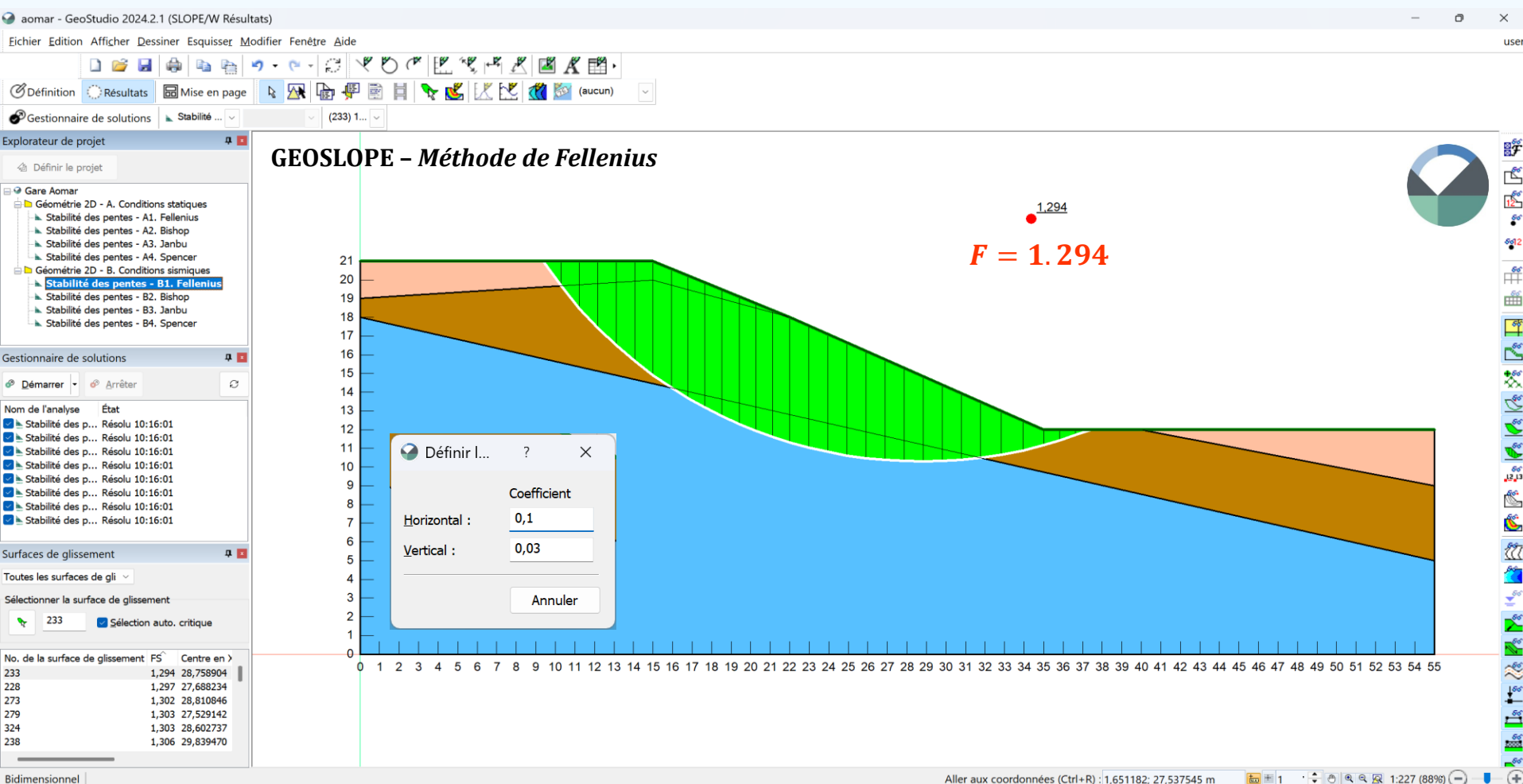
□ Stabilité sous conditions sismiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Slide V6.0



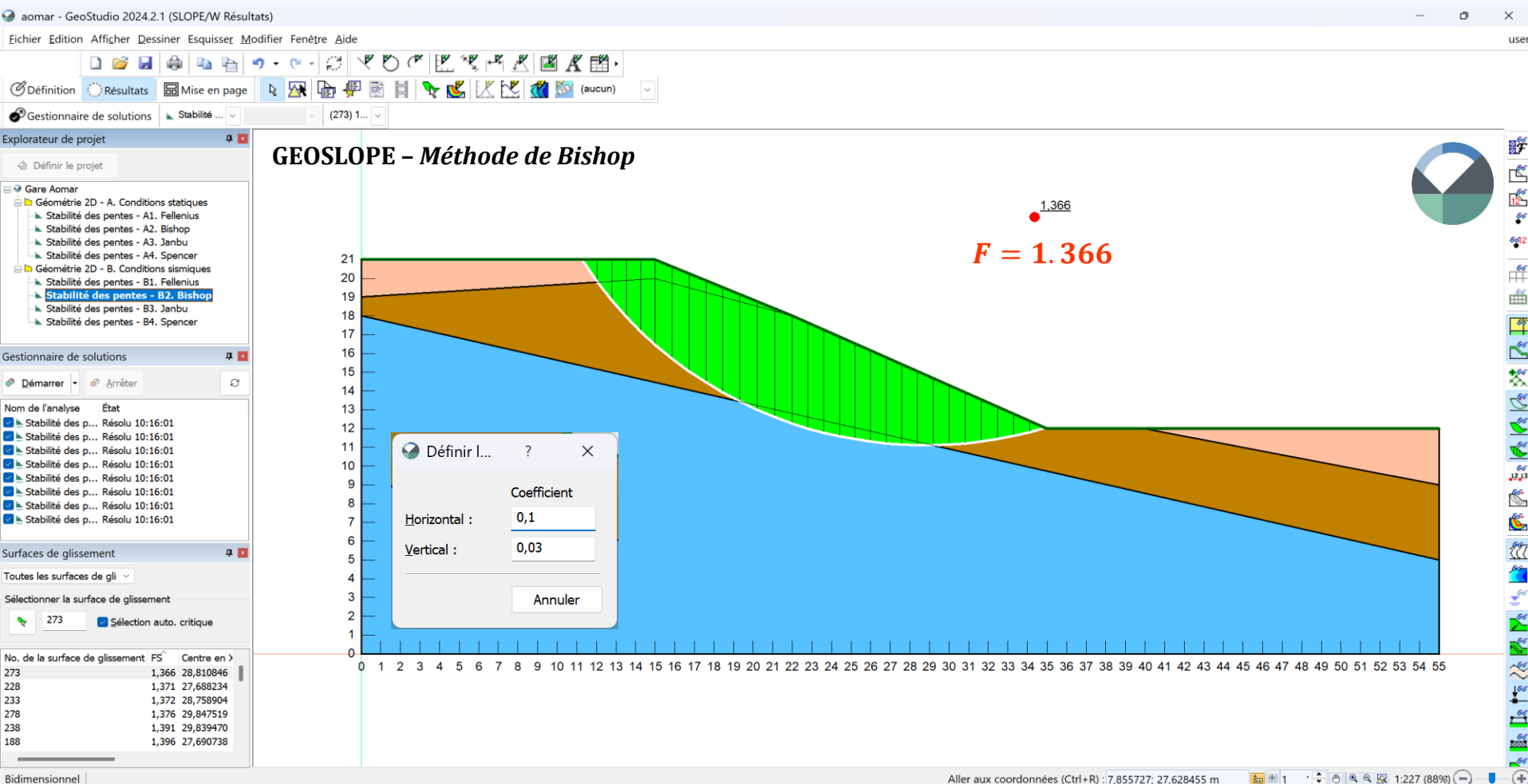
Stabilité sous conditions sismiques

- Applications pratiques : Exemple de calcul à l'aide du logiciel GEOSLOPE



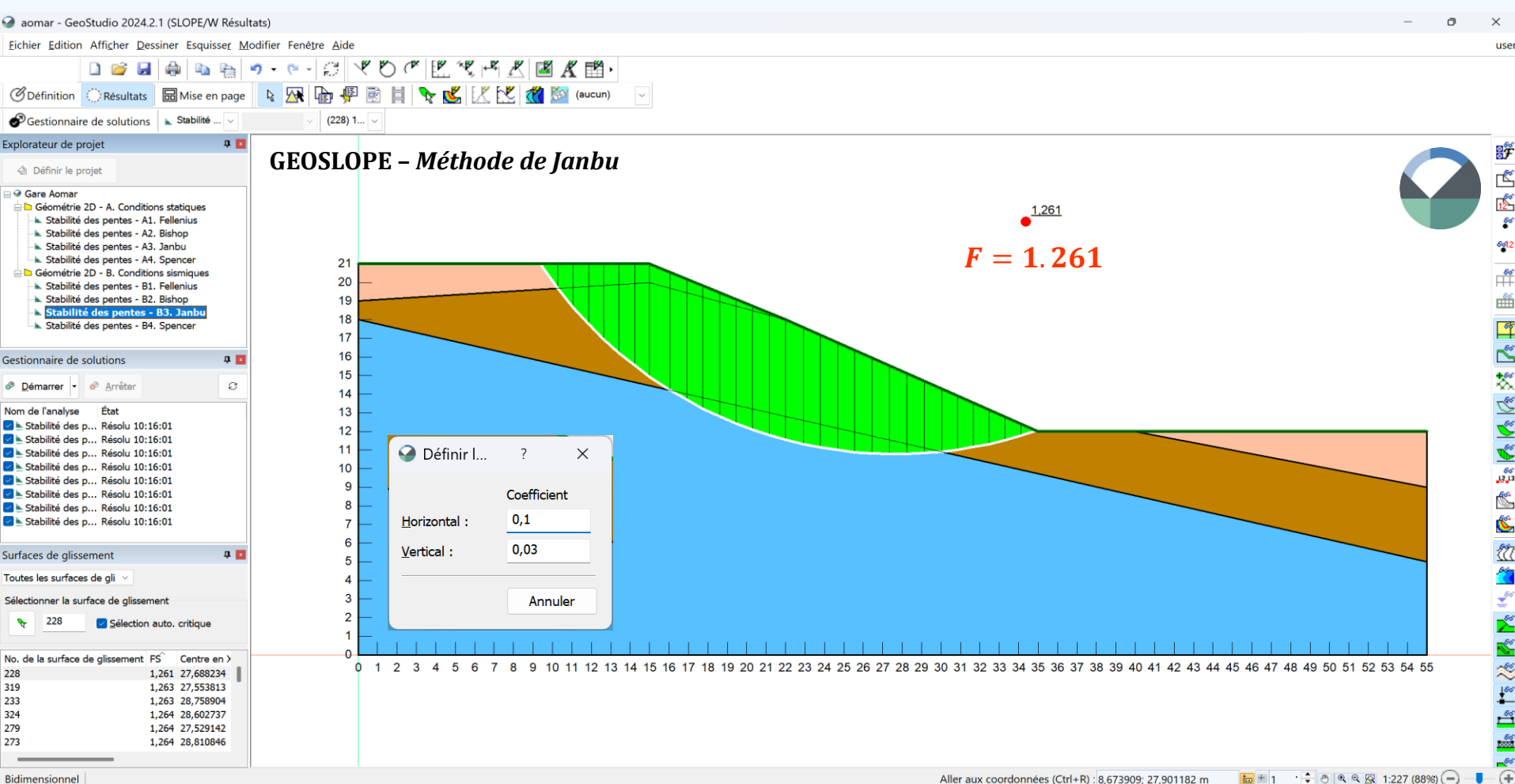
Stabilité sous conditions sismiques

- Applications pratiques : Exemple de calcul à l'aide du logiciel GEOSLOPE



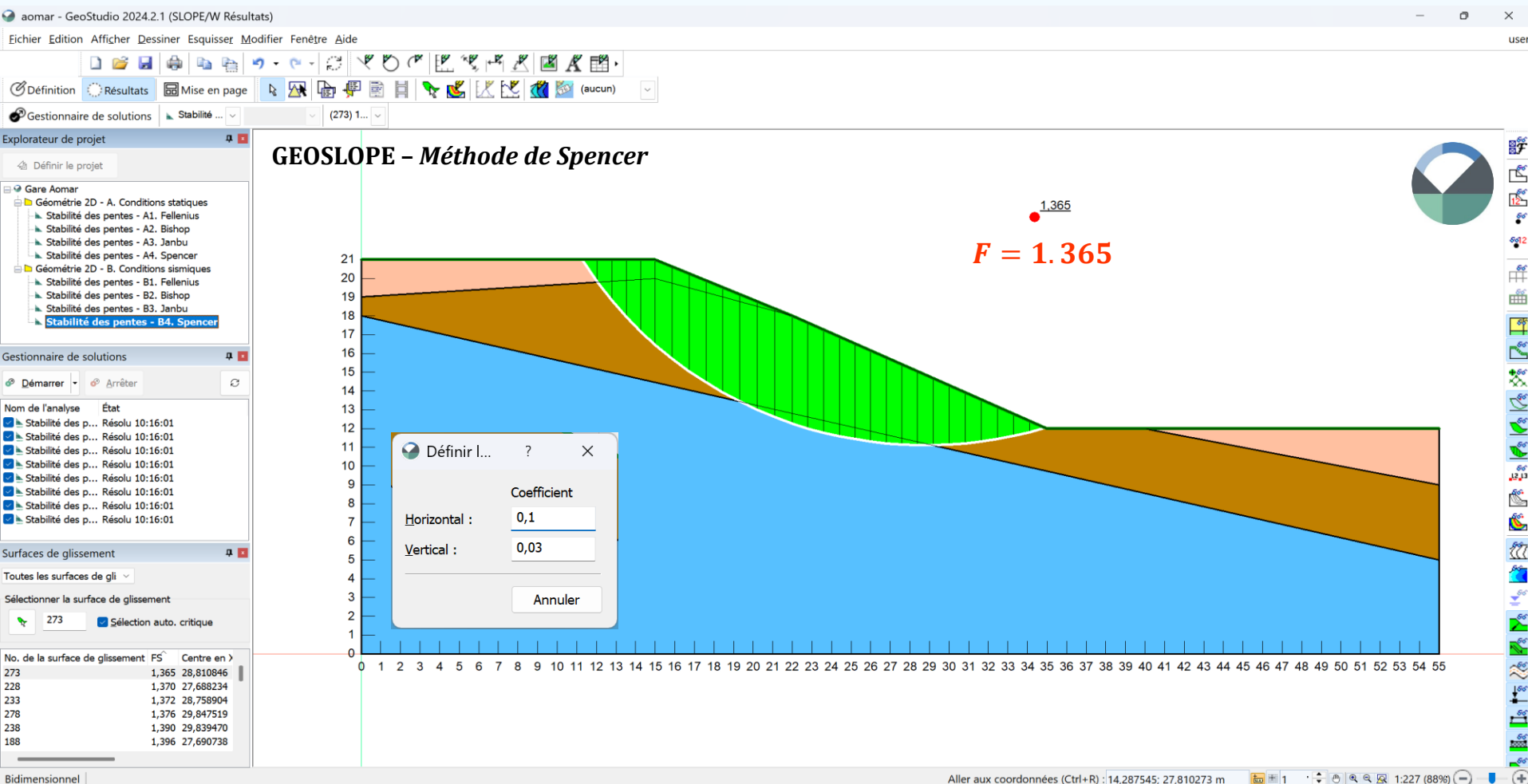
Stabilité sous conditions sismiques

- Applications pratiques : Exemple de calcul à l'aide du logiciel GEOSLOPE



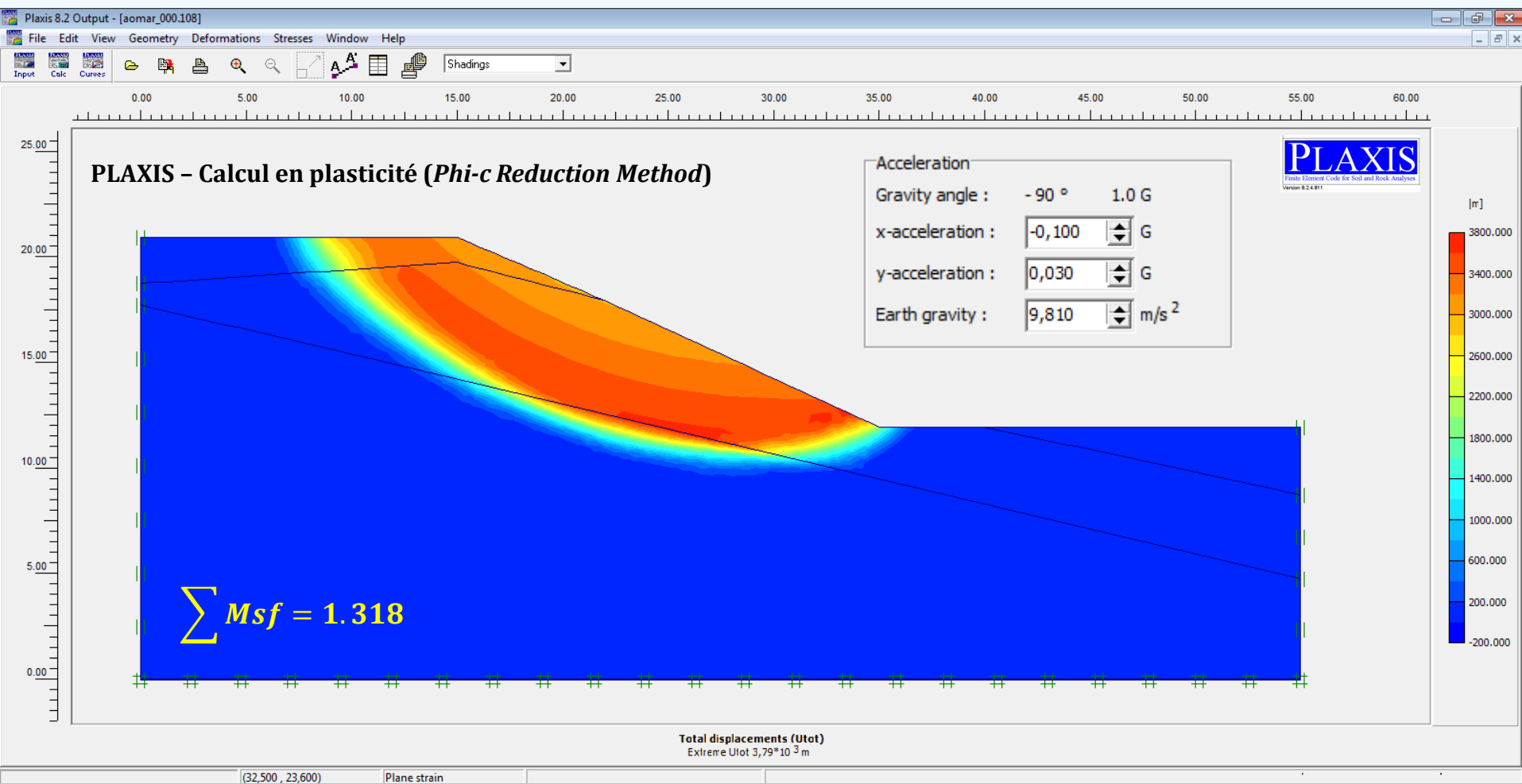
Stabilité sous conditions sismiques

- Applications pratiques : Exemple de calcul à l'aide du logiciel GEOSLOPE



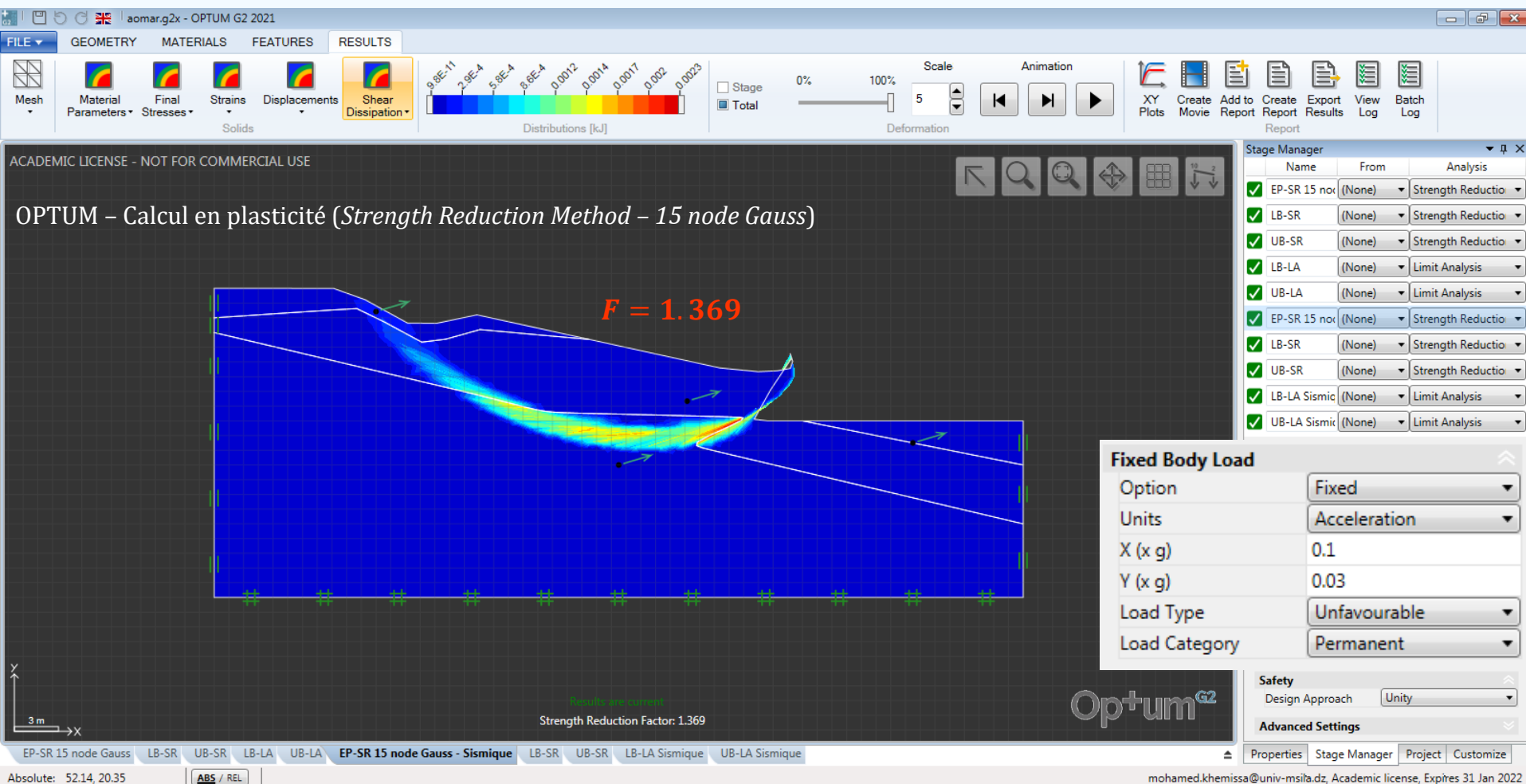
□ Stabilité sous conditions sismiques

- **Applications pratiques :** *Exemple de calcul à l'aide du logiciel Plaxis V8.2*



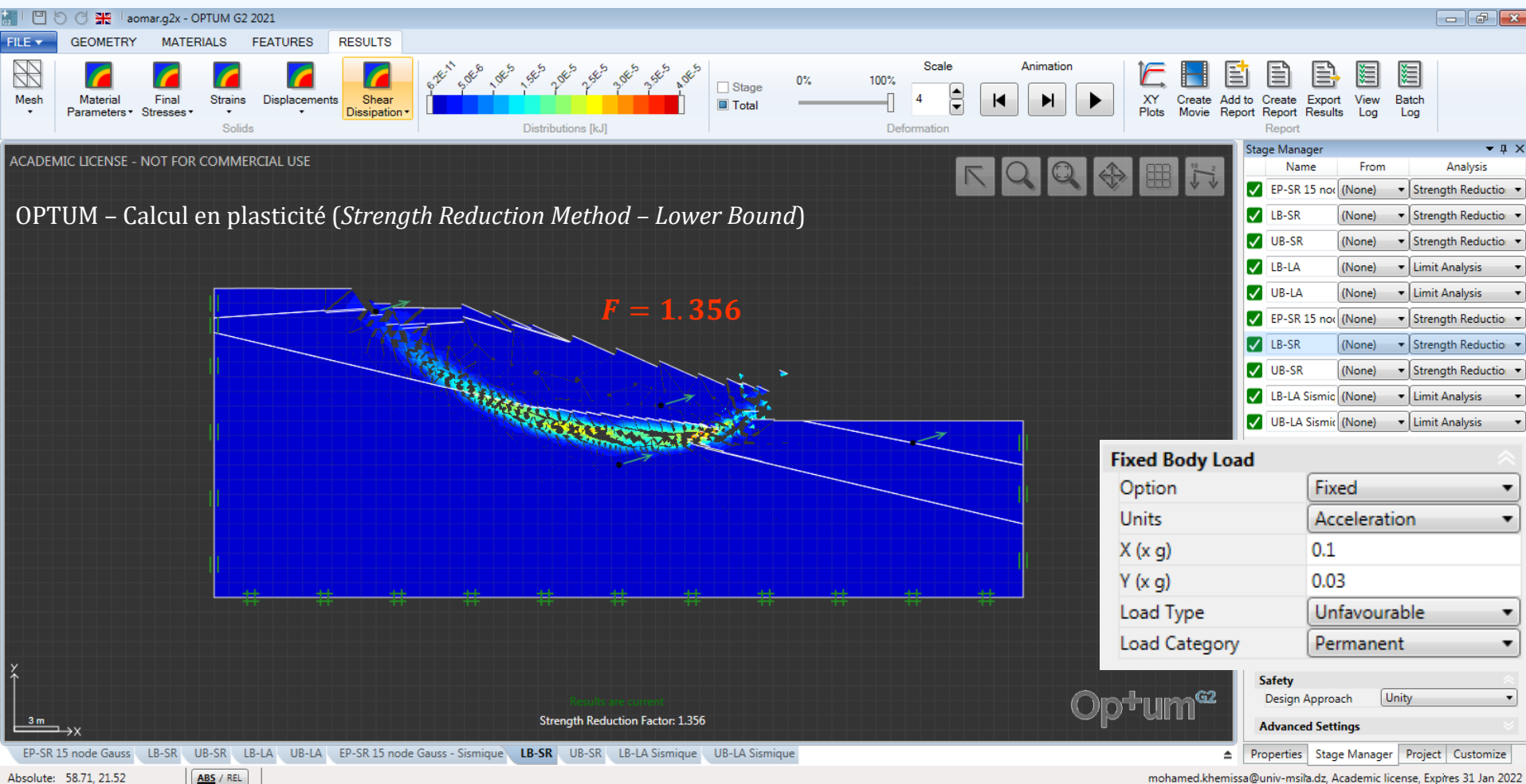
Stabilité sous conditions sismiques

- Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Optum G2



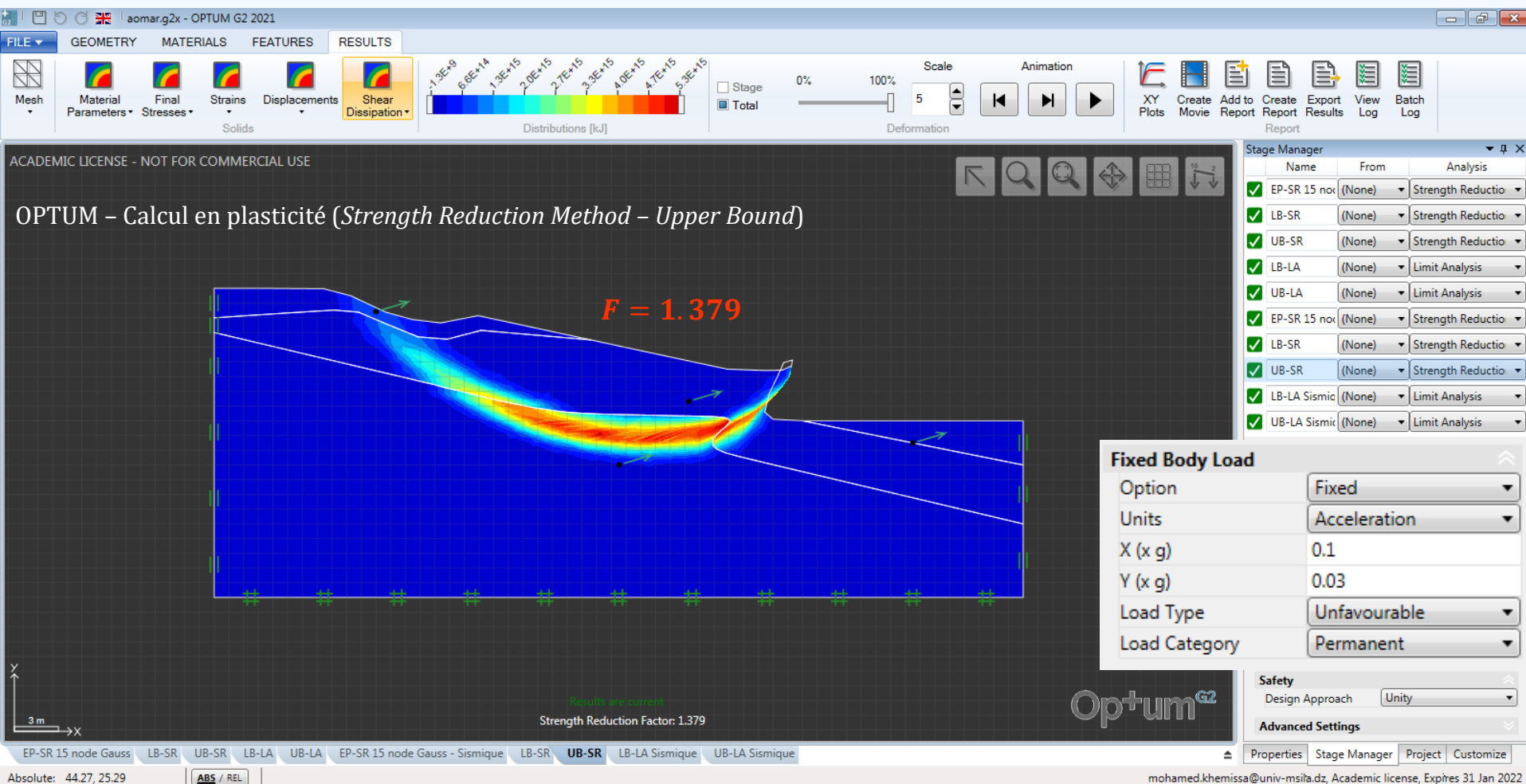
Stabilité sous conditions sismiques

- Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Optum G2



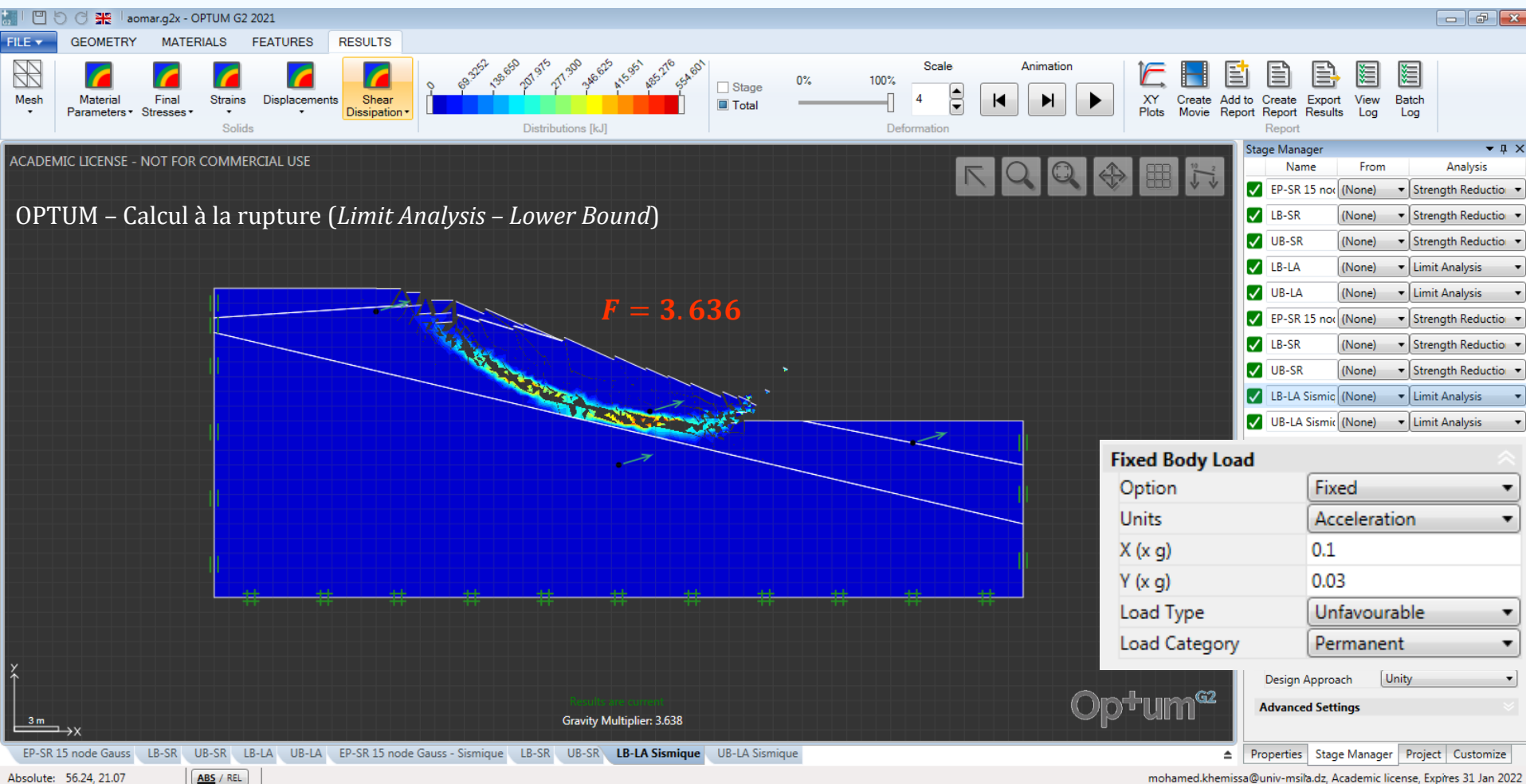
Stabilité sous conditions sismiques

- Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Optum G2



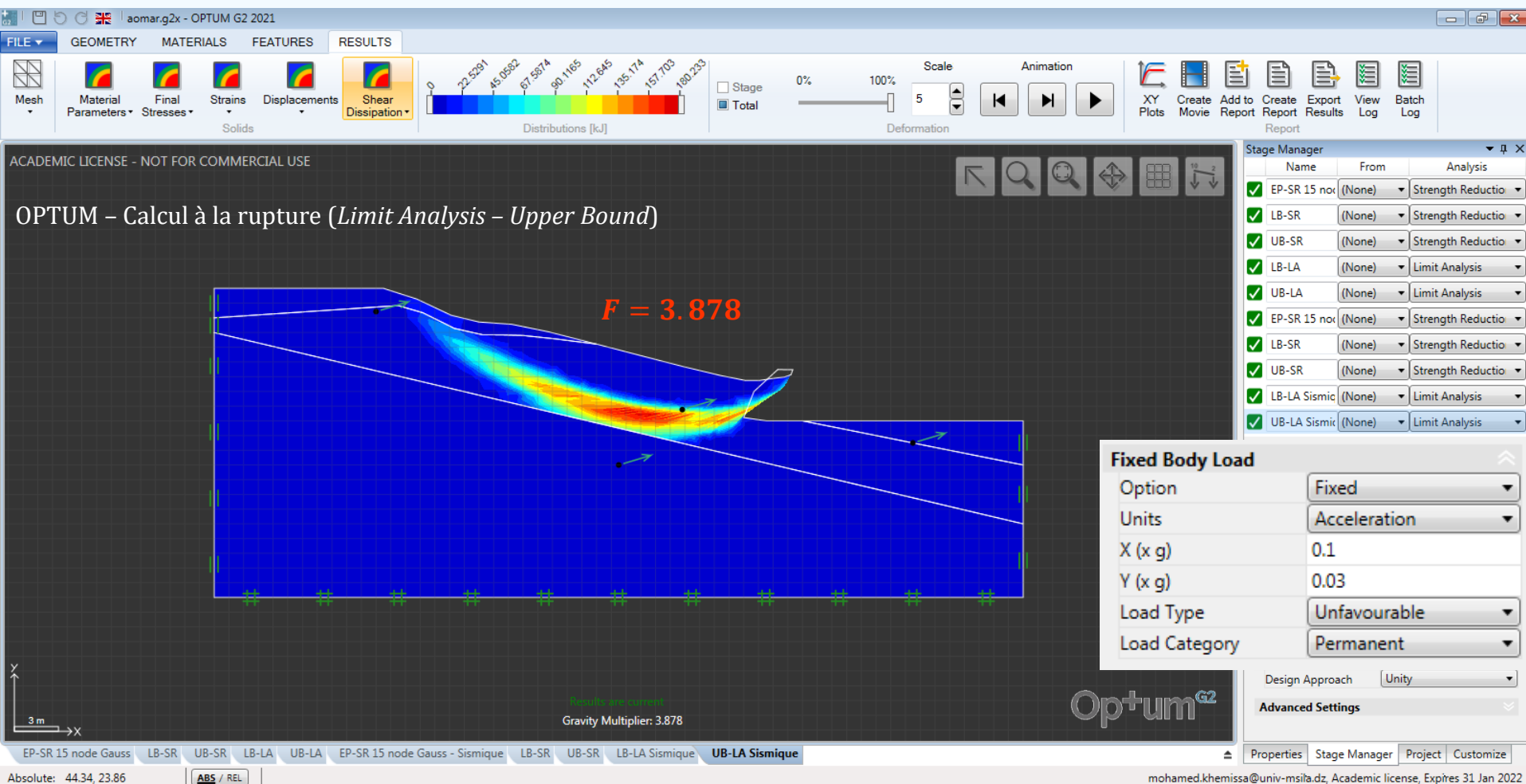
Stabilité sous conditions sismiques

- Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Optum G2



Stabilité sous conditions sismiques

- Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel Optum G2



□ Stabilité sous conditions sismiques

- **Applications pratiques :** Exemple de calcul à l'aide du logiciel LimitState:GEO

Aomar_ref.geo - LimitState:GEO

File Edit Select View Draw Tools Analysis Help

Factor Strength(s) δ

Materials

PROBLEM SIZE (m) :
x: 55,00000 y: 21,00000
CURSOR (m) :
x: 61,72222 y: 28,10000

Muddy Clay Marl Clay
Blue Marl Very Stiff Clay
Stiff Clay Firm Clay
Soft Clay Very Soft Clay
Dense Sand Medium-Dense Sand
Loose Sand Concrete

Water Regimes

limitstate geo

$F = 2.994$

Property Editor

Property	Value
Project	
Nodal Density	Medium
Project Name	New Project
Project Details	
Water	Enabled
Long Term Analysis	False
Model Rotations	Along edges
Analysis Options	
Seismic Actions	

Seismic Actions

Horizontal Accel. k_h (g)	-0,1
Adequacy (on k_h)	True
Vertical Accel. k_v (g)	0,03
Adequacy (on k_v)	True

Geometry Editor

x (m)	y (m)

LimitState:GEO – Calcul par l'analyse limite (DLO Procedure)

Output

Diagnostic information messages: 1 warning(s)

Solving problem containing 480 nodes at 23:33:29 on jeu. déc. 2 2021...

Scenario	Partial factors	Adequacy on strength
1	User	2,994

Adequacy factor on material strength(s) is 2.994

Output Boundaries Solids

TRACK DRAG ORTHO SNAP x: 61,72222 y: 28,10000

SYNTHÈSE

Logiciel	Méthode de calcul	F/statique	F/sismique
STABIL	<i>Fellenius</i>	1,99	1,34
TALREN	<i>Fellenius</i>	1,64	1,29
	<i>Bishop</i>	1,74	1,37
	<i>RRT (Méthode des perturbations)</i>	1,75	1,38
	<i>CARUP</i>	4,93	2,28
SLIDE	<i>Fellenius</i>	1,648	1,303
	<i>Bishop</i>	1,745	1,392
GEOSLOPE	<i>Fellenius</i>	1,646	1,294
	<i>Bishop</i>	1,736	1,366
	<i>Janbu</i>	1,609	1,261
	<i>Spencer</i>	1,735	1,365
PLAXIS	« φ -c » Reduction method	1,693	1,318
OPTUM	<i>SRM : 15 nœuds Gauss</i>	1,719	1,369
	<i>SRM - Lower Bound</i>	1,706	1,356
	<i>SRM - Upper Bound</i>	1,742	1,379
	<i>Limit Analysis - Lower Bound</i>	4,616	3,636
	<i>Limit Analysis - Upper Bound</i>	4,898	3,878
LimitStateGEO	<i>Discontinuity Layout Optimization</i>	4,202	2,994

SYNTHÈSE

Logiciel	Méthode de calcul	F/statique	F/sismique
----------	-------------------	------------	------------

On peut noter que :

1. Les valeurs du coefficient de sécurité sont plus faibles sous chargement sismique que sous chargement monotone.
2. Pour un logiciel donné, elles varient d'une méthode de calcul à une autre.
3. Pour une méthode de calcul donnée, elles varient d'un logiciel de calcul à un autre.
4. Elles paraissent excessives pour un calcul à la rupture ou en analyse limite que pour un calcul en plasticité ou pour un calcul en équilibre limite quelque soit le logiciel de calcul utilisé.

TECHNIQUES DE CONFORTEMENT

❑ Techniques de confortement

❖ **Approche douce**

- ✓ *Terrassements*
- ✓ *Dispositifs de drainage*

❖ **Approche dure**

- ✓ *Ouvrages de soutènement*
- ✓ *Tirants d'ancrage*
- ✓ *Inclusions*

❖ **Confortement et traitements complémentaires**

- ✓ *Injectons*
- ✓ *Reboisement*
- ✓ *Surveillance*

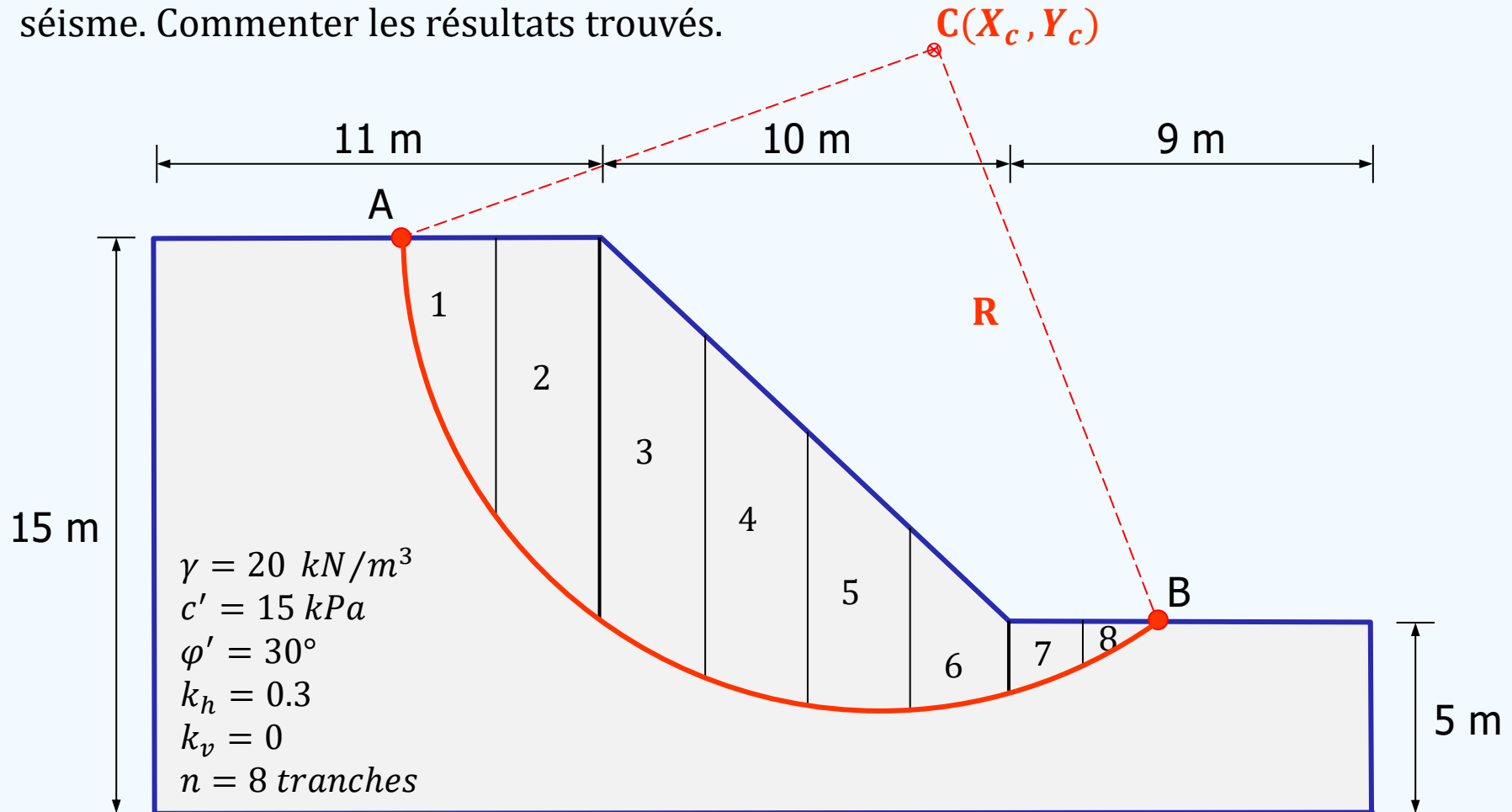
Détails : Voir cours « Amélioration des sols – M2/S3 »

Merci de votre attention

Fin du Cinquième Chapitre

TRAVAIL PERSONNEL

Calculer par la méthode de Fellenius les coefficients de sécurité du talus avec et sans séisme. Commenter les résultats trouvés.



Calculer par la méthode
séisme. Commenter les

du talus avec et sans

The diagram shows a retaining wall cross-section. The wall has a total height of 15 m and a base width of 11 m. The soil is divided into two layers: a top layer of 9 m thickness and a bottom layer of 5 m thickness. The soil properties are given as $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $c' = 15 \text{ kPa}$, $\varphi' = 30^\circ$, $k_h = 0.3$, $k_v = 0$, and $n = 8 \text{ tranches}$. A table of soil properties is provided below the wall. The table has 4 columns: Name, γ (kN/m³), c' (kPa), and φ' (°). The soil is divided into two layers: a top layer of 9 m thickness and a bottom layer of 5 m thickness. The soil properties are given as $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $c' = 15 \text{ kPa}$, $\varphi' = 30^\circ$, $k_h = 0.3$, $k_v = 0$, and $n = 8 \text{ tranches}$.

BOUKHALFA Fouaz	16	17	15
BOUZIDI Sirine	17	17	15
CHERIGUI Laid	18	17	15
CHETRA Ferhat	19	17	15
GHELLAB Aya	16	18	16
HAMRIT Ismahane	17	18	16
KARA Soriya	18	18	16
LAGGOUNE Dhia eddine	19	18	16
LALDJI Dounia	17	19	16
LEMOUNES Akram	18	19	16
MAGOURA Chaima	19	19	16
REDJIMI Anissa	20	19	18